551.49
В-62

В. Е. Водогрецкий

Антропогенное изменение стока малых рек

Гидрометеоиздат 1990

УДК 556.16

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. И. Ф. Карасев; д-р геогр. наук, проф. Н. А. Мосиенко; канд. техн. наук В. А. Ременюк.

Ответственный редактор: д-р геогр. наук С. Ф. Федоров

Рассматривается проблема оценки влияния агротехнических, лесохозяйственных мероприятий, орошаемого земледелия и осушительных мелиораций, урбанизации и русловых аккумуляций на водный баланс и сток малых рек.

Отмечаются факты нерационального использования водных ресурсов малых рек для хозяйственных целей. Предлагаются общая методика оценки преобразования речного стока и на ее основе эмпирические формулы учета влияния каждого из перечисленных видов хозяйственной деятельности и в целом по бассейну на годовой, сезонный, максимальный и минимальный сток.

Рассматриваются практические предпосылки оптимизации рационального использования водных ресурсов малых рек на конкретных примерах расчета.

Отмечается, что только на этой основе возможно дальнейшее планирование рационального размещения объектов водо- и землепользователей на территории речных бассейнов малых рек.

Книга рассчитана на научных работников и инженеров-гидрологов, гидротехников, мелиораторов, гидрогеологов и специалистов сельского, водного и лесного хозяйства.

The monograph "Anthropogenic Changes of Small River Runoff" by V. E. Vodogretsky describes the problems of the assessment of the effects of agrotechnical practice, forestry, irrigation, drainage, urbanization and channel storages on water balance and runoff of small rivers.

Cases of non-rational water resources development of small rivers for water management are given. General methodology is proposed to evaluate river runoff transformations and on its basis empirical formulas are derived taking into account the effect of every type of man's activity, and the variety of these factors for the entire basin, on annual, seasonal, maximum and minimum runoff.

Practical prerequisites on the optimization of the rational water resources development of small rivers are discussed with reference to particular case studies. It is noted, that any further planning on the rational water and land projects distribution on the territories of small river basins is possible on this basis only.

The monograph is intended for hydrologists and hydraulic engineers, for specialists in reclamation practice, geohydrology, agriculture, forestry and water management.

В $\frac{1805040700\text{-}073}{069(02)\text{-}90}$ 19-90

© В. Е. Водогрецкий, 1990 г.

ISBN 5—286—00438—5

Предисловие

Обеспечение водой населения и различных отраслей хозяйства в необходимом количестве и требуемого качества становится одной из важнейших проблем всего человечества. Крайне неравномерное распределение водных ресурсов по территории и во времени, недостаточный учет водного фактора при размещении промышленности и сельского хозяйства, быстрый рост водопотребления, нерациональное использование водных ресурсов — все это привело к тому, что в одних районах уже сейчас остро ощущается недостаток воды, в других — дефицит воды ожидается в ближайшем будущем.

О значимости указанной проблемы для нашей страны говорит тот факт, что ей уделено большое внимание в решениях съездов КПСС и в ряде постановлений партии и правительства.

В связи с интенсивным преобразованием природных ландшафтов в настоящее время и в перспективе особенно остро стоит проблема рационального использования водных ресурсов малых рек. Решение этой жизненно важной проблемы возможно при достаточной изученности условий формирования стока рек и закономерностей преобразования этих условий под влиянием различных видов хозяйственной деятельности.

На данном этапе развития учения о стоке рек решение проблемы возможно при четком и разумном использовании на практике результатов выполненных исследований.

В настоящее время кроме нормативных документов по расчету стока рек в их естественном режиме имеется много литературы по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток рек, в том числе и Методические рекомендации по учету влияния антропогенных факторов при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. Однако последние изданы малым тиражом и ограничены только рекомендациями учета влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на сток малых рек. Рекомендации же, как этот учет осуществлять при решении проблемы рационального использования водных ресурсов малых рек и их охраны в настоящем и будущем, отсутствуют.

Поэтому и ввиду того, что для решения упомянутой проблемы учет антропогенного преобразования стока малых рек является основой, в книге уделено основное внимание оценке влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на сток и водный баланс, а также учету этого влияния в практике гидрологических расчетов и прогнозов и анализу существующих методов оценки антропогенного влияния на сток.

В самом общем виде теоретическое направление выполненных разработок можно охарактеризовать как комплексное географическое исследование на стыке гидрологии с другими науками — почвоведением, агрономией, лесоводством, гидрогеологией и др. Такое направление исследований весьма перспективно. Оно

позволяет моделировать преобразование элементов водного баланса на основе вскрытых закономерностей взаимосвязи изменений элементов водного баланса и гидрологического режима рек под влиянием отдельных антропогенных воздействий с факторами, обусловливающими их формирование на типичных для природной зоны ландшафтах.

На данной научно-методической основе разработаны методы количественной оценки и учета влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на годовой, сезонный, максимальный и минимальный сток рек.

В монографии уделено большое внимание разработке методики учета антропогенных преобразований в стоке с выбором оптимальных вариантов возможных изменений стока при водохозяйственном проектировании.

Рационализация водопользования с учетом результатов исследований антропогенного влияния на сток малых рек отражена в монографии на конкретных примерах расчета.

Хотя эти результаты нельзя считать исчерпывающими, принятое направление в исследовании уже позволяет не только учесть влияние отдельных антропогенных факторов на сток и водный баланс малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования, но и более рационально использовать водные ресурсы, т. е. управлять водообеспеченностью объектов водопользования путем подбора оптимальных вариантов возможных изменений в стоке при водохозяйственном проектировании.

Малые реки — не только источник водоснабжения, но и один из компонентов географического ландшафта, имеющий большое экологическое значение. Поэтому в основе книги лежит инженерное и географическое направление в гидрологии, которое все больше развивается и открывает новые возможности для решения задач по управлению водохозяйственными балансами и водообеспеченностью территорий аграрно-промышленных комплексов на основе рационального использования водных ресурсов малых рек.

В разработках по учету влияния орошаемого земледелия, осушительных мелиораций, урбанизации и руслового регулирования на сток малых рек автор опирался на исследования, выполненные под его руководством Н. В. Пеньковой, Е. Л. Балясовой, А. Б. Заводчиковым, Б. С. Устюжаниным, Л. В. Ефимовой, Э. А. Зайцевой, Г. В. Голофаст, В. А. Хайдаровой. Автор считает своим приятным долгом выразить им благодарность, а также рецензентам: д-ру техн. наук, проф. И. Ф. Карасеву, д-ру геогр. наук, проф. Н. А. Мосиенко и канд. техн. наук В. А. Ременюку, давшим ряд ценных советов и редакционных замечаний.

Автор благодарен д-ру геогр. наук С. Ф. Федорову за ценные замечания и пожелания, высказанные при просмотре и редактировании рукописи.

1. Малые реки и их хозяйственное использование

Бессистемное, не подчиненное общему водохозяйственному плану, интенсивное использование водных ресурсов в народном хозяйстве привело к неблагоприятным экономическим и экологическим последствиям. Особенно это заметно на реках с площадями водосборов 2000—3000 км². В отличие от более крупных водотоков, малая река очень тесно связана с окружающим ландшафтом. Каждое изменение в ландшафте ее водосбора сразу же отражается на ее режиме. Малые реки более уязвимы, чем средние и большие. Сведение леса и распашка почвы даже на 20 % площади водосбора могут заметно повлиять на водный режим реки с площадью водосбора <2000 км² и очень слабо отразиться на режиме рек с площадями водосборов 10 000 км² и более. Главная причина этого состоит в неравномерности гидрологического режима малых рек, вызванной одновременным по всей площади водосбора поступлением талых и дождевых вод, быстрым прохождением паводков, пониженным подземным питанием рек в лесной зоне и полным его исчезновением в степной. На малых реках весной за 2—4 недели проходит до 80 % годового стока, а на временных водотоках часто сток наблюдается только весной.

За последние годы возросло внимание к малым рекам со стороны научных учреждений. Как известно, естественные и антропогенные факторы часто действуют в одном направлении. Поэтому определить основные причины изменений в стоке и элементах гидрологического режима и количественно оценить изменения, вызванные влиянием хозяйственной деятельности, бывает нелегко. Это возможно лишь при наличии необходимых данных, полученных на основе гидрологических наблюдений в комплексе с климатологическими, геоморфологическими, почвенными, геоботаническими, гидрохимическими, гидробиологическими и гидрогеологическими на малых реках.

Уделяя большое внимание исследованию антропогенного влияния на сток малых рек в свете рационального использования их водных ресурсов, целесообразно несколько более подробно осветить вопросы, касающиеся понятия «малая река» и степени хозяйственного использования малых рек в прошлом и настоящем.

Существует несколько определений малой реки. Вот одно из них: «Река малая — река, имеющая сток в течение всего года или кратковременно прерывающийся сток вследствие истощения запасов дренируемых ею подземных вод. Четкой границы между рекой средней, малой и ручьем не существует» [78]. Условно к малым относят равнинные реки, имеющие площадь водосбора

до 2000 км² (до 3000 км² — в засушливых районах нашей страны). Более определенно этот критерий (площадь водосбора) указан в Государственном стандарте 19179-73 (Гидрология суши, термины и определения, 1978) и в Энциклопедическом словаре географических терминов. К категории малых рек здесь отнесены равнинные реки с площадью водосбора <2000 км². Что касается горных рек, то условного критерия, согласно которому можно было бы отнести реки к категории малых, к сожалению, в ГОСТе 19179-73 нет.

Иногда реки классифицируют по водоносности или по гарантированным судоходным глубинам воды в руслах. Но наиболее распространена классификация рек по их длине. По этой классификации к малым отнесены реки короче 200 км. Современное представление о распределении рек СССР по категориям дает табл. 1.1. Из таблицы следует, что малые реки, общая длина

Таблица 1.1

Распределение рек СССР по категориям

Категории рек СССР по длине	Длина, км	Количество водотоков		Общая протяженность	
		Число	%	км	%
Самые малые	<10	2 812 587	94,91	5 624 881	58,3
	10—25	113 974	3,85	1 697 939	17,6
Малые	26—50	24 100	0,81	834 082	8,65
	51—100	8 623	0,29	592 206	6,14
	101—200	2 857	0,10	386 509	4,00
Средние	201—300	630	0,02	150 277	1,56
	301—500	357	0,01	133 075	1,38
Большие	501—1000	197	0,01	127 241	1,32
	>1000	63	0,00	101 654	1,05
Всего		2 963 388	100,0	9 647 864	100,0

русел которых превышает 9 млн км, заслуживают особого внимания и специального изучения. Только в европейской части СССР насчитывается около 666 тыс. малых рек, общая длина русел которых превышает 2,3 млн км. Из таблицы также видно, что реки длиной менее 100 км составляют около 99 % общего числа рек СССР, а их протяженность — 90—93 % общей протяженности рек всех категорий [77].

В повседневном обиходе, а также в специальной литературе диапазон рек, относимых к малым, более широк и во многом зависит от конкретных природных и социально-экономических условий. Понятие «малые реки» нередко применяется ко всем рекам, имеющим только местное значение, и отражает влияние местных физико-географических факторов в масштабе крупного региона. Поэтому и автор настоящей монографии не придерживается строгих градаций в выделении малых рек.

Однако следует заметить, что принятый в Государственном стандарте 19179-73 (Гидрология суши, термины и определения, 1978) количественный критерий к понятию «малая река» не лишен смысла. Дело в том, что площадь речных бассейнов $\leqslant 2000$ км^2 соответствует граничным условиям формирования подземного стока. Как правило, реки с такой площадью дренируют только верхний маломощный водоносный горизонт (воды четвертичных отложений), к тому же неполностью, либо вовсе не дренируют (временные водотоки). Этим, по-видимому, и объясняется уязвимость водного режима малой реки при изменении ландшафта ее водосбора. В общем водном балансе изменение поверхностной составляющей годового стока под влиянием хозяйственной деятельности очень незначительное, а нередко и совсем не компенсируется изменениями подземной.

С одной стороны, значение проблемы обусловливается важной природообразующей и экологической ролью малых рек, составляющих основу гидрографической сети. С другой стороны, в экономическом плане водные ресурсы малых рек являются средой, материалом для многообразной хозяйственной деятельности. Велика и их санитарно-гигиеническая роль.

Водные ресурсы малых рек, как часть общих водных ресурсов, выступают в качестве важных факторов размещения производительных сил и социально-экономического развития общества.

Постановка и начало широких исследований по проблеме малых рек относится к 1930—1950 гг. Особое внимание к ним было проявлено в первые послевоенные годы в связи с планами по обеспечению высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР, планом восстановления и развития народного хозяйства страны в 1946—1950 гг.

Характерной чертой разрабатываемых планов было интенсивное использование водных ресурсов в интересах водного транспорта, лесосплава, гидроэнергетики, водоснабжения населенных мест и промышленности, орошаемого земледелия, сельскохозяйственного производства, рыбного хозяйства, санитарного благоустройства. Такая направленность использования водных ресурсов малых рек понятна, если учесть существующую в те годы относительно малую нагрузку на малые реки и первоочередные задачи восстановления разрушенной войной экономики страны.

Продолжение широких исследований малых рек относится к периоду освоения целинных и залежных земель Северного Казахстана и Западной Сибири в 1954—1964 гг. Особое внимание к малым рекам было проявлено как к источнику водоснабжения строящихся целинных колхозов и совхозов, обводнения пастбищ и орошения участков под сенокосными угодьями и овощными культурами.

С конца 70-х годов хозяйственное использование малых рек сильно изменилось. Если совсем недавно во многих районах малые реки использовались в качестве источника питьевой воды,

то теперь на европейской части СССР, и особенно на юге, реки для этих целей не используются.

Уменьшилось значение малых рек как источника энергии. Если раньше водяные мельницы удовлетворяли значительную часть потребностей сельского хозяйства, то теперь их нет. В 1911 г. на территории России насчитывалось 144 тыс. мельниц. К началу 1938 г. осталось 35 тыс. В Курской области, например, на малых реках насчитывалось более 500 водяных мельниц, а сейчас только 4. Это в определенной степени отразилось и на состоянии самих малых рек, так как мельникам приходилось следить не только за состоянием плотин, но и за всем водосбором (борьба с заилением и т. п.).

Опыт массового строительства прудов и сельских ГЭС мощностью 30—50 кВт в 50-х годах показал, насколько сложно гидротехническое строительство на малых реках. Недостаточно обоснованное проектирование и часто некачественное строительство привели к тому, что многие плотины были разрушены, некоторые пруды остались не заполненными водой, а часть их заилилась. Большие затраты на эксплуатацию и ремонт ГЭС делали их нерентабельными. Однако проведенные в этот период проектно-изыскательские работы способствовали изучению малых рек. В этот период резко возросло количество гидрологических постов на малых реках, организовано большинство ныне действующих воднобалансовых (стоковых) станций.

На малых реках увеличилось использование маломерного моторного флота. Это привело к их чрезмерному загрязнению нефтепродуктами, размыву берегов, уничтожению водной растительности и вообще к резкому ухудшению экологических условий. Специальные исследования показали, что лодочные моторы являются источником загрязнения водоемов и водотоков канцерогенными веществами, иногда в концентрации, опасной для человека [77].

Видоизменилась и гипертрофировалась еще одна традиционная функция малой реки — сброс с территории излишков влаги. Если раньше малые реки и водотоки собирали относительно чистые талые и дождевые воды, то теперь их широко используют для сброса промышленных, хозяйственных и бытовых стоков. Особенно это характерно для крупных населенных пунктов, городов и промышленных районов. В Донбассе, например, воды, ежедневно откачиваемые из шахт, большей частью сбрасываются в реки. Подсчитано, что в р. Самару с этими водами ежедневно попадает более 100 т солей. Такое же положение характерно для промышленного Урала и для ряда областей центра европейской части СССР. В Тульской области почти все 1680 малых рек сильно загрязнены. Неочищенная вода из таких рек непригодна не только для питья, но и для промышленности. Более всего загрязняет водоемы рассредоточенный сток бытовых вод и сток с дорог, улиц и с обильно удобряемых сельскохозяйственных полей, с территории животноводческих комплексов и т. п.

Чрезмерная распашка склонов, захватывающая бровки русел, а иногда и тальвеги временных водотоков и поймы малых рек, приводит к усилению эрозии почвы и заилению гидрографической сети.

В последние годы в связи с проведением комплекса мелиоративных работ (орошение, осушение) гидрологический режим малых рек стал существенно изменяться. В нечерноземной зоне европейской части СССР ежегодно осушают тысячи гектаров переувлажненных земель. На режиме средних и крупных рек эти мероприятия пока сказываются незначительно. Что касается малых рек, то сток в их руслах нередко полностью прекращается.

Меженный сток малой реки может значительно уменьшаться из-за забора воды на орошение. В засушливые годы вода из некоторых рек разбирается полностью, в результате возникает противоречие между водо-и землепользователями.

К сожалению, малые реки, в том числе и временные водотоки, долгое время не входили в поле деятельности водоохранных органов и находились в распоряжении землепользователей (колхозы, совхозы), по территории которых они протекали. Поймы распахивались до самого русла, в балках и оврагах устраивались свалки. Интенсивная хозяйственная деятельность в бассейнах малых водотоков иногда приводила к их полному исчезновению. В военные и послевоенные годы поймы малых рек около городов интенсивно распахивались под огороды. В результате усиления эрозии некоторые водотоки почти полностью заилились.

Примеры отрицательного воздействия хозяйственной деятельности на водный режим малых рек характерны для многих густонаселенных районов страны. На Украине почти полностью заилились реки Чичиклея, Висунь, Мертвовод, Баратей, Козенный Торец и др. Слой ила достигает 3—5 м. Обмелели многие реки Алтая, такие, как Бурла, Кулунда, Чумыш, Алей и др. Большинство рек потеряло рыбохозяйственное значение. В Приазовье из-за неквалифицированного строительства и эксплуатации запруд и прудов заросли и обмелели реки Кугося, Малеванная, Кавалерка и др. [77].

Судьбами малых рек, их изучением, рациональным использованием и охраной в СССР занимаются не только административные органы, но и самые широкие круги населения. В последние 10—15 лет, когда возросли масштабы хозяйственной деятельности и ее влияние на природные условия, интерес к судьбе малых рек появился и у научной общественности.

Антропогенные воздействия, нередко отрицательные, отражаются на состоянии поверхностных и подземных вод, на их качественных и количественных характеристиках. На малых реках эти изменения прослеживаются раньше и резче, чем на средних и крупных реках.

Для изучения, рационального использования и охраны конкретных рек отдельными ведомствами и организациями разрабатываются специальные планы и производятся соответствующие

мероприятия. Однако в отличие от средних и крупных рек, охрана которых имеет уже некоторые организованные формы, малые реки в большинстве своем находятся в бесконтрольном распоряжении местных земле-, лесо- и водопользователей и вне контроля органов водного хозяйства, способных оценить и предвидеть последствия природных и антропогенных процессов, происходящих в речных бассейнах. В результате многие малые реки и особенно временные водотоки (первичная гидрографическая сеть) перестали существовать либо превратились в сточные каналы промышленных, бытовых и сельскохозяйственных отходов.

Помимо бесконтрольности в использовании водных ресурсов малых рек местными водопользователями, такое положение с малыми реками связано еще и с тем, что в планы ряда научных институтов разных министерств и ведомств включались темы, направленные на изучение водных ресурсов и качества воды только русловой сети. Формирование стока на речных водосборах и особенно изменение этого процесса в результате хозяйственной деятельности на их водосборах изучаются до сих пор крайне недостаточно.

Результаты исследований в таком направлении в виде единых рекомендаций позволили бы найти достаточно продуманные организационные формы для решения практических задач по рациональному использованию водных ресурсов и охране малых рек. Конечно, полное решение этого вопроса будет находиться в зависимости от совершенствования принципов и форм планирования народного хозяйства и управления использованием природных ресурсов. Представляется крайне желательным, чтобы малая река получила своего хозяина аналогично тому, как своего хозяина имеет лес. Использование водных ресурсов малых рек для водоснабжения, хозяйственная деятельность в их бассейнах (агролесомелиорация, орошаемое земледелие и осушительные мелиорации, разного рода строительство), водозабор и сброс отработанных вод и промышленных стоков, эксплуатация маломерного моторного флота — все это должно планироваться, разрешаться или запрещаться одной инстанцией, ответственной за состояние малой реки.

Как уже отмечалось, многие из указанных видов хозяйственной деятельности были и раньше, но их масштабы многократно возросли в последние десятилетия и продолжают расти дальше, а следовательно, растет и их влияние на гидрологический режим малых рек. Тем не менее нельзя делать вывод, что хозяйственная деятельность и нормальное функционирование малых рек несовместимы. При рациональном ведении хозяйства серьезные отрицательные последствия для природы далеко не всегда неизбежны. К сожалению, на практике решается лишь непосредственно хозяйственная задача и без учета того, как ее решение скажется на окружающей среде. Между тем имеется немало примеров того, как интенсивная хозяйственная деятельность сочетается с прекрасным состоянием природы вследствие своевременного принятия

мер, сводящих к минимуму отрицательные последствия для окружающей среды. Так, рациональная рубка леса, сопровождающаяся мероприятиями по сохранению почвенного покрова, режима питания грунтовых вод и лесовосстановления, расположение сельскохозяйственных угодий на водосборе за пределами стокообразующих участков (склоны долин, русел), применение противоэрозионной агротехники, в том числе посадка полезащитных лесных полос, резко снижают обмеление рек и заиление искусственных водоемов. Разумные масштабы орошения и осушения земель не приводят к снижению водоносности рек в межень. Организация замкнутых циклов водоснабжения и безотходного производства, использование сточных вод на полях орошения могут предотвратить катастрофическое истощение водных ресурсов и в значительной мере оградить реки от отходов водопотребления.

Таким образом, оптимально проблемы малых рек могут быть решены только лишь при осуществлении целого комплекса мер по рационализации природопользования, включающего не только водное, но и сельское, лесное, рыбное, охотничье, коммунальное хозяйство и другие области экономики. В научно-исследовательских учреждениях Академии наук СССР, Госкомгидромета СССР, Государственного комитета по водохозяйственному строительству изыскиваются пути рационального использования и охраны водных ресурсов малых рек с учетом природного равновесия. С 1981 г. проблема комплексного исследования малых рек, включая разработку способов их охраны, была включена в план Государственного комитета СССР по науке и технике как одна из крупных, в разработке которой участвовали десятки научных и проектных организаций.

1.1. Водные ресурсы малых рек

Вопросы рационального использования малых рек целесообразно рассмотреть, охарактеризовав прежде всего их водные ресурсы.

Проведенный СОПСом при Госплане СССР анализ материалов по учету, использованию и охране водных ресурсов малых рек страны показал, что работы велись, как правило, без достаточного научного обоснования. Не было единого научного руководства и координации работ, надежного теоретического фундамента в вопросах формирования водных ресурсов малых рек, их расчета, планирования и управления ими. А между тем на долю малых рек приходится значительная часть поверхностных водных ресурсов страны. Так, на территории РСФСР сток малых рек составляет более трети суммарного среднего многолетнего речного стока, в том числе 361 км^3 (41 %) на европейской части СССР и 1145 км^3 (37 %) в азиатской части. В некоторых экономических районах (Центральночерноземном, Северо-Кавказском) он достигает 60—80 %. В других республиках страны на долю малых рек

приходится от 25 до 85 % суммарного стока, и только в таких республиках, как Туркмения, Узбекистан, Молдавия, доля его невелика — от 1 до 10 %.

Более подробные сведения о водных ресурсах малых рек страны приведены В. С. Замахаевым [77]. Он предлагает рассматривать водные ресурсы малых рек по группам площадей их водосборов, а именно: для 100, 500 и 2000 км² (табл. 1.2). Так

Таблица 1.2

Пределы уменьшения водных ресурсов малых рек СССР в направлении с севера на юг в зависимости от площади водосбора, его местоположения и водности года (числитель — средний по водности, знаменатель — маловодный), млн м³

Площадь водосбора, км²	Европейская часть СССР		Азиатская часть СССР		В целом по СССР	
	За год	За месяц	За год	За месяц	За год	За месяц
100	26—2 / 16—0,2	0,3	56—4 / 40—0,5	0,7	60—2 / 40—0,2	⩽0,8
500	200—10 / 130—3	3,0	240—14 / 140—15	2,5	240—10 / 140—0,8	⩽3,0
2000	700—50 / 490—10	10	840—30 / 480—30	8,5	840—30 / 500—15	⩽10

Примечание. За месяц приведены средние минимальные значения стока.

оценивать водные ресурсы малых рек, по-видимому, целесообразно, так как ранее выполненные исследования показали зависимость характеристик стока (средний многолетний объем годового стока, годовой объем стока обеспеченностью 75 и 95 %) от площади водосбора, особенно в районах недостаточного увлажнения [21, 36].

Что касается безвозвратного водопотребления из малых рек в современных условиях, то имеющиеся опубликованные сведения [78] нуждаются в существенном уточнении. Однако и эти приближенные данные свидетельствуют о значительных безвозвратных потерях в период использования водных ресурсов малых рек в хозяйственных целях. В результате только по РСФСР среднее многолетнее безвозвратное водопотребление составляет 3,5 % водных ресурсов, в европейской части республики достигает 12,4 %, а в отдельных экономических районах (Центральный, Центральночерноземный, Поволжский, Северо-Кавказский) — 20—60 %. В маловодный год ($p = 95$ %) суммарное безвозвратное водопотребление еще более увеличивается и составляет в среднем по РСФСР около 6 %, а в ее европейской части до 22 %. В ряде экономических районов расходуется более 50 % стока малых рек

в маловодный год, а в таких районах, как Северо-Кавказский и Поволжский, потребность в воде из малых рек полностью не удовлетворяется.

Если же говорить вообще о безвозвратных потерях стока малых рек, то к безвозвратному водопотреблению необходимо было бы еще добавить изменения в стоке за счет нарушения естественных условий формирования стока на речных водосборах агролесомелиорациями, оросительными и осушительными мелиорациями, урбанизацией и малыми водохранилищами, прудами и пр. К сожалению, данных об этих изменениях пока еще нет, так как до сего времени не было методических рекомендаций по учету влияния перечисленных видов хозяйственной деятельности на сток малых рек. Однако можно с уверенностью сказать, что безвозвратные суммарные потери стока малых рек в отдельных районах существенно возрастут и будут в 2 раза и более больше приведенного безвозвратного водопотребления, в других — возможно, уменьшатся. Все будет зависеть от того, с каким знаком будет оценено суммарное преобразование стока на основе алгебраического сложения значений изменения стока под влиянием каждого отдельного вида хозяйственной деятельности в бассейне реки. Как будет показано в гл. 2 на конкретных примерах расчета, влияние одного и того же вида хозяйственной деятельности может быть неоднозначно. Преобразование стока на водосборе зависит от сочетания взаимосвязи и взаимообусловленности факторов стокообразования на участках водосбора, где осуществляется хозяйственная деятельность.

Из сказанного следует, что решение практических задач по рациональному использованию водных ресурсов малых рек (местного стока) и достоверность этих решений существенно зависят от полноты и надежности информации о стоке малых рек, от достоверности исследований влияния различных факторов (прежде всего местных регулирующих природных факторов — залесенности, заболоченности, озерности и пр.) на сток и его характеристики и от достоверности учета влияния различных видов хозяйственной деятельности на гидрологические процессы.

К сожалению, гидрологическая изученность малых рек намного хуже гидрологической изученности средних и крупных. Только в РСФСР из 6300 действующих гидрологических постов Госкомгидромета СССР на долю малых рек приходится всего лишь 28 % общего количества.

Гидрологическая изученность малых рек Сибири, Казахстана и Дальнего Востока еще более низкая (особенно в их северных районах). Однако организационная работа в этом направлении в последние годы приняла некоторую целенаправленность. В связи со значительным развитием оросительной и осушительной мелиорации и ростом водохозяйственного строительства в стране намечено некоторое увеличение сети воднобалансовых станций на мелиорируемых землях в различных природных условиях на единой организационной и методической основе, определяемой совместно

Министерством водохозяйственного строительства, Госкомгидрометом и Министерством геологии СССР.

Однако следует отметить и нежелательную тенденцию сокращения воднобалансовых станций по изучению процессов формирования водного баланса в естественных, не нарушенных или частично нарушенных хозяйственной деятельностью природных условиях. Из числа 23 открытых более 20 лет назад воднобалансовых станций в настоящее время действуют лишь 14 и то по программам, сокращенным в первые годы их действия более чем в 2 раза. Полностью лишены воднобалансовых станций Северный и Центральный Казахстан, Западная и Восточная Сибирь, горные районы Урала, Кавказа. А между тем анализ результатов воднобалансовых исследований на малых водосборах в пределах воднобалансовых станций выявил количественные взаимосвязи элементов водно-теплового баланса с факторами, обусловливающими их формирование [26, 48, 61, 138], иными словами, выявить возможность физического и математического моделирования гидрологических процессов. Последнее, в свою очередь, позволяет прогнозировать изменения элементов водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности.

В связи с данным обстоятельством и с тем, что в настоящее время в гидрологических исследованиях взят курс на разработку методов управления водными ресурсами и водным режимом рек, озер и других водных объектов на основе физико-математического моделирования, назрела необходимость расширить сеть воднобалансовых станций, и обеспечить постановку полевых экспериментов в соответствии с программами экспериментальных работ по математическому моделированию гидрологических процессов.

1.2. Методы оценки влияния хозяйственной деятельности на сток и его характеристики

Вопрос о влиянии хозяйственной деятельности на речной сток, его оценке и учете при хозяйственном использовании природных вод занимал умы ученых и практиков с давних времен. Начало комплексному воднобалансовому исследованию, на основании которого выявлена роль почвенного и растительного покрова речных водосборов в изменении водоносности рек положено в нашей стране В. В. Докучаевым, А. И. Воейковым, А. А. Измаильским и П. А. Костычевым еще в конце прошлого века. К настоящему времени накоплен большой материал с результатами этих исследований.

В области влияния агротехнических мероприятий, полезащитного лесоразведения и лесохозяйственных мероприятий — это известные исследования А. П. Бочкова [12] и М. И. Львовича [75], И. А. Кузника [68], Г. В. Назарова [87], С. Л. Вендрова [17], В. В. Рахманова [104], А. М. Молчанова [85], Г. Р. Юнусова [142], Н. И. Коронкевича [61], В. Е. Водогрецкого [25, 26, 29],

И. С. Шпака [140], П. Ф. Идзона [49], С. Ф. Федорова [129], О. И. Крестовского [64] и многих других.

В области влияния орошения — это известные исследования А. М. Алпатьева [4, 5], Л. В. Дунина-Барковского [42, 43], А. Н. Костякова [63], Н. А. Мосиенко [85], Б. Г. Штепы [140], С. И. Харченко [131], Г. В. Воропаева [35], Е. А. Леонова [72], И. А. Шикломанова [138], Н. В. Пеньковой [81] и др.

В области влияния осушительных мелиораций — известные исследования В. В. Романова [110], К. Е. Иванова [48], В. Ф. Шебеко [136], А. Г. Булавко [14, 15], С. М. Новикова [88], К. А. Клюевой [59], Г. П. Кубышкина [65, 67], С. М. Перехреста [96], Е. Л. Балясовой [81] и др.

В области влияния урбанизации — известные исследования В. В. Куприянова [69], Б. М. Доброумова и Б. С. Устюжанина [40], Н. В. Лалыкина [81] и др.

В области влияния руслового регулирования — известные исследования О. Н. Борсука [11], И. А. Железняка [45], А. Г. Курдова [70], С. С. Кутового и Б. В. Апостолова [71], И. А. Шикломанова и Г. В. Веретенниковой [137], В. С. Перехреста [95] и др.

Результаты этих исследований касались антропогенного влияния в основном на сток средних и больших рек, представлявших до 80-х годов наибольший интерес для использования в народном хозяйстве страны и лишь за редким исключением — на сток малых рек.

В связи с широко развернувшимися в нашей стране мероприятиями по подъему сельского и лесного хозяйства, предусмотренными в ряде постановлений партии и правительства, и возрастающей и уже существующей ныне напряженностью водохозяйственных балансов в бассейнах таких рек, как Волга, Дон, Днепр и др., что способствовало возникновению идеи о переброске в их бассейны северных рек для покрытия дефицита в водопотреблении, вопрос о влиянии перечисленных видов хозяйственной деятельности на водные ресурсы снова привлек к себе внимание в начале 80-х годов. Однако это внимание было сосредоточено в основном на малых реках, сток которых формирует водные ресурсы и от изменения стока которых под влиянием хозяйственной деятельности преобразуется сток средних и крупных рек. Кроме того, в силу сложившихся обстоятельств, указанных в п. 1.1, малые реки перестали широко использоваться в народном хозяйстве, что привело к рассмотрению возможности реализации идеи грандиозных переброс стока. При разумном использовании малых рек нет необходимости делать эти весьма дорогостоящие переброски. В процессе использования стока малых рек можно будет ограничиваться лишь малыми перебросками, да и то в районах, где сеть малых рек слабо развита.

Для реализации такой возможности, конечно же, необходимо знать, как и для каких целей используются водные ресурсы малых рек на современный период, как учесть влияние каждого

вида хозяйственной деятельности, как регулировать это влияние в целях сохранения водоисточников от истощения и загрязнения. Решение таких задач возможно, если имеются четкие рекомендации по учету влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на сток малых рек и его элементы в практических расчетах на основе рационального использования их водных ресурсов.

Прежде чем приступить к изложению принятых за основу методов оценки влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на сток, по-видимому, необходимо сделать некоторый краткий обзор основных, бытующих в практике гидрологических расчетов методов и их критический анализ.

Общей принципиальной основой всех методов оценки влияния хозяйственной деятельности на речной сток и его характеристики является сравнение стока, преобразованного хозяйственной деятельностью, со стоком естественным или, как часто говорят, климатическим, обусловленным комплексом стокоформирующих факторов, главные из которых — климатические (атмосферные осадки и теплоприход), а второстепенный — подстилающая поверхность. В исследованиях данного направления применяются обычно три группы методов:

1) исследование многолетних колебаний стока с применением временных многофакторных корреляционных связей стока;

2) анализ водного и теплового балансов и их изменений в бассейнах рек в результате воздействия каждого отдельного вида хозяйственной деятельности;

3) активный эксперимент.

Первая группа методов в исследовании влияния хозяйственной деятельности на сток может дать положительные результаты, но при условии, что все физико-географические факторы, в основном климатические, в сравниваемые периоды одинаковы. Поэтому при их применении обязательным условием является исключение факторов, не зависящих или слабо зависящих от хозяйственной деятельности, иными словами, приведение стока сравниваемых периодов к однородным условиям.

Методы первой группы можно разделить на три подгруппы.

К первой относятся методы, основанные на анализе многолетних колебаний годового стока за периоды с различной степенью хозяйственного освоения речных бассейнов, при этом сопоставляются коэффициенты стока за указанные периоды. На данной основе Г. Р. Юнусовым доказывается отсутствие влияния агротехники на годовой сток р. Дона [142].

Ко второй подгруппе принадлежат методы, основанные на анализе многолетних колебаний стока за те же периоды с применением множественной корреляции, статистической проверки однородности гидрологических рядов с помощью непараметрических критериев Ван дер Вардена и Вилькоксона, построения нормированных разностных интегральных кривых стока и т. п. При этом за период активного сельскохозяйственного освоения земель

фактический сток сопоставляется с вычисленным по уравнению регрессии климатическим (зональным). Это уравнение учитывает влияние на сток только основных климатических факторов: годовых и сезонных осадков, температуры воздуха, дефицита влажности воздуха. К этой же подгруппе следует отнести методы множественной линейной корреляции стока с факторами, обусловливающими его изменение. На этой основе В. В. Рахмановым доказывается увеличение стока рек Верхней Волги под влиянием леса и отсутствие влияния интенсификации сельского хозяйства, характеризуемой урожайностью, на сток р. Дон [103, 104].

Большое распространение для оценки влияния хозяйственной деятельности получили различного рода способы восстановления естественных гидрологических характеристик исследуемой реки по рекам-аналогам, имеющим ненарушенный режим [14, 15, 41, 59, 67, 138]. Для восстановления используется парная корреляция или строятся графики связи интегральных значений стока, выраженных в абсолютных или относительных величинах.

При исследовании данного способа, так же как и при использовании парной и множественной линейной корреляции [103, 138], обязательно наличие периодов совместных наблюдений, когда водный режим сравниваемых рек был естественным. Надежность расчетов полностью зависит от удачного выбора аналога с естественным стоком, изменение гидрологических характеристик которого под влиянием метеорологических факторов должно быть синхронно изменению гидрологических характеристик основной реки за анализируемый совместный период наблюдений. Выбрать такой аналог чрезвычайно сложно как в горах, где даже на рядом расположенных водосборах может наблюдаться значительная асинхронность многолетних колебаний стока, так и в равнинных районах. В связи с широким развитием водохозяйственных мероприятий практически уже нет водосборов, не затронутых хозяйственной деятельностью. На малых реках, помимо прочего, короткие ряды наблюдений также препятствуют широкому использованию метода аналогии.

К третьей подгруппе можно отнести методы, основанные на анализе характера взаимосвязи сезонного стока (весеннего и меженного) за периоды с различной степенью хозяйственного освоения земель на водосборах. На этой основе С. Л. Вендровым доказывается уменьшение весеннего стока р. Дон у г. Калача под влиянием агротехнических мероприятий на 16 %, увеличение летнего меженного стока на 28 % и уменьшение годового стока на 10 % за период 1931—1957 гг. [17].

В связи с этим следует отметить недостатки первой группы методов и необходимые условия их применения. К ним можно отнести следующие:

1. Необходимость длительных рядов наблюдений за стоком и факторами, его обусловливающими. Ряды должны включать в себя период с различным уровнем хозяйственного освоения изучаемой территории.

Оренбургская областная научная библиотека им. Н. К. Крупской

2. Трудность исключения факторов, компенсирующих, например, влияние агромероприятий на сток за счет выхода части земель из севооборота в связи с неправильным внедрением агротехнических приемов земледелия в отдельных хозяйствах.

3. Затруднен во времени учет динамики сельскохозяйственного освоения земель, различий в почвогрунтах на вновь освоенных землях, в уровне агротехнических приемов земледелия, в характере водообеспечения и водоотведения и типе регулирования водного режима почвы и пр.

4. Невозможность оценки влияния хозяйственной деятельности на сток с малых водосборов (балки, лога, временные водотоки) как из-за отсутствия продолжительных рядов наблюдений, так и в связи с недостаточным для регрессионного анализа количеством пунктов наблюдений за стоком, а результаты исследований, полученные на больших реках, нельзя распространять на малые реки, и особенно на реки без грунтового питания.

5. Редкая возможность в пределах одной природной зоны составить ряд из пунктов наблюдений за стоком, включающий в анализ весь диапазон изменений определяющих факторов и равномерное их распределение. Несоблюдение данного условия нередко приводит к неоправданному исключению некоторых факторов из уравнения регрессии из-за «незначительной» доли их вклада.

6. Ограниченность применения регрессионного анализа для районов с большой вариацией стока ($c_v > 1{,}0$). При этом коэффициенты общей корреляции стока с факторами, его обусловливающими, уменьшаются, а среднее квадратическое отклонение увеличивается. Данное обстоятельство приводит к значительному преувеличению или преуменьшению оценки влияния агролесомелиораций, осушительных и оросительных мелиораций на годовой сток.

7. Ограниченность оценки влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на водосборе.

Изложенное выше свидетельствует о больших ограничениях в применении методов первой группы для оценки влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на водные ресурсы и сток. Их можно рекомендовать лишь для приближенной оценки этого влияния. Наиболее эффективен метод сравнения стока за периоды, однородные по климатическим условиям, но с различным уровнем хозяйственного освоения земель в их бассейнах. Это возможно на очень больших реках (Волга, Дон, Днепр) и их крупных притоках с продолжительными рядами наблюдений либо на средних реках (с водосборами в пределах отдельных природных зон) с менее продолжительными наблюдениями, но в бассейне которых произошли резкие изменения в хозяйственном освоении. Полученные результаты на водосборах средних рек могут быть экстраполированы на другие бассейны в том случае, если они являются аналогичными по физико-географическим, климатическим, почвенным и гидрогеологическим условиям. Ме-

тоды регрессионного анализа дают положительные результаты при оценке влияния всего комплекса хозяйственной деятельности и при соблюдении перечисленных обязательных условий.

Вторая группа методов заключается в исследовании изменений составляющих водного и теплового балансов под влиянием хозяйственных мероприятий с дифференцированным учетом роли в формировании стока каждого мероприятия отдельно, а также в оценке изменений водного баланса в пределах тех частей бассейна, на которых они осуществлены или запланированы. Балансовый метод более универсален, он позволяет наиболее достоверно оценить изменения, происшедшие в прошлом, настоящие и ожидаемые в будущем.

На основе экспериментальных данных по гидрологическому режиму, водному и тепловому балансам разработаны воднобалансовые методы оценки влияния на сток рек агротехнических и лесомелиоративных мероприятий [12, 26, 75, 81], орошения и осушения [81, 88, 123], создания и эксплуатации водохранилищ [95, 117, 138].

Дальнейшим развитием этой группы методов являются методы математического моделирования процессов, происходящих на водосборе или на отдельных его частях. Применение методов математического моделирования к оценке влияния хозяйственной деятельности на сток и его характеристики предопределяет следующие этапы: изучение условий формирования стока на водосборах в естественных и преобразованных хозяйственной деятельностью условиях; составление уравнений, описывающих изменение во времени и пространстве элементов водного баланса и гидрологического режима; реализация этих уравнений на ЭВМ в целях определения по натурным данным отдельных параметров и коэффициентов для принятых уравнений; численный эксперимент, т. е. расчеты при разных начальных условиях и при различных значениях параметров, отражающих влияние (изменение) метеорологических факторов и хозяйственной деятельности на элементы водного баланса и гидрологические характеристики.

Математическое моделирование антропогенного преобразования стока обладает большими достоинствами. Оно позволяет за короткое время и без больших затрат количественно оценить влияние различных видов хозяйственной деятельности в различных их сочетаниях и тем самым дает возможность рассчитывать и прогнозировать сток и его характеристики в будущем при освоении территорий в различных вариантах.

К большому сожалению, в настоящее время методы математического моделирования стока еще находятся в начале своего развития, так как для полноты и обоснованности принятых расчетных уравнений нет достаточно надежной исходной информации для определения необходимых параметров и низка степень изученности преобразования стокоформирующих комплексов (ландшафтов) под влиянием хозяйственной деятельности. Однако в последние годы внимание к моделированию усилилось [19, 30,

39]. Используются, например, методы математического моделирования для оценки влияния горных выработок, крупных водозаборов, осушительной дренажной сети на режим грунтовых вод [40, 81]. В самое последнее время осуществлена попытка моделирования процесса преобразования стока на водосборах малых рек под влиянием агротехнических мероприятий, полезащитного лесоразведения и лесохозяйственных мероприятий [30]. В результате представилось возможным оценить и учесть влияние агролесомелиораций на сток любой малой реки (изученной или не изученной в гидрологическом отношении) и осуществить вариантные решения с учетом рационального использования водных ресурсов и их охраны.

И, наконец, о методах третьей группы — методах активного эксперимента. В существующей литературе [138] к методам активного эксперимента обычно относят мероприятия, связанные с искусственным изменением одного из факторов подстилающей поверхности (вырубка и посадка леса, распашка целины, изменение агротехнических приемов земледелия и т. п.). Влияние этих мероприятий на водный баланс вычисляется путем проведения наблюдений за элементами водного баланса в течение ряда лет до проведения мероприятий на водосборе и после их проведения. По разности между значениями элементов водного баланса до и после проведения мероприятий судят об их влиянии на сток рек и его характеристики. Вот такая скромная роль отводилась, да и отводится до сих пор активным экспериментам. На самом же деле на активные эксперименты надо смотреть гораздо шире. Это особенно необходимо для решения задач по развитию методов математического моделирования.

В связи с этим полевые эксперименты должны сочетаться с лабораторными. В активный эксперимент должны быть включены не только мероприятия по изменению одного из факторов подстилающей поверхности, но и мероприятия, направленные на изменение водоподачи на водосбор (изменение снегозапасов и и снеготаяния, искусственное дождевание с различной интенсивностью на больших площадках или малых водосборах), на изменение теплового и водного балансов подстилающей поверхности (искусственное промораживание и оттаивание почвогрунтов, изменение увлажнения почвогрунтов и т. д.).

Постановка активных полевых экспериментов в сочетании с лабораторными гидрофизическими исследованиями в широком плане — необходимое условияе для развития исследований нового поколения, математического моделирования процессов речного стока с учетом влияния любого вида хозяйственной деятельности на сток и его характеристики.

2. Оценка влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы (годовой и сезонный сток) малых рек

Существующие в специальных литературных источниках методические приемы (способы) оценки влияния хозяйственной деятельности на сток, основанные на использовании материалов сетевых наблюдений (методы первой группы), дают интегральную оценку этого влияния, т. е. всего комплекса антропогенных факторов в бассейне. Только в редких случаях, когда в бассейне доминирующее влияние на сток оказывает какой-то один вид хозяйственной деятельности, например орошаемое земледелие или осушительные мелиорации, методические приемы первой группы (п. 1.3) позволяют дифференцированно оценить влияние одного из перечисленных видов хозяйственной деятельности. Кроме того, интегральные приемы оценки не позволяют выявить роль каждого вида хозяйственной деятельности в отдельности и в тех случаях, когда изменения стока незначительны и находятся в пределах точности расчета элементов гидрометеорологического режима в пунктах наблюдений. Учитывая большие ограничения в использовании методов оценки первой группы, хотя они и просты в практических исследованиях, в настоящее время наибольшее внимание уделяется совершенствованию и развитию методов дифференцированной оценки влияния хозяйственной деятельности на сток рек.

2.1. Принципиальные основы методов дифференцированной оценки влияния хозяйственной деятельности на сток

Методы основаны на анализе элементов водного баланса угодий или территорий экосистем с преобразованным стоком под влиянием каждого отдельного вида хозяйственной деятельности: богарное или орошаемое земледелие, осушительные мелиорации, агротехнические приемы в земледелии, лесохозяйственные мероприятия, урбанизация и т. д. Для исследования в таком направлении используются многочисленные данные смежных наук (климатологии, почвоведения, геоморфологии, гидрогеологии, физиологии растений и пр.), а также материалы изучения движения влаги в почвогрунтах различного литологического сложения. В качестве примера можно указать разработку в данном направлении методических приемов оценки влияния агромероприятий, леса и полезащитного лесоразведения на склоновый, грунтовый сток и суммарное испарение с водосборов на экспериментальном материале, накопленном на воднобалансовых, агрометеорологических, лесо-

мелиоративных и гидрогеологических станциях, а также экспедициями Государственного гидрологического института [26, 27, 31].

Методика оценки влияния хозяйственной деятельности на элементы водного баланса основана на применении генетических (корреляционных многофакторных) связей элементов водного баланса с факторами, их обусловливающими (климатическими, геоморфологическими, почвенно-ботаническими и гидрогеологическими). Иными словами, основой методики оценки является ландшафтно-гидрологический принцип в исследовании.

Ландшафтно-гидрологический принцип позволяет определить возможность перехода от частного к общему, от точки на водосборе ко всей его площади. Он основан па выявленных закономерностях взаимосвязи изменений элементов водного баланса и гидрологического режима под влиянием отдельных антропогенных факторов с естественными факторами, обусловливающими их формирование на типичных для природной зоны ландшафтах. На данной основе можно моделировать преобразование элементов водного баланса, что позволяет осуществить расчет и прогноз преобразований в стоке и выбрать оптимальный вариант возможных изменений с учетом рационального использования и охраны водных ресурсов малых рек. В результате выясняется физическая сущность формирования составляющих водного баланса и их режима на водосборе, раскрывается механизм взаимодействий факторов, обусловливающих формирование стока и его изменений, и объясняются причины различий во влиянии даже одного вида хозяйственной деятельности на сток. Это уже ключ к правильному и целенаправленному преобразованию водного баланса и прогнозу изменений водообеспеченности территории в зависимости от планируемых хозяйственных мероприятий, т. е. появляются возможности управления водными ресурсами, хотя бы на уровне оптимизации их рационального использования. С принципиальных позиций это имеет несомненное преимущество перед двумя первыми группами методов.

Для убедительности логические рассуждения о физической сущности преобразования элементов водного баланса и стока целесообразно представить в следующем схематическом построении.

Введем условные обозначения элементов водного баланса и их изменения под влиянием того или иного вида хозяйственной деятельности на водосборе в многолетнем разрезе: X, $y_{пов}$, $y_{гр}$, E — атмосферные осадки, поверхностный и грунтовый сток и испарение соответственно; ΔX, $\Delta y_{пов}$, $\Delta y_{гр}$, ΔE — изменения этих элементов.

Изменения в поверхностном стоке $\Delta y_{пов}$ обусловлены в основном изменениями склонового $\Delta y_с$ и частично руслового $\Delta y_р$ стока. Причем значение $\Delta y_р$ очень мало, всегда с положительным знаком (увеличение стока за счет дополнительной аккумуляции снега, сдуваемого с пашни) или равно нулю при проведении ме-

роприятий по снегозадержанию. Все изменения в поверхностном стоке обусловлены главным образом значением изменения склонового стока.

Тогда уравнение водного баланса речного бассейна может быть записано в виде

$$X - y_c - y_{гр} - E = 0 \qquad (2.1)$$

или относительно стока

$$y_c + y_{гр} = X - E, \qquad (2.2)$$

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

$$\Delta X - \Delta y_c - \Delta y_{гр} - \Delta E = 0 \qquad (2.3)$$

или относительно стока

$$\Delta y_c + \Delta y_{гр} = \Delta X - \Delta E. \qquad (2.4)$$

В частном варианте, при отсутствии изменения осадков во времени на участках с преобразованием стока, уравнение (2.4) примет вид

$$\Delta y_c + \Delta y_{гр} = \Delta E. \qquad (2.5)$$

Из уравнений (2.3) и (2.4) следует, что изменения в стоке рек под влиянием хозяйственной деятельности должны соответствовать изменениям в осадках и в суммарном испарении на водосборах.

Таким образом, исследования на воднобалансовой основе позволяют также осуществлять объективный контроль достоверности получаемых результатов на основе независимых определений составляющих водного баланса и их изменений под влиянием антропогенных факторов.

Механизм взаимодействия факторов, обусловливающих формирование элементов стока и испарения на водосборе, можно выразить зависимостями вида:

$$y_c = f(X,\ S + x,\ U,\ \sum(-t),\ \text{М},\ I), \qquad (2.6)$$

$$y_{гр} = f(X,\ R,\ H,\ \text{М},\ \text{Л},\ I), \qquad (2.7)$$

$$E = f(X,\ R,\ H,\ \text{М},\ \text{Л},\ \text{Э},\ \text{В},\ \text{Т}), \qquad (2.8)$$

где X — сумма атмосферных осадков, характеризующая общую увлажненность природных зон; R — радиационный баланс (теплоприход на поверхность почвы); $(S+x)$ — максимальные запасы воды в снеге и дополнительные осадки за период склонового стока; U — влагозапасы в метровом слое почвогрунтов в период, предшествующий склоновому стоку; $\sum(-t)$ — сумма отрицательных суточных значений температуры воздуха за период интенсивного промерзания почвогрунтов; М — механический состав почвогрунтов в метровом слое, характеризующий их филь-

трационные свойства; Л — литологическое строение зоны аэрации, что в совокупности с механическим составом преобладающих почвогрунтов в профиле характеризует фильтрационные свойства всей зоны аэрации; I — уклон склонов, определяющий скорость поверхностного стекания талых и дождевых вод; Э — экспозиция склонов, влияющая на характер весеннего снеготаяния; В — вид растительности; T — возраст древостоя; H — глубина залегания грунтовых вод, позволяющая в сочетании с водно-физическими характеристиками почвогрунтов в зоне ее колебания оценить питание грунтовых вод атмосферными осадками в любую фазу режима уровня.

Все перечисленные факторы в совокупности своей определяют характер (режим) изменения элементов водного баланса, имеют количественное выражение и легко доступны для определения.

Если элементы водного баланса выразить в относительных величинах (относительно основного климатического фактора — осадков), то зависимости (2.6)—(2.8) можно переписать в виде:

$$\alpha = y_c/(S + x) = f(X,\ U,\ \sum(-t),\ \text{М},\ I), \qquad (2.6')$$

$$\alpha' = y_{гр}/X = f(R,\ H,\ \text{М},\ \text{Л},\ I), \qquad (2.7')$$

$$\alpha'' = E/X = f(R,\ H,\ \text{М},\ \text{Л},\ I,\ \text{Э},\ \text{В},\ T). \qquad (2.8')$$

В такой форме они более приемлемы для анализа пространственного изменения отдельных факторов при оценке влияния хозяйственных мероприятий на водосборе. При этом исключается влияние осадков, что позволяет территориально расширить пределы использования имеющегося экспериментального материала для разработки методических рекомендаций по оценке антропогенного влияния на годовой и сезонный сток.

Оценка влияния каждого вида хозяйственной деятельности на элементы водного баланса производится на основе сопоставления значений стока и испарения, вычисленных по указанным зависимостям на участках с преобразованным стоком (сельскохозяйственные поля, угодья под орошением и осушением, лесом и лесными полосами), со значениями стока и испарения с целинных (залежных, луговых) участков, принятых за эталон для каждой природной зоны. Это наиболее характерные и представительные до агролесомелиоративного освоения поверхности в пределах природных зон.

Оценка влияния на данной основе позволяет определить значение изменения элементов водного баланса под влиянием каждого отдельного вида хозяйственной деятельности в зависимости от водности года (многоводный, средний и маловодный) и в зависимости от климатических (X), геоморфологических (I), почвенных (М, Л) и гидрогеологических (H) факторов.

В этом и состоит принципиальное отличие данного метода оценки влияния (например, агролесомелиораций) на сток и водный баланс от ранее разработанных методик (см. п. 1.3).

Оценка влияния на данной основе реальна лишь при возможности непосредственного определения изменений склонового и грунтового стока на площадях (угодьях) с преобразованным стоком путем определения изменения питания грунтовых вод ΔW атмосферными осадками. Расчет питания грунтовых вод атмосферными осадками в пределах отдельных угодий и водосборов в целом подробно рассмотрен в работе [26].

Располагая зависимостями по природным зонам

$$\Delta y_c = f(X,\ S + x,\ \text{М},\ I), \tag{2.9}$$

$$\Delta W = \Delta y_{гр} = f(X,\ H,\ \text{М},\ \text{Л},\ I), \tag{2.10}$$

$$\Delta E = f(X,\ R,\ H,\ \text{М},\ \text{Л},\ \text{В},\ T) \tag{2.11}$$

или

$$\Delta\alpha = f(\text{М},\ I), \tag{2.9'}$$

$$\Delta\alpha' = f(H,\ \text{М},\ \text{Л},\ I), \tag{2.10'}$$

$$\Delta\alpha'' = f(R,\ \text{М},\ H,\ \text{В},\ T) \tag{2.11'}$$

и зная площади с преобразованием стока на водосборе с известными почвенными, геоморфологическими и гидрологическими характеристиками, можно перейти от оценки влияния на частных площадях (угодьях) к оценке влияния хозяйственных мероприятий на водосборе в целом.

Такой переход осуществляется суммированием изменений элементов стока или суммарного испарения на отдельных угодьях по водосбору на основе зависимостей:

$$\sum_1^n \Delta\alpha = f(f_{\text{М}},\ f_I), \tag{2.12}$$

$$\sum_1^n \Delta\alpha' = f(f_{\text{М}},\ f_{\text{Л}},\ f_H,\ f_I), \tag{2.13}$$

$$\sum_1^n \Delta\alpha'' = f(f_{\text{М}},\ f_{\text{Л}},\ f_{\text{В}},\ f_T,\ f_R), \tag{2.14}$$

где в скобках частные площади с преобладающими на водосборе показателями почвенно-ботанических, геоморфологических и гидрогеологических характеристик, в долях площади водосбора.

Тогда формулы для определения влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на годовой сток с малых водотоков в интегральном выражении можно написать в виде:

$$\Delta Y = \left(\sum_{i=1}^n \Delta\overline{y}_{\text{п, л, лсп, ор, ос, УТ}} + \sum_{i=1}^n \Delta\overline{W}_{\text{п, л, лсп, ор, ос, УТ}} \right)_{\text{сп, сг}} \times$$

$$\times f_{\text{п, л, лсп, ор, ос, УТ}}, \tag{2.15}$$

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \Delta\overline{E}_{\text{п, л, лсп, ор, ос, УТ}}\ f_{\text{п, л, лсп, ор, ос, УТ}}, \tag{2.16}$$

где ΔY — изменение суммарного годового стока в реки или притоки в озеро, определяется как алгебраическая сумма изменений стока (склонового и грунтового) или изменений суммарного испарения под влиянием отдельно взятого вида хозяйственной деятельности на n отдельных частных площадях (угодьях); $f_{п, л, лсп, ор, ос, ут}$ — площадь под сельскохозяйственными полями на богаре (п), под лесом (л) и лесными полосами (лсп), под орошаемыми сельскохозяйственными полями (ор), то же на сельскохозяйственных полях после осушения болот и заболоченных земель (ос), на участках городской и сельской застройки (УТ) и т. п. отдельно для супесчаных (сп) и суглинистых (сг) почвогрунтов, выраженная в долях площади водосбора.

При этом для рек без грунтового питания второе слагаемое

$$\sum_{1}^{n} \Delta \overline{W}_{п, л, лсп, ор,ос, ут} f_{сп, сг, п, л, лсп, ор, ос, ут} = 0.$$

Зависимости (2.9) и (2.10), аппроксимированные в виде аналитических выражений (формул) или в виде таблиц, удобных для практического использования в расчетах, могут служить упрощенной моделью взаимосвязи изменений стока с климатическими, почвенными, геоморфологическими и гидрогеологическими факторами.

Как будет отмечено в последующих главах монографии, влияние отдельных видов хозяйственной деятельности на сток различно и неоднозначно и зависит от сочетания рельефных, почвенных и гидрогеологических факторов (характеристик) на площадях с преобразованным стоком.

Прежде чем приступить к краткому изложению методики оценки каждого из перечисленных видов хозяйственной деятельности на годовой сток и его составляющие, следует несколько подробнее остановиться на том, что же принять в качестве эталона для установления значения изменения склонового стока, питания грунтовых вод атмосферными осадками и испарения с почвы и в какой степени принятый эталон является представительным и характерным для той или иной природной зоны. Кроме того, чрезвычано важно отметить репрезентативность имеющейся на воднобалансовых и мелиоративных станциях информации для решения данной задачи на вышеизложенной принципиальной основе.

В качестве эталона для сравнения приняты: суходольный луг и залежь в лесной зоне, залежь в лесостепной и целина (степь) в степной зонах.

Материалы воднобалансовых станций [26], которые были использованы для разработки принципиальных основ метода, являются репрезентативными в отношении геоморфологических и климатических факторов в пределах каждой отдельно взятой природной зоны. Собственно, это было главным условием при организации стационарных воднобалансовых исследований на территории СССР.

Однако имеющаяся информация по экспериментальным исследованиям не охватывает полного диапазона возможных вариаций в значениях отдельных факторов, обусловливающих динамику возможных изменений элементов водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности. Так, например, на водобалансовых станциях лесной зоны, частично лесостепной и степной зон европейской части СССР не полностью охвачены наблюдениями за склоновым, грунтовым стоком и испарением участки с характерными для сельскохозяйственных полей и полезащитных лесонасаждений уклонами склонов, механическим составом почвогрунтов, глубинами залегания грунтовых вод.

Это обстоятельство и привело к необходимости разработать ряд методических приемов анализа генетических и эмпирических связей (2.6)—(2.8), которые бы позволили восполнить недостающую информацию на основе их интерполяции и экстраполяции.

Подробное изложение методики оценки и учета влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на годовой и сезонный сток, а также на суммарное испарение приведено в следующих главах.

2.2. Агролесомелиоративные и лесохозяйственные мероприятия

Методика оценки влияния агролесомелиоративных и лесохозяйственных мероприятий на годовой сток разработана автором и изложена в работах [26, 28—31].

При разработке методики за основу был принят ландшафтно-гидрологический принцип изучения элементов водного и теплового балансов и их изменений под влиянием данного вида хозяйственной деятельности. В связи с этим независимые дифференцированные исследования влияния агролесомелиорации на поверхностный и подземный сток и суммарное испарение на водосборе проводят, используя уравнение водного баланса за многолетний период (2.1).

Формулы для оценки изменений стока на водосборе под влиянием агролесомелиоративных мероприятий можно записать в общем виде:

$$\Delta\overline{Y} = \left(\sum_{1}^{n} \Delta\overline{y}_{\text{п, л, лсп}} f_{\text{п, л, лсп}} + \sum_{1}^{n} \Delta\overline{W}_{\text{п, л, лсп}} f_{\text{п, л, лсп}} \right)_{\text{сг, сп}}, \quad (2.15')$$

$$\Delta\overline{Y} = \left(\sum_{1}^{n} \Delta\overline{E}_{\text{п, л, лсп}} f_{\text{п, л, лсп}} \right)_{\text{сп, сг}}, \quad (2.16')$$

где $\Delta\overline{Y}$ — изменение среднего многолетнего суммарного стока реки или притока в озеро; $\Delta\overline{y}_{\text{п, л, лсп}}$ — среднее многолетнее уменьшение склонового стока соответственно с пашни, с учетом

компенсации этого уменьшения за счет дополнительного снегонакопления в гидрографической сети, с леса и с лесных полос; $\Delta\overline{W}_{п,\ л,\ лсп}$ — среднее многолетнее увеличение грунтового стока или питания грунтовых вод атмосферными осадками на угодьях; $\Delta\overline{E}_{п,\ л,\ лсп}$ — изменение среднего многолетнего суммарного испарения после проведения агролесомелиоративных мероприятий; $f_{п,\ л,\ лсп}$ — площади отдельных угодий в пределах супесчаных (легкосуглинистых) и суглинистых (тяжелосуглинистых) почвогрунтов в долях площади бассейна.

Формулы (2.15′) и (2.16′) показывают, что изменение интегрального значения речного стока $\Delta\overline{Y}$ представляет собой алгебраическую сумму изменений склонового и грунтового стока или изменений суммарного испарения на n отдельных частных площадях (угодьях).

Оценка изменения поверхностной составляющей стока произведена на основании построения и анализа зависимости

$$\alpha = f(U_t,\ I), \tag{2.17}$$

где α — коэффициент склонового весеннего стока; U_t — показатель, характеризующий степень увлажненности в метровом слое и промерзаемости почвогрунтов в период, предшествующий стоку; I — уклон склона.

Индекс U_t является показателем водопроницаемости почвогрунтов, чем он больше, тем выше коэффициент стока, и наоборот. В качестве значение U_t приняты произведения суммарных влагозапасов U в слое 100 см на сумму отрицательных значений температуры воздуха $\sum(-t)$ за период от начала устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С до 1/I [26]. При относительно недостаточном влагонасыщении почвогрунтов уменьшение водопроницаемости и, следовательно, потерь стока обусловливается повышенным значением $\sum(-t)$ и, следовательно, повышенной цементацией почвогрунтов. При относительно низком значении $\sum(-t)$ уменьшение потерь стока объясняется повышенным влагонасыщением. Зависимость склонового стока от значения комплексного показателя U_t в данном варианте обусловлена предположительной равноценностью вклада числовых значений U и $\sum(-t)$ в общем их произведении.

Зависимости вида (2.17) построены по данным водобалансовых станций и опытных стационаров, расположенных в пределах отдельных природных зон. При этом для каждой природной зоны указанная зависимость получена раздельно для залежных (луговых, степных) и распаханных под зябь склонов в пределах супесчаных (легкосуглинистых) и суглинистых почвогрунтов. В качестве примера указанная зависимость показана на рис. 2.1. Полученные зависимости характеризуются коэффициентами корреляции r=0,78... 0,90 и относительным средним квадратическим отклонением 12—17 %. Зависимости использованы для оценки влияния агротехнических мероприятий и леса на склоновый сток

путем сопоставления средних значений коэффициентов весеннего стока вычисленных по графикам связи за различные по водности периоды для залежных и распаханных под зябь склонов с равновеликими значениями индекса U_t и уклона склона. По результатам сопоставления поверхностный сток значительно уменьшается с залесенных и распаханных склонов, причем уменьшение зави-

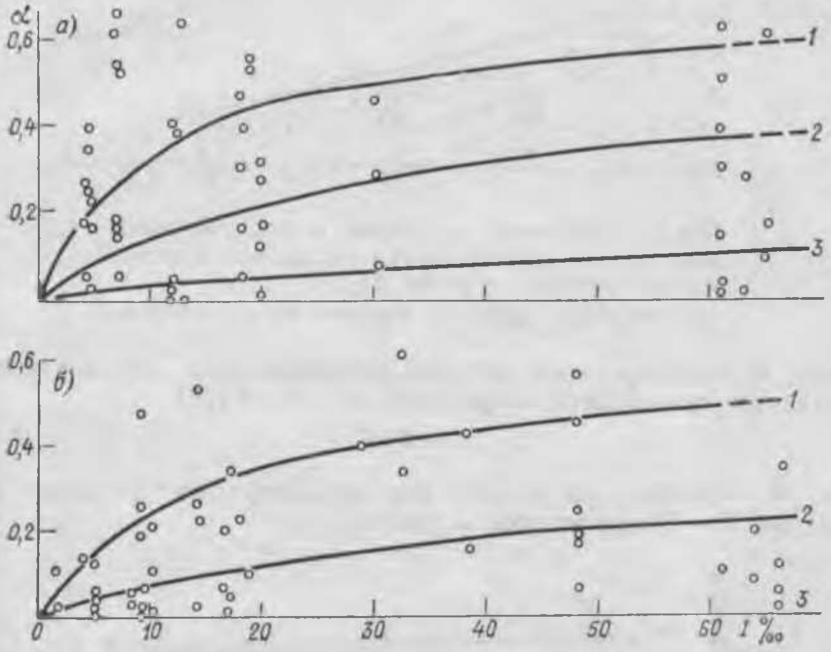


Рис. 2.1. Зависимость $\alpha = f(U_t, I)$ для целинных (*а*) и распаханных (*б*) склонов на суглинистых почвогрунтах степной зоны Северного Казахстана. *1—3* — значения U_t соответственно равны $1000/(150 \cdot 10^3)$, $800/(130 \cdot 10^3)$, $600/(80 \cdot 10^3)$.

сит от общей увлажненности природной зоны, водности лет, почвогрунтов и уклонов склонов (прил. 1, 2). Учет влияния различных видов агротехнической обработки почвы и противоэрозионных мероприятий на уменьшение склонового стока производится путем введения коэффициентов, полученных опытным путем (см. гл. 3).

Влияние леса и лесных полос на склоновый сток определяется по зависимости последнего от залесенности водосборов (рис. 2.2, 2.3). Уменьшение склонового стока на 1 % залесенности составило 1 % при перекрестном расположении лесных полос (вдоль и поперек склонов) и 1,4 % при расположении их преимущественно поперек склонов [26].

Изменения грунтовой составляющей стока оцениваются на основе построения и анализа зависимостей вида

$$\alpha' = f(H_г), \tag{2.18}$$

где H — глубина залегания грунтовых вод (мощность зоны аэра-

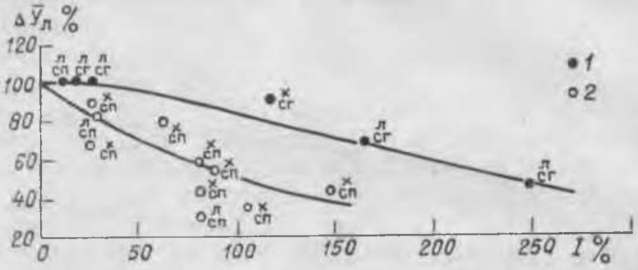


Рис. 2.2. Зависимость от уклона склона уменьшения стока с лесных склонов $\Delta\bar{y}_л$ (%) относительно безлесных для лесостепной (*1*) и лесной (*2*) зон.

сг — суглинки, сп — супеси, л — лиственный лес, х — хвойный лес.

ции); α' — коэффициент питания грунтовых вод атмосферными осадками, вычисляется по формуле из работы [26]

$$\alpha' = W/X, \tag{2.19}$$

где W — питание грунтовых вод атмосферными осадками за год, мм; X — сумма осадков за год, мм.

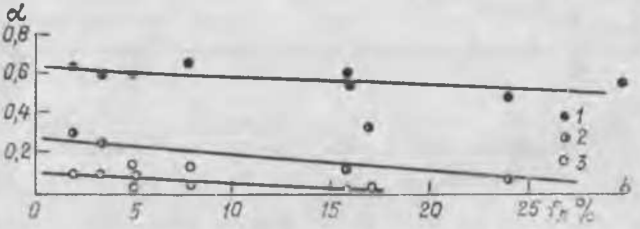


Рис. 2.3. Зависимость коэффициента стока от площади лесов и лесных полос $f_л$ (%) в многоводные (*1*), средние по водности (*2*) и маловодные (*3*) годы для лесостепной и степной зон.

Зависимость (2.18) построена отдельно для залежных (луговые, степные), распаханных (сельскохозяйственные угодья) и лесных склонов на преобладающих супесчаных или суглинистых почвогрунтах в пределах лесной, лесостепной, степной зон европейской части СССР и Северного Казахстана для лет с различной увлажненностью атмосферными осадками. В качестве примера зависимость (2.18) приведена на рис. 2.4. Коэффициент корреляции зависимости $r = 0{,}75 \ldots 0{,}95$ с относительным средним

квадратическим отклонением 12—17 %. Зависимость (2.18) в пределах каждого отдельно взятого ландшафта отражает уменьшение коэффициента питания грунтовых вод атмосферными осадками с увеличением их глубины залегания.

Результаты сопоставления средних значений коэффициентов питания, вычисленных по графикам связи за различные по вод-

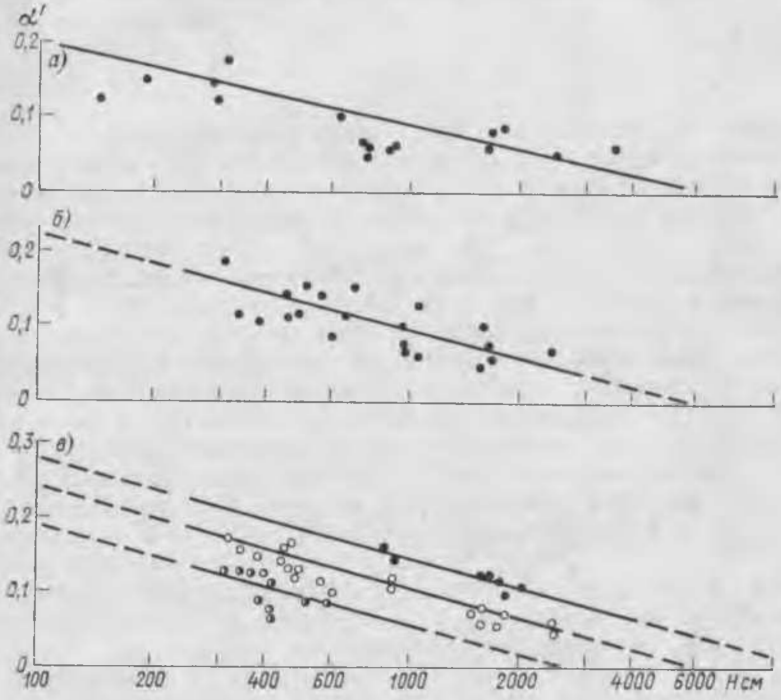


Рис. 2.4. Зависимость коэффициента питания грунтовых вод атмосферными осадками α' от глубины залегания грунтовых вод H в средние по увлажненности годы в лесостепной зоне на залежи (*а*), пашне (*б*) и лесных полосах (*в*).

1 — для лесных полос, расположенных поперек склона; *2* — для лесных полос и лесных массивов в приводораздельной зоне; *3* — для лесных полос, расположенных преимущественно поперек склона.

ности годы (периоды) для залежных и распаханных и залесенных склонов с одинаковыми глубинами залегания грунтовых вод и близким литологическим сложением почвогрунтов зоны аэрации свидетельствуют об увеличении грунтового стока (прил. 3).

Расчет возможного уменьшения склонового и увеличения грунтового стока для конкретных водосборов или их частей производится по формулам (см. гл. 3), структура которых основана на весовом осреднении главных факторов, влияющих на изменение склонового и грунтового стока, а именно: осадков (годовых и зимне-весенних), доли площадей под угодьями с учетом разли-

чий в почвах, уклонах склонов и глубин залегания грунтовых вод.

Для контроля полученных результатов расчета, а также для районов с неустойчивым снежным покровом или его отсутствием разработана методика оценки влияния агротехнических мероприятий, леса и полезащитных лесных полос на суммарное испарение. Методика основана на сопоставлении измеренных значений испа-

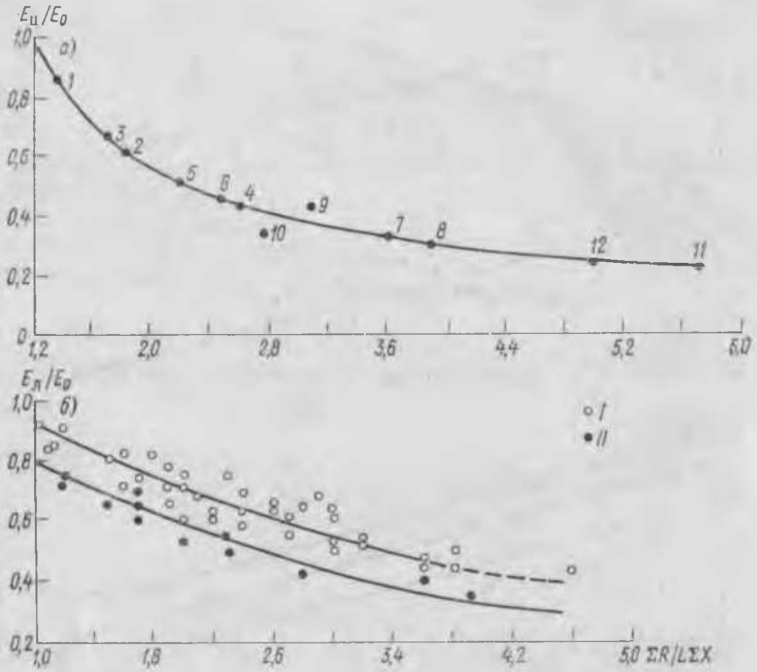


Рис. 2.5. Связь $E_{ц.\,л}/E_0 = f(\sum R/L \sum X)$ для целины (*а*) и для смешанных лесов в лесостепной зоне (*б*) при уровне грунтовых вод $H > 10$ м (*I*) и $H = 4 \ldots 10$ м (*II*).

Цифрами обозначены воднобалансовые и метеорологические станции: *1*) ВФ ГГИ; *2*) **Прибалтийская;** *3*) **Белогорка;** *4*) **Молдавская;** *5*) **Нижнедевицкая;** *6*) **Каменная степь;** *7*) **Аскания-Нова;** *8*) **Дубовская;** *9*) **Федоровский зерносовхоз;** *10*) **Омск,** *11*) **Западно-Казахстанская,** *12*) **Кустанайская.**

рения с различных угодий (пар, поле под яровыми, озимыми и пропашными культурами) с испарением на залежных (целинных и луговых) участках (прил. 12).

Влияние леса и лесных полос на испарение в лесной и лесостепной зонах оценено на основании аналогичного сопоставления данных по испарению, вычисленных по зависимости

$$E_{ц.\,л}/E_0 = f\left[R/(L \sum X)\right], \qquad (2.20$$

где $E_{ц.\,л}/E_0$ — отношение суммарного испарения с различных уго

дий к испаряемости, вычисляемой по условному дефициту влажности воздуха согласно Рекомендациям [108]; $R/L\sum X$ — радиационный индекс сухости (отношение радиационного баланса к затратам тепла на испарение суммы осадков); $\sum X$ — осадки за теплый период; $L=2{,}51$ МДж/кг скрытая теплота испарения (рис. 2.5).

Построению зависимости (2.20) предшествовал расчет испарения на опытных лесных участках и лесополосах [26] по уравнению водного баланса

$$E_л = X - y_п + (U_к - U_н) - W, \qquad (2.21)$$

где $E_л$ — суммарное испарение с леса; X — осадки на открытой местности; $y_п$ — поверхностный сток; $U_н$, $U_к$ — влагозапасы в почвогрунтах зоны аэрации в слое 3—4 м соответственно в начале и конце теплого периода; W — питание грунтовых вод атмосферными осадками.

Влияние леса и лесополос оценено в пределах всех природных зон как в многолетнем разрезе, так и для периодов с различной увлажненностью. Изменение испарения под влиянием агролесомелиораций на конкретных водосборах рассчитывалось по формулам, учитывающим весовое осреднение основных факторов, влияющих на изменение испарения с почвы (см. гл. 3).

Полученное изменение суммарного стока под влиянием агролесомелиораций даже для водосборов больших и средних рек оказалось довольно близким к результатам оценки изменений суммарного испарения как по отдельным зонам, так и для конкретных водосборов (табл. 2.1).

Основой для методических разработок по оценке влияния агромероприятий на сезонный сток послужили результаты исследований по оценке влияния агромероприятий на годовой сток [26].

Как известно, агромероприятия влияют на поверхностную составляющую стока рек главным образом весной, уменьшая склоновый сток. Причем это уменьшение зависит от механического состава почвогрунтов, уклона полевых склонов и предшествующего увлажнения почвы.

Влияние агротехнических мероприятий на подземную составляющую стока выражается увеличением грунтового притока реки или озера в течение всего теплового периода за счет увеличения питания грунтовых вод на сельскохозяйственных полях осадками в виде снега и дождя.

Анализ совмещенных графиков хода уровня грунтовых вод и гидрографов стока рек показал, что на большей части территории СССР на водосборах с преобладающими суглинистыми грунтами только 20—30 % годового объема грунтового стока участвует в суммарном стоке весеннего половодья. При наличии на водосборе преобладающих супесчаных почвогрунтов (лесная зона) доля участия грунтового стока в суммарном стоке

Таблица 2.1

Оценка влияния агромероприятий и леса на сток основным — по изменению стока (числитель) и косвенным — по изменению испарения с почвы (знаменатель) методами, %

Река	Замыкающий створ	Площадь водосбора, км²	Распаханность, %	Залесенность, %	Влияние агромероприятий	Влияние леса
Волга	Ельцы	9 130	10	60	0/0	6/6
„	Ржев	12 200	17	53	0/0	5/5
Вазуза	Золотилово	5 510	32	28	—1/—2	4/3
Тьма	устье	1 850	28	34	—1/—1	4/3
Медведица	„	5 570	30	30	—1/—1	4/3
Кашинка	„	661	49	31	—1/—3	4/3
Норожечка	„	1 690	38	28	—1/—1	3/2
Юхоть	„	1 700	25	65	—1/—1	7/6
Ухра	„	1 590	25	52	—1/—1	4/3
Соть	„	1 460	21	59	—1/—1	5/5
Мера	„	2 380	15	70	—1/—1	7/6
Немда	„	4 780	10	62	—1/—1	6/5
Унжа	„	28 000	11	80	—1/—1	6/6
Ока	Белев	17 500	69	8	—3/—5	1/1
„	Калуга	54 900	53	23	—1/—3	2/2
„	Муром	188 000	48	26	—1/—3	3/2
„	устье	244 000	43	26	—1/—3	3/2
Сура	Ядрин	66 000	53	38	—2/—3	1/1
Ветлуга	устье	39 400	15	70	—1/—1	5/6
Малая Кокшага	„	5 160	26	54	—1/—1	3/3
Илеть	„	6 450	30	53	—1/—1	2/2
Свияга	„	16 700	60	11	—2/—5	0/0
Казанка	„	2 600	60	10	—2/—3	0
Белая	„	142 000	31	—	—2/—2	—
Шешма	„	6 040	54	19	—3/—3	—7/—5
Берсут	„	552	41	42	—2/—2	—3/—3
Шумбут	„	458	44	27	—2/—2	—4/—4
Суша	„	313	53	30	—3/—3	—4/—5
Бетька	„	343	60	15	—3/—3	—2/—2
Ошняк	„	261	80	2	—3/—5	—1/—1
Меша	„	4 180	70	11	—3/—4	0/—1
Майна	„	1 210	60	29	—2/—4	—1/—1
Большой Черемшан	„	11 500	47	28	—2/—3	—2/—1
Самара	„	46 500	67	5	—9/—7	—2/0
Чапаевка	„	4 310	65	0	—10/—11	0/0
Безенчук	„	843	80	0	—11/—11	0/0
Чагра	„	3 440	70	2	—11/—10	—1/—1
Малый Иргиз	„	2 110	70	0	—12/—11	0/0
Терса	„	919	56	23	—6/—8	—10/—8
Большой Иргиз	„	24 400	51	0	—8/—7	0/0
Малый Караман	„	1 050	80	1	—8/—11	—1/—1
Большой Караман	„	4 260	75	1	—23/—20	—1/—1
Курдюм	„	980	50	10	—7/—6	—3/—4
Торгун	„	3 550	65	0	—7/—8	0/0
Еруслан	„	5 520	75	0	—10/—12	0/0
Ишим	г. Целиноград	7 400	36	1	—8/—9	0/0
Тобол	г. Кустанай	16 576	67	3	—19/—19	—

весеннего половодья увеличивается до 40 %. На рис. 2.6 приведен совмещенный график хода уровня грунтовых вод и стока в замыкающем створе р. Девицы у с. Нижнедевицка и лога Усадьевского (ВНИГЛ).

Таким образом, уменьшение суммарного стока весеннего половодья под влиянием агротехнических мероприятий равно алге-

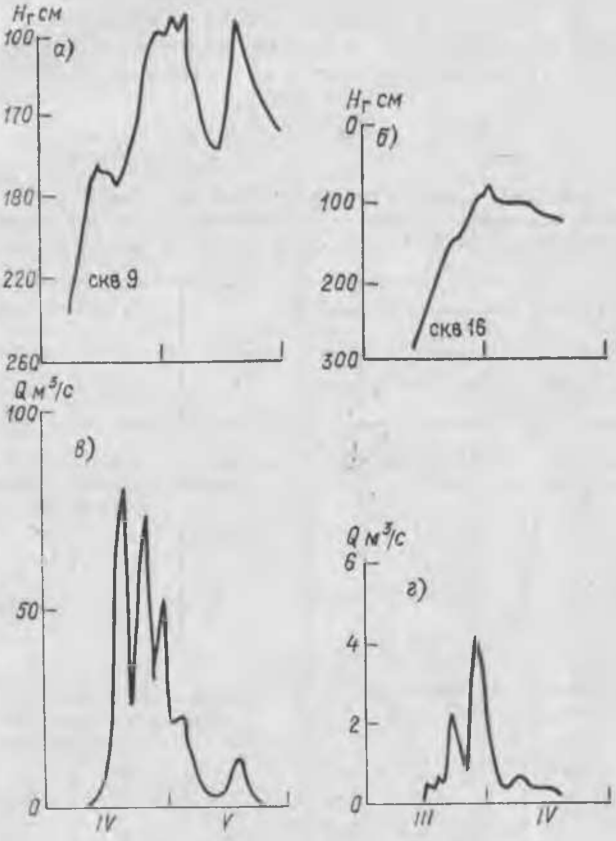


Рис. 2.6. Ход уровня грунтовых вод $H_г$ и стока Q.
а, в — лог Усадьевский, ВФ ГГИ (1958 г.); *б, г* — р. Девица — с. Нижнедевицк (1965 г.).

браической сумме снижения склонового стока и доли увеличения грунтового стока. Уменьшение суммарного стока зависит от продолжительности половодья, а следовательно, и от условий формирования стока в пределах отдельно взятой природной зоны. Влияние площади водосбора в пределах отдельных природных зон на продолжительность половодья несущественно и в дальнейшем может не учитываться при оценке влияния агромероприятий на сезонное распределение стока. Остальная доля увеличения

грунтового стока под влиянием агротехнических мероприятий участвует в стоке рек в меженный период. Таким образом, влияние агромероприятий на сток рек внутри года распределяется следующим образом: весной сток уменьшается, в остальное время увеличивается.

Распределение доли влияния агротехнических мероприятий на весенний сток внутри года приведено в табл. 2.2. и 2.3. Данные приведены в процентах годового стока для условно полностью распаханных водосборов с уклонами склонов и глубинами залегания грунтовых вод в пределах указанных градаций.

Таблица 2.2

Возможное уменьшение среднего весеннего стока под влиянием агротехнических мероприятий для рек с постоянным стоком и полной распашкой водосбора глубиной ⩾25 см и более, % годового стока

Уклон склонов, ‰	Глубина залегания грунтовых вод, см			Уклон склонов, ‰	Глубина залегания грунтовых вод, см		
	⩽ 200	500	⩾ 1000		⩽ 200	500	⩾ 1000
Лесная зона, преобладающие супесчаные почвогрунты				**Степная зона европейской части СССР, преобладающие суглинистые почвогрунты**			
> 50	4/5	4/5	5/6	> 50	15/17	21/23	31/35
< 50	4/5	5/6	6/7	< 50	16/18	23/26	31/35
Преобладающие суглинистые почвогрунты				**Степная зона Северного Казахстана, преобладающие супесчаные почвогрунты**			
> 50	2/3	4/5	8/10	> 50	8/9	10/15	10/17
< 50	3/3	5/6	10/12	< 50	9/10	12/17	15/20
Лесостепная зона, преобладающие суглинистые почвогрунты				**Преобладающие суглинистые почвогрунты**			
> 50	6/7	10/11	10/12	> 50	21/22	22/27	31/35
< 50	9/11	12/15	13/16	< 50	23/26	25/29	33/37

Примечание. В числителе приведены данные для водосборов со стоком, близким к среднему в пределах природной зоны, в знаменателе — для водосборов со стоком ниже среднего.

Таблица 2.3

Возможное увеличение среднего меженного стока под влиянием агротехнических мероприятий для рек с постоянным стоком и полной распашкой водосбора глубиной 25 см и более, % годового стока

Уклон склонов, ‰	Глубина залегания грунтовых вод, см			Уклон склонов, ‰	Глубина залегания грунтовых вод, см		
	⩽ 200	500	⩾ 1000		⩽ 200	500	⩾ 1000
Лесная зона							
Преобладающие супесчаные почвогрунты				Степная зона европейской части СССР (преобладающие суглинистые почвогрунты)			
> 50	4/5	4/5	5/6	> 50	7/7	8/8	7/7
< 50	4/5	5/6	6/7	< 50	6/6	8/8	7/7
Преобладающие суглинистые почвогрунты				Степная зона Северного Казахстана, преобладающие супесчаные почвогрунты			
> 50	1/1	2/2	1/1	> 50	5/5	6/8	6/9
< 50	1/1	2/2	3/4	< 50	5/4	6/7	8/8
Лесостепная зона, преобладающие супесчаные почвогрунты				Преобладающие суглинистые почвогрунты			
> 50	4/5	7/7	6/7	> 50	5/4	4/5	6/6
< 50	2/2	3/3	3/3	< 50	4/4	4/4	5/5

Примечание. В числителе приведены данные для водосборов со стоком, близким к среднему в пределах природной зоны, в знаменателе — для водосборов со стоком ниже среднего.

Влияние агромероприятий на сезонный сток оценено с учетом современных требований к неорошаемому земледелию (распашка глубиной 25—27 см, с учетом противоэрозионных мероприятий и внесения органических и минеральных удобрений в соответствии с существующими нормами). Методика учета влияния агромероприятий на весенний, летне-осенний и зимний сток в практических расчетах изложена в п. 3.2.3.

Вопрос о влиянии леса на сезонный сток не менее важен. Например, от оценки влияния леса на весеннее половодье зависит надежность решения задач по водохозяйственному проектированию и разработке прогнозов половодья и т. п. По данному

вопросу также не существует определенного мнения. В. И. Рутковский [114] на основе полевых экспериментальных исследований в условиях центральной лесостепи европейской части СССР (тяжелые суглинки) и в южной части лесной зоны (покровные суглинки в Московской обл.) пришел к выводу, что лес уменьшает объем весеннего половодья. Аналогичный вывод делают Т. М. Чихмакова и А. И. Субботин [122] по материалам исследований в бассейне Верхней Волги. А. В. Лебедев, А. П. Бочков и др. [12] пришли к противоположному выводу: с увеличением залесенности увеличивается сток весеннего половодья. При этом утверждается, что влияние леса на объем половодья проявляется через осадки и испарение так же, как и на годовой сток. С. Ф. Ефимова на основе анализа внутригодового распределения стока сравниваемых бассейнов с различной залесенностью делает вывод, что в 60 % случаев слой весеннего стока залесенных рек превышал значение стока рек безлесных. Такого же вывода придерживался П. Ф. Идзон на основе результатов своих исследований [49].

Таким образом, разноречивость мнений о влиянии леса на объем весеннего половодья, основанных либо на применении несовершенных методик, либо на использовании недостаточного экспериментального материала, потребовала уточнений существующих оценок влияния леса на слой весеннего стока. Такая необходимость возникла и в связи с уточнением технических указаний (нормативов) по расчету максимального весеннего стока при строительном проектировании.

Методика оценки влияния леса как географического ландшафта разработана на основе закона географической зональности, который по мере развития науки получает все более глубокое раскрытие. В качестве технического приема выражения зональности гидрологических явлений широкое распространение получили различного рода карты изолиний, в том числе и карты изолиний слоя весеннего стока, отражающие непрерывность и относительную плавность его изменений по территории.

В связи с накоплением в различных природных зонах данных по режиму малых и средних рек, на водосборах которых велико влияние местных азональных факторов, появилась возможность получить много новых сведений о существенных местных отклонениях слоя весеннего стока от общего зонального распределения его по территории. К числу местных (азональных) факторов относится и залесенность водосборов, если она существенно отличается от средней (зональной) залесенности, характерной для водосборов, сток с которых был учтен при построении карты изолиний слоя весеннего стока.

На малых, а нередко и на средних водосборах отклонения от средних зональных условий залесенности могут быть довольно резкими (например, отсутствие леса или, наоборот, полная залесенность водосбора при средней залесенности в районе исследований 50 %), и, следовательно, характеристики стока весеннего

половодья на этих водосборах будут существенно отличаться от зональных.

Сопоставление измеренных слоев весеннего стока на водосборах с азональным значением залесенности со слоем стока, определенным по карте изолиний, позволяет вычислить поправочный коэффициент к карте в зависимости от залесенности бассейна:

$$K_л = \bar{h}/\bar{h}_0 = f(f_л/f_{л.\,зон}), \qquad (2.22)$$

где $\bar{h}$, $\bar{h}_0$ — средний слой весеннего стока реки, определенный соответственно по данным измерений и по карте изолиний, мм; $f_л$ — залесенность водосбора, %; $f_{л.\,зон}$ — то же, но в пределах

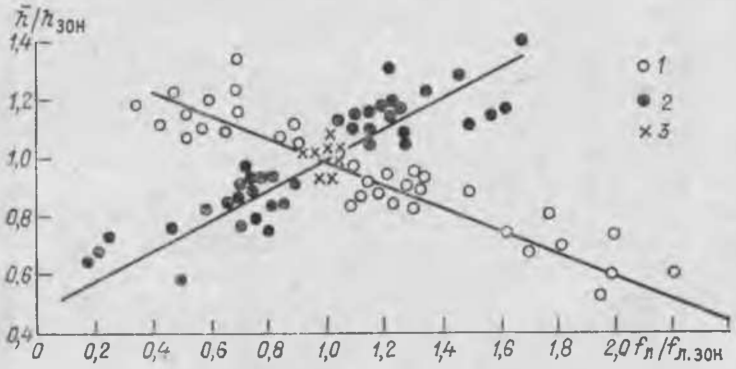


Рис. 2.7. Зависимость $\bar{h}/h_0 = f(f_л/f_{л.\,зон})$ для Нечерноземной зоны РСФСР.

1 — реки I группы, *2* — реки II группы, *3* — реки I и II групп (уровень грунтовых вод $H = 5$ м).

региона, данные по стоку с которого были учтены при построении карты изолиний, %.

График зависимости (2.22) изображен на рис. 2.7 для района Нечерноземной зоны РСФСР, а районирование территории по условиям средней залесенности водосборов — на рис. 2.8. Зависимость показывает неоднозначное влияние леса на слой стока половодья на реках Нечерноземной зоны РСФСР. Недостаточная гидрологическая изученность не позволяет произвести ее районирование по характеру влияния леса на слой весеннего половодья. Однако применительно к данной задаче исследований оказалось возможным разделение рек на две группы с характерными для каждой группы физико-географическими характеристиками их водосборов.

Реки первой группы (уменьшение объема весеннего стока за половодье под влиянием леса) характеризуются:

— наличием на водосборе преимущественно хвойных пород в лесном сообществе;

— чередованием открытых богарных участков водосбора, сложенных суглинистыми почвогрунтами, с участками под лесом, сложенными легкосуглинистыми или супесчаными (песчаными) почвогрунтами;

— относительно глубоким (>5 м) залеганием грунтовых вод под лесом (бассейны Верхней Волги и Камы);

— относительно неглубоким залеганием грунтовых вод (≤5 м), чередованием на водосборе лесных суходольных участ-



Рис. 2.8. Средняя залесенность водосборов (%) Нечерноземной зоны РСФСР.

1) до 30; *2*) 31—50; *3*) 51—70; *4*) 71—100.

ков с болотами (Северный край) и с озерами (Карельский перешеек). На таких реках обычно продолжительность половодья 50—60 сут.

Реки второй группы (увеличение объема стока весеннего половодья под влиянием леса) характеризуются:

— наличием преимущественно смешанных лесов;

— преобладанием легкосуглинистых, супесчаных и песчаных почвогрунтов под лесом и полем;

— неглубоким (в среднем 1—3 м) залеганием грунтовых вод под лесом, способствующим быстрому дренированию талых вод грунтовым путем в русло рек за период половодья (реки Северо-

Запада, Карелии, Кольского полуострова; некоторые реки бассейна Верхней Волги: Москва, Клязьма, Угра, Пра; некоторые реки бассейна Камы; реки Западной и Восточной Сибири). На таких реках обычно продолжительность половодья 30—40 сут.

При неглубоком залегании грунтовых вод на водосборе и при всех прочих равных условиях объем весеннего стока увеличивается с увеличением залесенности. Причина в том, что за период весеннего половодья значительная доля грунтовых вод под лесом, пополнившихся атмосферными осадками, успевает принять участие в русловом стоке рек, и, наоборот, при глубоком залегании грунтовых вод значительная доля пополнившихся атмосферными осадками грунтовых вод попадает в русловую сеть уже на шлейфе весеннего половодья и в меженный период.

Значения поправочных коэффициентов к слою стока половодья, позволяющих вычислить объем весеннего половодья на гидрологически неизученных реках с учетом влияния леса на сток, приведены в табл. 4.5. Там же дана схема учета влияния леса и лесохозяйственных мероприятий на сезонный сток рек.

Вышеизложенный анализ зависимости слоя весеннего половодья от залесенности водосбора позволяет сделать вывод, что влияние леса на весеннее половодье неоднозначно. Гидрологическая роль леса обусловлена взаимодействием комплекса факторов: степени залесенности речного бассейна, видового состава лесного сообщества, механического состава почвогрунтов, глубины залегания грунтовых вод (степени руслового вреза в водоносный горизонт) и др. Только на этой основе можно объяснить физическую сущность зависимости (2.22).

В целом кратко изложенная методика оценки влияния агролесомелиораций на годовой и сезонный сток весьма проста в практическом применении. Вспомогательные таблицы (см. прил. 1—15), разработанные на основе зависимости изменений склонового стока, питания грунтовых вод атмосферными осадками и испарения с почвы от обусловливающих их факторов, значительно упрощают расчеты и позволяют для любого водосбора реки (лога) или склона рассчитать изменения стока в годы различной водности по данным о почвогрунтах, уклонах склонов и глубинах залегания грунтовых вод.

2.3. Орошение сельскохозяйственных угодий

В зависимости от наличия исходных материалов, физико-географических условий и характера развития орошаемого земледелия в бассейне используются различные методики оценки влияния орошения на сток. Однако в качестве основного принимается метод расчета изменений составляющих водного баланса на орошаемых и прилегающих к ним площадях.

При наличии экспериментальных наблюдений за всеми элементами водного баланса на орошаемых массивах, расположен-

ных в различных частях водосбора, применяется детальная схема оценки влияния орошения на сток, основанная на сопоставлении уравнений водного баланса участка водосбора до и после начала орошения. Эта схема позволяет рассчитывать полное и безвозвратное водопотребление на орошение, возвратные воды, изменение запасов воды в зоне аэрации, величину снижения непродуктивного испарения и другие характеристики, имеющие важнейшее значение не только для оценки изменений стока в замыкающем створе и водного баланса бассейна, но и для эффективного использования оросительных систем и планирования рационального использования водных ресурсов в перспективе.

Оценка изменения стока в каждом конкретном случае должна выполняться в соответствии с характером водообеспечения и водоотведения оросительных систем и типом регулирования водного режима почвы. Обычно рассматривают три способа регулирования водного режима почвы:

1) регулярное орошение, когда с помощью вегетационных поливов поддерживают оптимальные влагозапасы в активном слое почвы на протяжении всего периода вегетации сельскохозяйственных растений;

2) влагозарядковое (в том числе лиманное) орошение с глубоким разовым промачиванием почвогрунтов;

3) орошение по чекам, поддерживающее влагонасыщение, соответствующее полной влагоемкости (ПВ) в толще почвогрунтов.

Изменение стока за год и за вегетационный период в бассейне с развитым орошением определяется соотношением

$$\Delta Y = Q_{бр} - Y_в \pm \Delta E' f_{ор} \cdot 10^{-5}, \qquad (2.23)$$

где ΔY в млн м^3; $Q_{бр}$ — суммарный водозабор (брутто) из источников орошения (река, пруд), объем которого определяется недостатками водопотребления сельскохозяйственных культур, способом полива и техническими параметрами оросительных систем, млн м^3; $Y_в$ — сток возвратных вод от орошения, достигающий замыкающего створа на реке, млн м^3, $\Delta E'$ — изменение испарения в бассейне под влиянием замены дикорастущей растительности сельскохозяйственными культурами, мм; $f_{ор}$ — площадь орошаемых земель, га.

Сток реки, служащей источником водообеспечения в другом бассейне, уменьшается на объем водозабора (млн м^3)

$$\Delta Y = Q_{бр}. \qquad (2.24)$$

При использовании вод других бассейнов или вод бессточных озер в данном бассейне, а также артезианских вод сток реки повышается на объем возвратного стока (млн м^3)

$$\Delta Y = Y_в. \qquad (2.25)$$

В случае смешанного водообеспечения, когда для орошения в рассматриваемом бассейне используется местный и переброшен-

ный из соседнего бассейна сток, оценка изменения стока выполняется по формуле (2.23), в которой водозабор $Q_{бр}$ включает в себя только местные воды, а $Y_в$ представляет собой сумму возвратных вод от водозабора собственно из реки (озера, водоема) и переброшенных вод из водоемов за пределами речного бассейна.

При отсутствии экспериментальных данных в бассейнах с орошаемым земледелием, но при наличии данных наблюдений за осадками и стоком воды изменение в стоке рек можно оценить способами, отмеченными в гл. 1 и 3, на основании корреляционного анализа многолетних данных по стоку в замыкающих створах совместно со стокообразующими факторами, метеорологическими условиями и с динамикой развития орошаемого земледелия в бассейне. Указанные приемы использованы для оценки влияния орошения на сток горных рек Кавказа, Средней Азии, Южного Казахстана, а примеры их применения приведены в работах [72, 74, 123, 137].

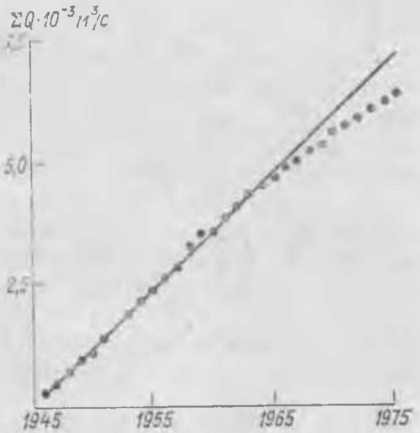


Рис. 2.9. Изменение во времени суммарных значений стока р. Западной Двины у г. Витебска.

Однако полагая, что оценка влияния орошаемого земледелия на сток рек требует особо высокой точности, так как изменение водного баланса на водосборе малой реки обязательно связано с изменением солевого баланса почв под сельскохозяйственными угодьями, решение данной задачи в таком комплексе требует несколько подробнее остановиться на применении других (косвенных) методов оценки влияния орошаемого земледелия на годовой сток.

Начало и степень изменения естественного стока в первом приближении могут быть установлены с помощью связи

$$\sum_1^n Y = f(T), \qquad (2.26)$$

где T — годы, $\sum_1^n Y$ — последовательные суммы годовых значений стока.

По точке перелома на интегральной кривой определяется момент начала изменения стока. Среднее значение за период изменения стока определяется делением разности ординат интегральной кривой и прямой, полученной путем экстраполяции последовательных сумм за естественный период, на число лет в периоде (рис. 2.9).

Наряду с этим графиком могут быть использованы связи интегральных значений стока с расчетного водосбора со значениями ненарушенного стока рек-аналогов (рис. 2.10), сумм атмосфер-

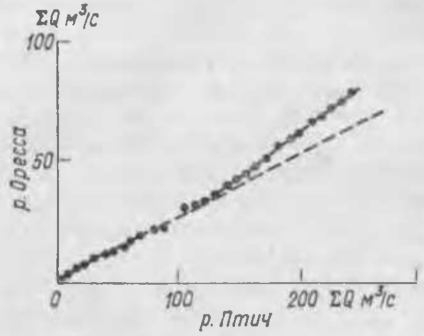


Рис. 2.10. Связь между нарастающими годовыми суммами расходов воды двух рек.

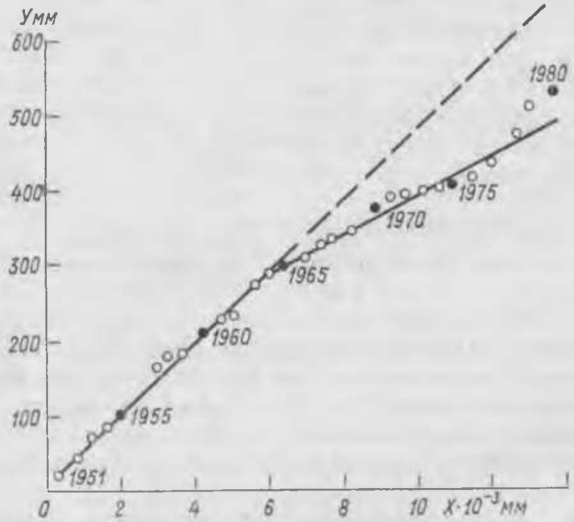


Рис. 2.11. Связь последовательных сумм годового стока и осадков для р. Базавлук у с. Натальевки.

ных осадков (рис. 2.11) и других гидрометеорологических элементов (двойные интегральные характеристики), т. е.:

$$\sum_1^n Y = f\left(\sum_1^n Y_a\right), \tag{2.27}$$

$$\sum_1^n Y = f\left(\sum_1^n X\right), \tag{2.28}$$

$$\sum_1^n Y_a = f\left(\sum_1^n X\right), \tag{2.29}$$

где $Y_а$ — годовой сток реки-аналога; X — атмосферные осадки в бассейне реки [41].

Для более точного установления начала и степени изменения стока может быть использован временной анализ коэффициента стока $\alpha' = Y_{быт}/X$ или коэффициента индикации изменения стока $\alpha_и$ представляющего собой отношение стока с расчетного водосбора к стоку рек-аналогов (индикаторов) для равнинных районов или к сумме притока из зоны формирования стока, в которой он является естественным, для горных районов [81]:

$$\alpha_и = Y_{быт}/Y_{ан.\ ест.}$$

При оценке изменения стока методами множественной линейной корреляции (уравнения регрессии) используют информацию о гидрометеорологических факторах на водосборах или данные рек-аналогов. Способ оценки заключается в восстановлении естественного стока по уравнениям регрессии, полученным за период ненарушенного режима, и сравнении его с наблюденным.

В целях получения более обоснованных выводов по оценке рекомендуется вывод нескольких уравнений регрессии за периоды с ненарушенным стоком, что позволяет контролировать случайные ошибки его восстановления [103, 137].

Для решения уравнения отрицательного смещения дисперсии восстановленного ряда и оценки изменения стока используют функции [137]:

$$\Delta y' = \overline{Y} + (Y_{расч} - \overline{Y})/R - Y_{набл}, \qquad (2.30)$$

$$\Delta y' = f(\overline{Y} - Y_{набл}), \qquad (2.31)$$

где $\Delta y'$ — изменение стока, исправленное при сглаживании восстановленного ряда по выражению (2.30); $\overline{Y}$ — среднее значение стока за период, для которого получено уравнение регрессии с коэффициентами множественной корреляции R; $Y_{расч}$ — вычисленное по уравнению регрессии значение стока за каждый год; $Y_{набл}$ — наблюденный сток.

Зависимость (2.31) для периодов ненарушенного стока может быть представлена графически. Значения $\Delta y'$, полученные за период интенсивной хозяйственной деятельности, отклоняются от линии связи, и это отклонение ($\Delta y_{хоз}$) количественно характеризует изменение стока под влиянием орошения при преобладании этого вида хозяйственной деятельности.

В случае монотонно-ступенчатого роста безвозвратных потерь на орошение в бассейне реки для восстановления естественного стока рекомендуется метод линейного тренда (при нелинейности используются экспоненциальные, логарифмические и другие виды тренда) [73]. Уравнение линейного тренда стока имеет вид

$$Y_t = \overline{Y} + a(t - \overline{t}), \qquad (2.32)$$

где Y_t — расчетный годовой сток в момент времени t; $\overline{Y}$ — средний сток за период наблюдений; a — угловой коэффициент,

отражающий наклон линии тренда; $\bar{t}$ — порядковый номер среднего члена ряда (для первого члена ряда $t = 1$).

Коэффициент a определяется по формуле

$$a = \left[\sum_{1}^{n}(t-\bar{t})(Y-\bar{Y})\right] \Big/ \left[\sum_{1}^{n}(t-\bar{t})^2\right], \qquad (2.33)$$

где n — общее число членов ряда.

Естественный восстановленный сток $Y_{ест}$ рассчитывается по уравнению

$$Y_{ест} = Y_р + (Y_{фt} - Y_{рt}) + \Delta Y_{ест}, \qquad (2.34)$$

где $Y_р$ — начальное значение стока, рассчитанное по уравнению (2.32) при $t = 1$; $Y_{фt}$ и $Y_{рt}$ — фактический (бытовой) и рассчитанный сток в момент времени t; $\Delta Y_{ест}$ — разница между значением $Y_р$ и естественными водными ресурсами.

Значение $Y_р$ устанавливается расчетом безвозвратных потерь на орошение на существующих площадях по данным об измеренных оросительных нормах.

Изменение годового стока может быть оценено методом руслового водного баланса для участка реки в пределах орошаемого массива:

$$Y_н = Y_в + Y_{в.\,п} - Y_{н.\,п} + Y_{б.\,пр} - Q_{бр} + Y_{п.\,г} - Y_{о.\,г} + \\ + Y_{кол} + X - E_в - E + \Delta W + \Delta q, \qquad (2.35)$$

где $Y_в$ и $Y_н$ — русловой сток в верхнем и нижнем створах; $Y_{в.\,п}$, $Y_{н.\,п}$ — подрусловой сток в верхнем и нижнем створах; $Y_{б.\,пр}$ — боковая приточность на участке; $Q_{бр}$ — водозабор на орошение; $Y_{п.\,г}$ и $Y_{о.\,г}$ — приток и отток грунтовых вод в сторону орошаемого контура; $Y_{кол}$ — коллекторно-дренажный и сбросной сток с орошаемого контура в русло; $E_в$ и E — испарение с водной поверхности и суммарное испарение с прилегающих участков поймы; ΔW — аккумуляция воды в микропонижениях на пойме; Δq — водообмен грунтовых вод с глубокими водоносными слоями.

Водозаборы оцениваются по данным непосредственных наблюдений или расчетным путем с использованием сведений о количестве, режиме работы и производительности насосных станций и дождевальных установок, об удельных затратах электроэнергии и т. д.

При недостаточности данных для определения гидрогеологических параметров притока ($Y_{п.\,г}$, $Y_{в.\,п}$) и оттока ($Y_{о.\,г}$, $Y_{п.\,п}$) грунтовых вод, а также возвратных вод выполняется оценка суммарного притока (оттока) по графику связи $Y_н = f(Y_0)$, где

$$Y_0 = Y_в + Y_{б.\,пр} - Q_{бр} + Y_{кол} + X - E_в - E + \Delta W. \qquad (2.36)$$

Зависимость $Y_н = f(Y_0)$ представляется в виде

$$Y_н = Y_0 \pm a, \qquad (2.37)$$

где a — отрезок, отсекаемый линией связи на оси ординат.

Параметр a определяется индивидуально для каждого участка русла. При преобладании притока грунтовых вод к руслу на участке параметр a имеет положительный знак, при преобладании оттока — отрицательный.

Основой для систематических расчетов руслового водного баланса являются Методические указания УГКС № 90. Исходными являются данные гидрометрических измерений в существующих гидростворах и результаты комплексных воднобалансовых исследований в долине, пойме и русле реки. На малых реках, ввиду недостаточности гидрометрических данных, рекомендуется организация экспедиционных исследований для проведения гидрометрических работ. Методика проведения исследований и обработка материалов приводятся в работе Г. Н. Петрова [97].

2.4. Осушительные мелиорации

Осушение болот и заболоченных земель приводит к изменению среднегодового стока в расчетных створах малых рек. При наличии информации о стоке и стокоформирующих факторах и близких значениях водности периодов до и после осушения оценки изменения стока под влиянием осушительных мелиораций могут быть получены путем сопоставления данных, вычисленных по связям стока со стокоформирующими факторами на реке с преобразованным стоком, с данными рек-аналогов за периоды до и после осушительных мелиораций [37, 48, 59, 65, 66, 89], а также на основе исследований однородности гидрологических рядов [41].

В качестве примера можно привести результаты исследований С. М. Перехреста и В. С. Перехреста [77, 96] по рекам Остёр, Ирпень, Супой, Уборть. В бассейнах этих рек почти все болота осушены и освоены при двухстороннем регулировании стока и имеются режимные гидрометрические наблюдения за длительный период — до осушения и после освоения осушенных земель. Для каждой из названных рек подобраны водосборы-аналоги, имеющие весьма близкие природные условия. На их территории осушительные работы почти не проводились. Для всех отобранных водосборов построены графики связи интегральных значений среднегодовых модулей стока с осушенного и неосушенного водосбора и определено уменьшение или увеличение стока с осушенных водосборов в процентах естественного стока, наблюдавшегося до осушения. Результаты приведены в табл. 2.4. Близкие результаты получены и другими авторами [65, 67, 101].

Изменение стока указанных рек определено путем сравнения двух периодов, до и после осушения болот, на водосборе одной реки при одинаковых или приведенных к одинаковым осадкам (табл. 2.5). При сравнении стока двух периодов его уменьшение составило несколько больший процент, чем при сравнении со стоком водосбора-аналога. Это объясняется тем, что во второй период на водосборах проводились и другие хозяйственные

Таблица 2.4

Изменение годового стока под влиянием осушения и освоения болот при двухстороннем регулировании водного режима почв

Осушенный водосбор			Неосушенный водосбор-аналог		Период наблюдений	Состояние болота или вид осушительных работ на нем	Изменение стока, %
река—пункт	площадь водосбора, км²	площадь осушения, км²	река—пункт	площадь водосбора, км²			
Остер—Кривицкий	2750	—	Сула—Ромпы	4020	1927-31	До осушения	0
„	2750	210	„	4020	1932-35	Строительство	41
„	2750	210	„	4020	1937-40	Освоение	—39
„	2750	313	„	4020	1953-60	„	—56
Супой—Песчаное	1900	—	„	4020	1928-35	Строительство	0
„	1900	202	„	4020	1936-40	Освоение	—26
„	1900	202	„	4020	1959-66	То же после реконструкции	—17
Недра—Березань	789	51	Перевод—Сасиновка	745	1945-50	До осушения	0
„	789	51	„	745	1962-66	Освоение	—36
Ирпень—Мостище	2840	—	Тетерев—Житомир	5270	1923-40	До осушения	0
„	2840	69	„	5270	1947-48	Строительство	20
„	2840	69	„	5270	1958-68	Освоение	—32

Таблица 2.5

Изменение годового стока после осушения по сравнению со стоком до осушения

Река—пункт	Площадь водосбора, км²	Площадь осушения, км²	Период наблюдений	Состояние болота или вид хозяйственной деятельности на нем	Среднегодовой слой, мм		Изменение стока, приведенное к равным осадкам, %
					осадков	стока	
Супой—Песчаное	1900	—	1928-35	Строительство	573	76	0
„	1900	202	1936-40	Освоение	526	42	—37
„	1900	202	1959-66	Реконструкция, освоение	485	29	—47
Ирпень—Мостище	2840	—	1926-40	До осушения	542	93	0
„	2840	69	1947-48	Строительство	520	122	34
„	2840	69	1958-68	Освоение	564	62	—37
Остер—Кривицкий	2750	—	1927-31	До освоения	534	93	0
„	2750	210	1932-35	Строительство	607	169	67
„	2750	210	1937-40	Освоение	490	45	—43
„	2750	313	1953-60	„	550	37	—63

мероприятия (агротехнические, строительство прудов и пр.), способствовавшие уменьшению стока в больших масштабах, чем в первый период.

Недостаточность комплексных воднобалансовых исследований на болотах и заболоченных землях, а также на осушенных территориях в различных природных зонах СССР привела к необходимости оценивать влияние осушительных мелиораций на сток малых рек в региональном аспекте, т. е. раздельно для территории Белоруссии, Припятского Полесья Украины, северо-запада европейской части СССР, Западной Сибири.

Исследователи в области осушительных мелиораций в Белоруссии определили изменение характеристик стока в зависимости от масштаба мелиорации, механического и гранулометрического состава осушаемых почвогрунтов, определяющих тип водного питания переувлажненных земель [81, 136]. Обобщенные данные о характере изменения стока в зависимости от доли песчано-супесчаных почвогрунтов и торфяников на мелиорированных землях на водосборе приведены в табл. 2.6 и 2.7. Группа, к которой

Таблица 2.6

Характер изменения стока по группам водосборов в зависимости от доли мелиорированных легких почвогрунтов в пределах болот

Группа водосборов	Тенденция	Доля песчано-супесчаных почвогрунтов и торфяников, %	
		в почвах	в подстилающих породах
I	$>$	$\geqslant 75$	$\geqslant 75$
II	0	$\geqslant 50$	$\leqslant 50$
III	$<$	$\leqslant 25$	$\leqslant 25$

Таблица 2.7

Среднее изменение стока после осушения с водосборов групп I и III площадями от 100 до 500 км², л/(с·км²)

Характеристика стока	Группа (подгруппа)			
	I *а*	I *б*	III *а*	III *б*
Годовой	7,5	8,5	—6,7	—12
Весенний	—	9,0	—27	—
Летне-осенний	10,5	9,0	—	—17
Зимний	9,0	7,5	—	—15

Примечание. В подгруппе I*а* — весенний сток не меняется, в подгруппе I*б* — увеличивается за счет регулирования русла на протяжении более 2/3 длины реки.

относится мелиорированный водосбор, определяется по данным изысканий или с помощью почвенной карты.

В пределах Припятского Полесья Украины при разработке схемы расчета влияния осушительных мелиораций выделены районы Волынского и Житомирского Полесья. Оценка влияния осушительных мелиораций основывалась на анализе зависимости годового и сезонного стока от площади осушенных земель, т. е.

$$q_{\text{г, с}} = f(f_{\text{ос}}). \tag{2.38}$$

В результате получены коэффициенты изменения стока и уравнение для их вычисления

$$K_{\text{изм}} = Kf_{\text{ос}} + C. \tag{2.39}$$

При этом начальная площадь мелиорированности водосборов $f_{\text{ос}}$, с которой начинает сказываться влияние осушения на сток, принята для Волынского Полесья равной 7 %, для Житомирского Полесья — 5 %.

В пределах северо-запада европейской части СССР оценка изменения годового и сезонного стока в результате осушения и освоения верховых болот под торфодобычу, а низинных под многолетние травы произведена методом, основанным на анализе изменений суммарного испарения с мелиорированных площадей в теплый период года. Эта методика позволяет рассчитать изменение среднего многолетнего испарения под влиянием осушения болот в зоне избыточного увлажнения за отдельные месяцы теплого периода года. Изменение испарения $\Delta\overline{E}_{\text{ос}}$ количественно выражает изменение стока реки под влиянием осушительных мелиораций на заболоченной части водосбора:

$$\Delta\overline{Y}_{\text{ос}} = \Delta\overline{E}_{\text{ос}} = (\overline{E}_{\text{е}} - \overline{E}_{\text{ос}})\, f_{\text{ос}}, \tag{2.40}$$

где $\overline{E}_{\text{е}}$, $\overline{E}_{\text{ос}}$ — соответственно испарение с неосушенных (естественных) и осушенных болот, мм; $f_{\text{ос}}$ — площадь осушения в долях общей площади болот на водосборе.

Используя указанные методы сравнения, выяснили, что влияние осушительных мелиораций на годовой сток малых рек неоднозначно. Все зависит от сочетания различных факторов, обусловливающих формирование годового стока.

2.5. Урбанизированная территория

Урбанизированной территорией (УТ) принято считать часть водосбора, занятую:

— старыми городами со сложившимися городскими, промышленными или промышленно-городскими комплексами;

— новыми городами, городские, промышленные или промышленно-городские комплексы которых находятся в развитии;

— селами, поселками, деревнями,

— разрабатываемыми месторождениями полезных ископаемых (карьеры, шахты и т. п.);

— железными, асфальтовыми, грунтовыми дорогами.

Изменение речного стока под влиянием УТ происходит в результате замены естественных природных ландшафтов зданиями,

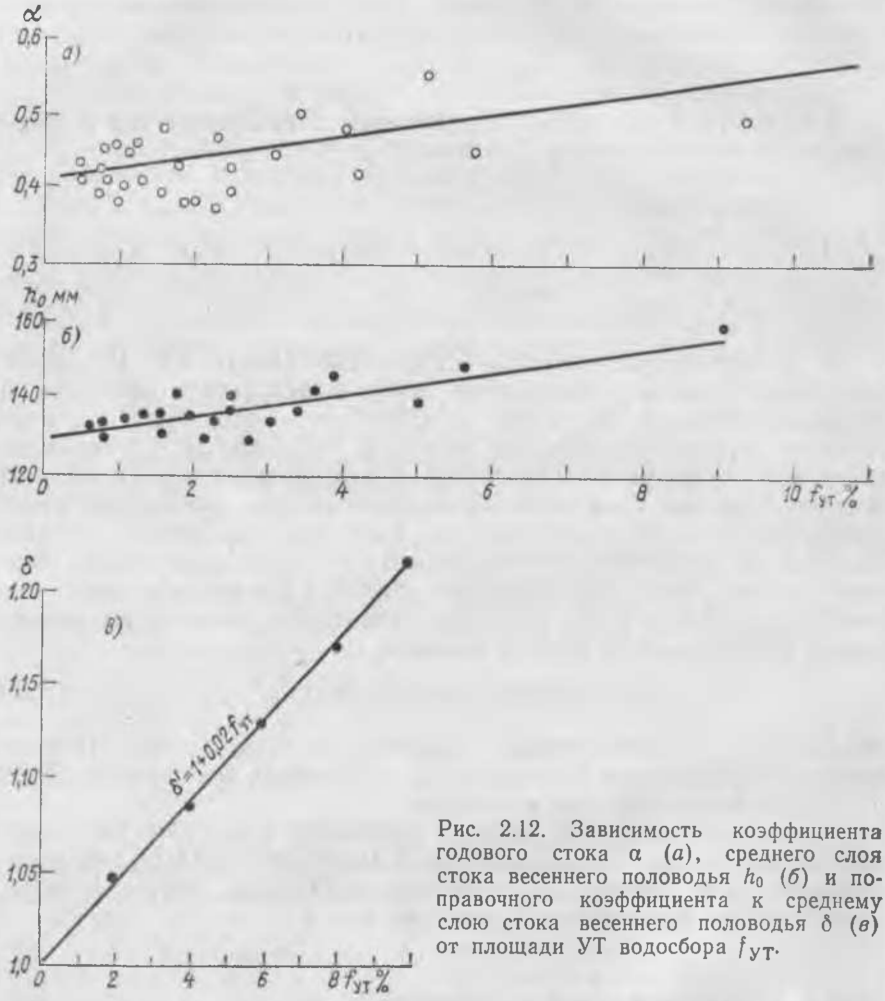


Рис. 2.12. Зависимость коэффициента годового стока α (*а*), среднего слоя стока весеннего половодья h_0 (*б*) и поправочного коэффициента к среднему слою стока весеннего половодья δ (*в*) от площади УТ водосбора $f_{ут}$.

промышленными и хозяйственными строениями, транспортными магистралями, асфальтовыми и другими покрытиями, дренажной и канализационной сетью, зонами отдыха, которые препятствуют или способствуют выпадению атмосферных осадков, инфильтрации, испарению, высокому и быстрому стоку дождевых и талых вод.

Оценка влияния УТ на годовой и сезонный сток при наличии гидрологических наблюдений может быть сделана путем сравне-

ния годового стока реки с УТ с годовым стоком реки-аналога без УТ или со слабоурбанизированного водосбора. В этом направлении применим и метод построения интегральных кривых связи стока со стоком рек-аналогов и двойных интегральных кривых $\sum_{i=1}^{n} y = \sum_{i=1}^{n} X$, где X — атмосферные осадки за год или сезон, n — число лет наблюдений.

Лучшим способом оценки влияния урбанизации на годовой и сезонный сток является связь годовых (сезонных) коэффициентов стока α с площадью $f_{УТ}$:

$$\alpha = f(f_{УТ}). \tag{2.41}$$

В качестве примера указанная зависимость построена по материалам наблюдений на малых реках Ленинградской области и показана на рис. 2.12. Зависимость (2.41) свидетельствует об увеличении годового и сезонного (весеннего) стока с увеличением площади УТ и позволяет найти поправочные коэффициенты, учитывающие влияние УТ в гидрологических расчетах для восстановления естественного стока изученных и неизученных малых рек.

Влияние УТ на годовой и сезонный сток может быть оценено на основе парной и множественной линейной корреляции. Порядок получения средних значений переменных, коэффициентов корреляции, средних квадратических отклонений, коэффициентов регрессии и определителей дан в работах [81, 92].

2.6. Пруды и водохранилища

Пруды и водохранилища на малых реках обычно сооружаются для задержания и использования (перераспределения) стока воды внутри года. На юге и юго-востоке европейской части СССР, в Казахстане вода в прудах и водохранилищах используется главным образом для водоснабжения, обводнения, рыборазведения и частично для орошения сельскохозяйственных полей, садов и огородов; в зоне достаточного и избыточного увлажнения они используются как водоприемники осушительных систем, для водоснабжения и рыборазведения.

Прудовое хозяйство нашло широкое развитие преимущественно в районах недостаточного увлажнения, где малые реки имеют, как правило, значительную неравномерность внутригодового распределения стока и нередко пересыхают в меженный период. Чтобы сохранить воду для хозяйственного использования, на реках сооружают плотины, запруды, аккумулирующие часть весеннего стока. Аккумулированная весной вода ежегодно расходуется на хозяйственные нужды в остальную часть года. Таким образом, ежегодно часть весеннего стока изымается из общего объема и эти изъятия соответствуют общему объему искусственных водоемов в бассейне выше замыкающего створа.

Влияние прудов и водохранилищ на сток рек проявляется поразному. Годовой и весенний сток имеет тенденцию к понижению, что связано с заполнением емкостей, дополнительным испарением и хозяйственным использованием. Пруды и водохранилища, строящиеся на пересыхающих или с очень низким стоком реках, в летний период повышают сток.

Изменение годового (сезонного) стока под влиянием прудов и водохранилищ может быть определено двумя методами: 1) по объему заполнения водоемов и 2) по дополнительному испарению с водной поверхности водоемов по сравнению с испарением с суши до их создания.

Указанные методы не равнозначны по безвозвратным потерям: в первом они включают в себя кроме потерь на испарение потери на расходование воды на различные хозяйственные нужды (орошение, водоснабжение и пр.), во втором — это только потерями на дополнительное испарение с водной поверхности.

Влияние прудов и водохранилищ на речной сток (годовой, сезонный) может быть оценено по абсолютным значениям $\Delta Y = Y_б - W_д$ или с помощью коэффициентов изменения стока (в долях единицы) по формулам:

$$\delta = 1 - W_д/Y_е, \tag{2.42}$$

$$\delta = 1 - W_д/(Y_б - W_д), \tag{2.43}$$

где δ — коэффициент изменения (снижения) речного стока (годового, сезонного), доли единицы; $Y_е$ — естественный речной сток (годовой, сезонный), млн м^3; $Y_б$ — бытовой сток, измененный под влиянием хозяйственной деятельности, млн м^3; $W_д$ — суммарный объем заполнения прудов и водохранилищ или дополнительные безвозвратные потери на испарение с водной поверхности водоемов и за счет отъемов воды на хозяйственные нужды (орошение, водоснабжение и др.), млн м^3.

Для территории, где сток рек мало изменен под влиянием прудов и водохранилищ, применяется формула (2.42).

Объем заполнения прудов и водохранилищ — это то количество воды, которое заключено между низшим и высшим в данном году (или за период) уровнем воды. Он характеризует объем воды, ежегодно безвозвратно изымаемый из речного стока. В большинстве случаев объем заполнения прудов и водохранилищ может быть определен лишь приближенно, поскольку режимные наблюдения за уровнем практически отсутствуют. В первом приближении коэффициент сработки (доля ежегодно срабатываемого объема в полном объеме водоема) имеет следующие осредненные значения: 0,5 — для лесостепной зоны, 0,6—0,8 — для степной зоны Украины, 0,8—1,0 — для сухих степей Заволжья и Казахстана.

В практике гидрологических исследований может быть рекомендован еще один способ оценки влияния аккумулирующих емкостей в бассейне. Методика основана на сопоставлении факти-

ческого незарегулированного прудами стока в замыкающих створах малых рек с вычисленным для этих же рек по карте слоем весеннего стока.

Существующие карты изолиний слоя стока весеннего половодья построены без учета аккумуляции стока в искусственных водоемах. Поэтому снятые с карты значения слоя стока для неизученных рек в районах интенсивного строительства искусственных водоемов будут всегда несколько занижены. Чтобы учесть данное обстоятельство при определении по картам объема весеннего половодья для неизученных рек, необходимо разработать к ним поправочные коэффициенты. Методика определения таких поправочных коэффициентов, учитывающих влияние малых ис-

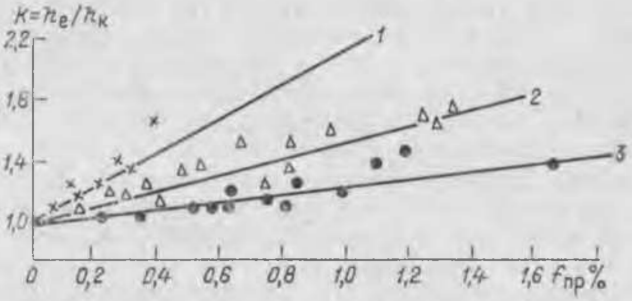


Рис. 2.13. Связь между поправочным коэффициентом к карте и относительной площадью зеркала искусственных водоемов в сухостепной (*1*), степной (*2*) и лесостепной (*3*) зонах.

кусственных водоемов (водохранилищ, прудов, прудокопаней и копаней) на объем весеннего половодья, основана на исследовании связи вида

$$K = \bar{h}_e/\bar{h}_к = f(f_{пр}), \qquad (2.44)$$

где K — коэффициент перехода от стока, определенного по карте, к фактическому стоку, не искаженному влиянием малых искусственных водоемов, $\bar{h}_e$ — слой естественного неизменного стока; $\bar{h}_к$ — слой стока, определенный по карте или вычисленный по фактическим данным на зарегулированных реках; $f_{пр}$ — относительная площадь водного зеркала искусственных водоемов в процентах площади водосбора реки.

В качестве примера можно привести результаты исследований в этом направлении [32]. Для этого были использованы данные по стоку 173 рек, расположенных в лесостепной (97), степной (64) зонах и в зоне сухих степей (12) европейской части СССР. График указанной связи (рис. 2.13) показывает увеличение поправочного коэффициента к карте среднего многолетнего слоя стока половодья рек с ростом относительной площади зеркала

малых искусственных водоемов. Коэффициенты корреляции связей не ниже 0,85, что свидетельствует о возможности их практического применения. Аналитическое выражение связи (см. рис. 2.13) имеет вид:

для лесостепной зоны

$$K_{\text{лст}} = 0{,}27 f_{\text{пр}} + 1, \tag{2.45}$$

для степной зоны

$$K_{\text{ст}} = 0{,}55 f_{\text{пр}} + 1, \tag{2.46}$$

для сухостепной зоны

$$K_{\text{сх. ст}} = 1{,}14 f_{\text{пр}} + 1. \tag{2.47}$$

Из рисунка и уравнений (2.45)—(2.47) следует, что влияние искусственных водоемов на объем половодья зависит еще и от водности района исследований. В зоне сухих степей и полупустынь, где средний слой весеннего стока менее 10 мм, отмечается наиболее существенное относительное влияние малых искусственных водоемов.

При среднем значении относительной площади зеркала искусственных водоемов 0,3 % поправочный коэффициент к карте может быть равен 1,35, в то время как в лесостепной зоне при среднем слое стока за половодье < 40 мм значение поправочного коэффициента не превышает 1,1. Следует иметь в виду, что значения вычисленных поправочных коэффициентов соответствуют условию ежегодного полного (до санитарного уровня) опорожнения прудов. Если известна доля опорожнения прудов, то, приняв их полезный объем за единицу, вычисленный поправочный коэффициент можно откорректировать, умножив его на долю среднего ежегодного опорожнения полезного объема искусственных водоемов.

Влияние искусственных русловых аккумуляций отмечается и в годы различной водности. На рис. 2.14 *а* приведены две биномиальные кривые обеспеченности слоя весеннего стока р. Большой Узень у г. Новоузенска: одна кривая с учетом, другая — без учета аккумулирующего влияния малых искусственных водоемов в годы различной обеспеченности. Кривые асимптотически сближаются в зоне малых и больших обеспеченностей. В результате по р. Большой Узень у г. Новоузенска соотношения объемов половодья могут быть представлены в виде:

p %	1	5	25	75	95
K_p	1,0	1,05	1,20	2,0	∞

Величина K_p получена на основе осреднения значений по большинству пунктов, принятых для анализа соотношений объемов половодий в годы различной обеспеченности.

Распределение K_p показывает, что в очень многоводные годы ($p < 5$ %) влияние малых искусственных водоемов на объем ве-

сеннего половодья рек очень мало и практически равно нулю и весьма существенно в маловодные годы ($p > 75\ \%$). В исключительно маловодные годы ($p > 95\ \%$) весь речной сток степной и сухостепной зон может быть аккумулирован в водохранилищах, прудах и прудокопанях. Из-за отсутствия ежегодных данных по аккумуляции воды в малых искусственных водоемах на реках

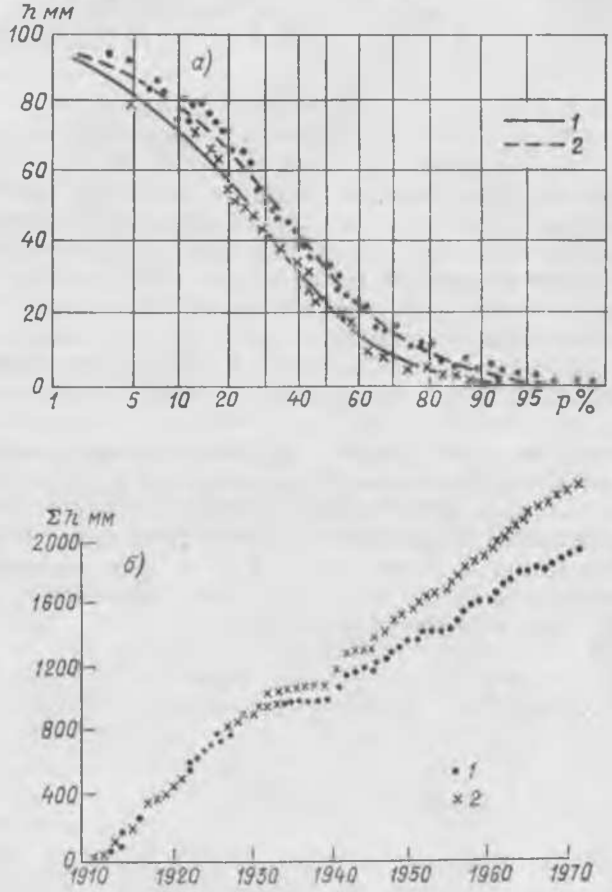


Рис. 2.14. Кривые обеспеченности (*а*) и интегральные кривые (*б*) слоя стока весеннего половодья р. Большой Узень у г. Новоузенска за периоды с нарушенным (*1*) и не нарушенным (*2*) хозяйственной деятельностью режимом.

лесостепной зоны подобный анализ произвести нельзя. Однако надо полагать, что аналогичная тенденция в изменении коэффициентов K_p будет сохраняться, но менее контрастно. В исключительно маловодные годы, по-видимому, полной аккумуляции реч-

ного стока в искусственных водоемах не произойдет, так как существующий их суммарный объем не превышает объема весеннего половодья в маловодные годы.

На основе зависимости $K_p = f(p)$ представилась возможность учесть влияние искусственных водоемов на весенний сток в годы обеспеченностью $p > 10\ \%$ путем введения в расчет дополнительного коэффициента перехода от среднего многолетнего значения весеннего стока, вычисленного по карте с учетом формул (2.45) — (2.47). Для степной и сухо-степной зон его распределение в зависимости от p имеет вид:

p %	10	25	50	75	95
$\lambda_к$	0,87	0,92	1,0	1,5	2,5

Следует заметить, что вычисленные значения слоя весеннего стока с учетом поправок на аккумуляцию в искусственных водоемах будут несколько завышены, так как бытовой сток $\bar{h}_к$ определяется по карте из работы [100], построенной по данным неоднородных рядов стока. Неучет неоднородности рядов стока при построении карты объясняется тем, что строительство малых искусственных водоемов осуществлялось постепенно и влияние их на сток происходило не скачкообразно, а плавно, постепенно увеличиваясь во времени.

Изменение стока по годам под влиянием искусственных водоемов можно проиллюстрировать на рис. 2.14 *б*, на котором показаны интегральные кривые стока с нарушенным (бытовой сток) и с ненарушенным (естественный сток) режимом. Интегральная кривая естественного стока после 1930 г. восстановлена по данным о суммарном объеме искусственных водоемов с учетом динамики их ввода в действие по годам.

3. Учет влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек в практических расчетах

Перестройка всей системы гидрологического обеспечения народного хозяйства требует дифференцированного учета влияния на сток малых рек и его характеристики каждого отдельного вида хозяйственной деятельности.

Ограниченность гидрометеорологической информации на малых реках (ограниченное количество пунктов с наблюдениями за стоком, короткие ряды наблюдений) не позволяет моделировать влияние хозяйственной деятельности на сток на основе регрессионного многофакторного анализа и достаточно надежно учитывать это влияние в гидрологических расчетах при водохозяйственном проектировании. Поэтому для этих целей в основном применены воднобалансовые методы анализа и на их основе разработаны методы учета влияния на сток и его характеристики таких видов хозяйственной деятельности, как агролесомелиорация, орошаемое и осушаемое земледелие, урбанизация, русловые аккумуляции (пруды, малые водохранилища).

3.1. Принципиальная схема учета влияния хозяйственной деятельности на годовой и сезонный сток

Модель учета преобразования стока под влиянием каждого из упомянутых видов хозяйственной деятельности может быть представлена как суммарное изменение стока на n участках с преобразованным стоком на водосборе с учетом различия в почвогрунтах, уклонах склонов и глубинах залегания грунтовых вод:

$$\Delta Y = \sum_{1}^{n} (\Phi K_y f_I + \Psi K_\omega f_H), \qquad (3.1)$$

где Φ и Ψ — функции, выражающие взаимосвязь изменений соответственно среднего многолетнего склонового (поверхностного) и грунтового (подземного) стока с климатическими, почвенными, геоморфологическими и гидрогеологическими факторами для определенных, заранее принятых условий на водосборах; K_y и K_ω — коэффициенты перехода от изменений в составляющих стока для принятых начальных условий к изменениям стока в годы различной водности с учетом реальных соотношений стокоформирующих факторов на водосборе; f_I и f_H — доля площади водосбора с преобразованным стоком, с различным механическим составом почвогрунтов, различными уклонами склонов I и с различными глубинами залегания грунтовых вод H.

При учете влияния на сток агротехнических мероприятий Ф и Ψ выражают взаимосвязь средних многолетних значений изменения составляющих стока на водосборах, условно сложенных суглинистыми почвогрунтами, полностью распаханных на глубину < 25 см и расположенных в слабоувлажненных районах в пределах одной природной зоны. К стокоформирующим факторам при учете влияния агролесомелиораций на годовой сток, относятся почвогрунты с иным механическим составом (супеси или легкие суглинки), распашка на глубину > 25 см с различными противоэрозионными мероприятиями и различной агротехнической обработкой почвы, степень увлажненности расчетных водосборов.

Реализация модели (3.1) осуществляется на основе математического описания зависимостей стока и его антропогенных изменений от стокоформирующих факторов или на основе эмпирических формул, позволяющих оценить количественное преобразования стока с достаточной степенью надежности.

3.2. Учет влияния агротехнических мероприятий и полезащитного лесоразведения на годовой и сезонный сток в районах с устойчивым и неустойчивым снежным покровом

Учет влияния агротехнических мероприятий и полезащитного лесоразведения рекомендуется производить в гидрологических расчетах в зависимости от устойчивости снежного покрова, наличия гидрометеорологической информации и результатов выполненных воднобалансовых исследований по оценке этого влияния на склоновый и грунтовый сток (см. гл. 2).

3.2.1. Учет влияния агротехнических мероприятий и полезащитного лесоразведения на годовой сток. Влияние агролесомелиораций на годовой сток малых рек в районах с устойчивым снежным покровом в гидрологических расчетах можно учесть с помощью формулы

$$\Delta Y_{п_p} = \sum_1^n \left[\overline{X}\bar{\alpha}_з' \Delta\overline{W}_п K_{\omega_p} K_\omega' K_\omega'' f_H\right]_п K_{x\omega} +$$

$$+ \sum_1^n \left[\overline{X}\bar{\alpha}_з' \Delta\overline{W}_{лсп} K_{\omega_p} K_l K_\omega'' K_t f_H'\right]_{лсп} -$$

$$- \sum_1^n \left[(\overline{S} + \overline{x})\bar{\alpha}_з \Delta\bar{y}_п K_{y_p} K_y' K_y'' f_l\right]_п K_{xy} -$$

$$- \sum_1^n \left[(\overline{S}' + \overline{x}) K_{р.\,п}\bar{\alpha}_з K_y' f_l'\right]_{лсп}, \qquad (3.2)$$

где $\Delta Y_{п_p}$ — изменение годового стока рек под влиянием агромероприятий и полезащитного лесоразведения на их водосборах, мм; X — средняя многолетняя сумма осадков за год, мм; $\overline{S}$ и $\overline{S}'$ —

средние многолетние значения максимальных запасов воды в снеге соответственно на сельскохозяйственных полях и на залежи (целине), мм; x — атмосферные осадки за период склонового стекания, мм (прил. 11); $\bar{\alpha}_з$ и $\bar{\alpha}'_з$ — коэффициенты среднего многолетнего склонового стока и питания грунтовых вод атмосферными осадками на залежных (целинных) участках водосбора до их агролесомелиоративного освоения (прил. 4,5); $\Delta\bar{y}_{п,\ лсп}$, $\Delta\bar{W}_{п,\ лсп}$ — соответственно изменение среднего многолетнего склонового и грунтового стока под влиянием агромероприятий (п) и полезащитного лесоразведения (лсп) на суглинистых и супесчаных почвогрунтах в долях единицы (см. прил. 1—3); $[f_I]_п$, $[f'_I]_{лсп}$ — доля площади водосбора под пашней и лесными полосами на суглинистых и супесчаных почвогрунтах с различными уклонами полевых склонов I; $[f_H]_п$, $[f'_H]_{лсп}$ — доля площади водосбора под теми же угодьями с различными глубинами залегания грунтовых вод H; K_{y_p}, K_{ω_p} — коэффициенты для вычисления изменений склонового и грунтового стока любой заданной вероятности превышения p (прил. 6—8); K'_y, K'_ω — коэффициенты для вычисления изменений склонового и грунтового стока на супесчаных и легкосуглинистых почвогрунтах (на суглинистых почвогрунтах коэффициенты равны единице); K''_y, K''_ω — коэффициенты, учитывающие глубину распашки (>25 см) и сопутствующие агротехнические мероприятия (прил. 9); K_{xy}, $K_{x\omega}$ — коэффициенты, учитывающие водность района в пределах природных зон (прил. 10), $K_{x\omega}=1$; K_t — коэффициент, учитывающий возраст лесных полос (прил. 15); $K_{р.\ п}$ — коэффициент, зависящий от расположения лесных полос относительно полевых склонов, при перекрестном расположении $K_{р.\ п}=1$, при поперечном — $K_{р.\ п}=1{,}4$; K_I — коэффициент, учитывающий влияние уклонов склона сельскохозяйственного поля на грунтовый сток под лесными полосами ($K_I=1{,}0$; 1,5; 2,0 при $I<20$ ‰, 20 ‰ $<I<50$ ‰, $I\geqslant 50$ ‰ соответственно); выражения под знаком $\sum_1^n$ означают суммарное изменение стока на n участках с учетом различий в почвогрунтах, уклонах склонов и глубинах залегания грунтовых вод.

Значения f_I, f_H, f'_I, f'_H определяются по таблицам (интегральным кривым) распределения площадей с разными уклонами склонов и глубинами залегания грунтовых вод на суглинистых и супесчаных почвогрунтах, занятых сельскохозяйственными полями и лесными полосами, в долях площади водосбора. Кривые распределения площадей строятся по данным топографических, почвенных и гидрогеологических карт. При этом на почвенную карту речного водосбора сначала накладывается топографическая

карта, по которой в определенных границах раздельного распространения суглинистых и супесчаных почвогрунтов определяются площади пашни или леса с различными уклонами в пределах заранее принятых градаций в соответствии с расчетными таблицами в приложении.

Площади с разными глубинами залегания грунтовых вод определяются при нанесении на почвенную карту в пределах речного водосбора гидроизогипс или районов с различными глубинами залегания грунтовых вод. Методика построения интегральных кривых распределения изложена в работе [84].

Формула (3.2) рекомендуется для учета влияния агромероприятий и полезащитного лесоразведения на годовой сток рек при наличии или недостаточности данных наблюдений за $\bar{X}$, $\bar{S}+\bar{x}$, S'; склоновым стоком и питанием грунтовых вод атмосферными осадками в их бассейнах. При этом используются интерполяционные данные (см. прил. 1—9), полученные по результатам исследований и обобщений данных наблюдений воднобалансовых станций.

При расчете изменений стока по формуле (3.2) и по данным приложений значения коэффициентов K'_y и K'_ω следует принимать равными единице.

Для более широкого применения в гидрологических расчетах методов учета изменения стока под влиянием агролесомелиораций используются эмпирические формулы (3.3)—(3.6). Формулы применены для не изученных в гидрологическом отношении рек при отсутствии воднобалансовых исследований в их бассейнах:

для лесной зоны

$$\Delta Y_{\text{п}p}=\sum_1^n\left\{0{,}002\bar{X}H^{0,52}\left[\frac{2{,}5}{(H+1)^{0,45}}-0{,}06\right]K_{\omega_p}K'_\omega K''_\omega f_H\right\}_{\text{п}}K_{x\omega}-$$

$$-\sum_1^n\left\{\frac{(\bar{S}+\bar{x})(0{,}05I^{0,54}+0{,}02)}{(I+1)^{0,50}}K_{y_p}K'_yK''_yf_I\right\}_{\text{п}}K_{xy}, \qquad (3.3)$$

для лесостепной зоны

$$\Delta Y_{\text{п}p}=\sum_1^n\left\{0{,}007\bar{X}H^{0,40}\left[\frac{1{,}42}{(H+1)^{0,45}}-0{,}02\right]K_{\omega_p}K'_\omega K''_\omega f_H\right\}_{\text{п}}K_{x\omega}+$$

$$+\sum_1^n\left\{0{,}11\bar{X}H^{0,27}\left[\frac{1{,}42}{(H+1)^{0,45}}-0{,}02\right]K_{\omega_p}K_IK'_\omega K_tf'_H\right\}_{\text{лсп}}-$$

$$-\sum_1^n\left\{\frac{0{,}78(\bar{S}+\bar{x})(0{,}04I^{0,61}+0{,}02)}{(I+1)^{0,36}}K_{y_p}K'_yK''_yf_I\right\}_{\text{п}}K_{xy}-$$

$$-\sum_1^n\left\{(0{,}04I^{0,61}+0{,}02)(\bar{S}+x)K_{\text{р. п}}K_{y_p}K'_yf'_I\right\}_{\text{лсп}}, \qquad (3.4)$$

для степной зоны европейской части СССР

$$\Delta Y_{\text{п}_p} = \sum_1^n \left\{0{,}003\overline{X}H^{0,68}\left[\frac{1{,}42}{(H+1)^{0,45}} - 0{,}02\right]K_{\omega_p}K'_\omega K''_\omega f_H\right\}_{\text{п}} K_{x\omega} +$$

$$+ \sum_1^n \left\{0{,}11\overline{X}H^{0,27}\left[\frac{1{,}42}{(H+1)^{0,45}} - 0{,}02\right]K_{\omega_p}K_l K'_\omega K_t f'_H\right\}_{\text{лсп}} -$$

$$- \sum_1^n \left\{\frac{0{,}05\,(\overline{S}+\overline{x})\,I^{0,44}}{(I+1)^{0,26}} K_{y_p}K'_y K''_y f_I\right\}_{\text{п}} K_{xy} -$$

$$- \sum_1^n \left[0{,}06I^{0,44}(\overline{S}' + \overline{x})K_{\text{р. п}}K_{y_p}K'_y f'_I\right]_{\text{лсп}}, \qquad (3.5)$$

для степной зоны Северного Казахстана и Западной Сибири

$$\Delta Y_{\text{п}_p} = \sum_1^n \left\{0{,}003\overline{X}H^{0,71}\left[\frac{1{,}42}{(H+1)^{0,45}} - 0{,}02\right]K_{\omega_p}K'_\omega K''_\omega f_H\right\}_{\text{п}} K_{x\omega} +$$

$$+ \sum_1^n \left\{0{,}11\overline{X}H^{0,27}\left[\frac{1{,}42}{(H+1)^{0,45}} - 0{,}02\right]K_{\omega_p}K_l K'_\omega K_t f'_H\right\}_{\text{лсп}} -$$

$$- \sum_1^n \left\{\frac{0{,}06\,(\overline{S}+\overline{x})\,I^{0,44}}{(I+1)^{0,23}} K_{y_p}K'_y K''_y f_I\right\}_{\text{п}} K_{xy} -$$

$$- \sum_1^n \left\{0{,}06I^{0,44}(\overline{S}' + \overline{x})K_{\text{р. п}}K_{y_p}K'_y f'_I\right\}_{\text{лсп}}. \qquad (3.6)$$

Эти формулы получены на основе исследования связей вида:

$$Y,\ \Delta Y = f(X,\ S+x,\ \text{М},\ I), \qquad (3.7)$$

$$W,\ \Delta W = f(X,\ H,\ \text{М},\ \text{Л},\ I), \qquad (3.8)$$

где М и Л — соответственно механический состав и литологическое строение почвогрунтов зоны аэрации, остальные обозначения прежние.

Вычисление средних многолетних значений изменений стока для районов с увлажненностью (стоком) ниже среднего зонального значения производится по формулам (3.3)—(3.6). По ним расчет производится для участков водосбора, сложенных суглинистыми почвогрунтами, при отвальной распашке глубиной 25 см. При этом коэффициенты K_{y_p}, K_{ω_p}, K'_y, K'_ω, K''_y, K''_ω, K_{xy}, $K_{x\omega}$ принимаются равными единице. Графически указанные эмпирические формулы изображены на рис. 3.1—3.3.

Учет влияния агролесомелиораций на сток с участков водосбора, сложенных более легкими почвогрунтами (легкие суглинки, супеси), или при глубине распашки $\geqslant 25$ см с различными приемами агротехнической обработки почв, разным возрастом лесных полос и неодинаковой увлажненностью района атмосферными

осадками, производится по формулам (3.3)—(3.6) с применением указанных коэффициентов. Числовые значения их получены на основе сопоставления изменений стока для перечисленных возможных вариантов с аналогичными, вычисленными для средних начальных (см. п. 3.1) условий.

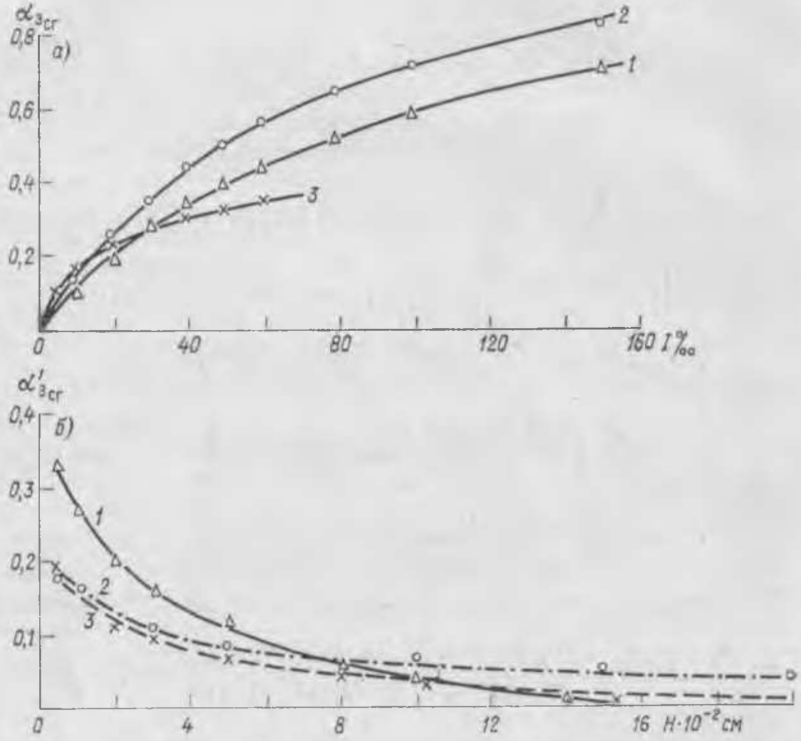


Рис. 3.1. Графики связей $\alpha_{э\,сг} = f(I)$ (*а*) и $\alpha'_{э} = f(H)$ (*б*) для суглинистых грунтов зоны аэрации водосборов лесной (*1*), лесостепной (*2*) и степной (*3*) зон.

Коэффициенты перехода от изменений стока на суглинках (сг), где K'_{y} и K'_{ω} равны единице, к изменениям стока на супесях (сп) вычислены в зависимости от уклонов и глубин залегания грунтовых вод.

Для вычисления коэффициентов использованы данные прил. 1—3. Расчеты коэффициентов производятся по уравнениям:

для лесной зоны:

$$K'_{y_п} = 0{,}8, \quad K'_{y_л} = 0{,}95 - 0{,}003I; \tag{3.9}$$

$$K'_{\omega_п} = 0{,}65H^{0{,}22}, \quad K'_{\omega_л} = 0{,}8; \tag{3.10}$$

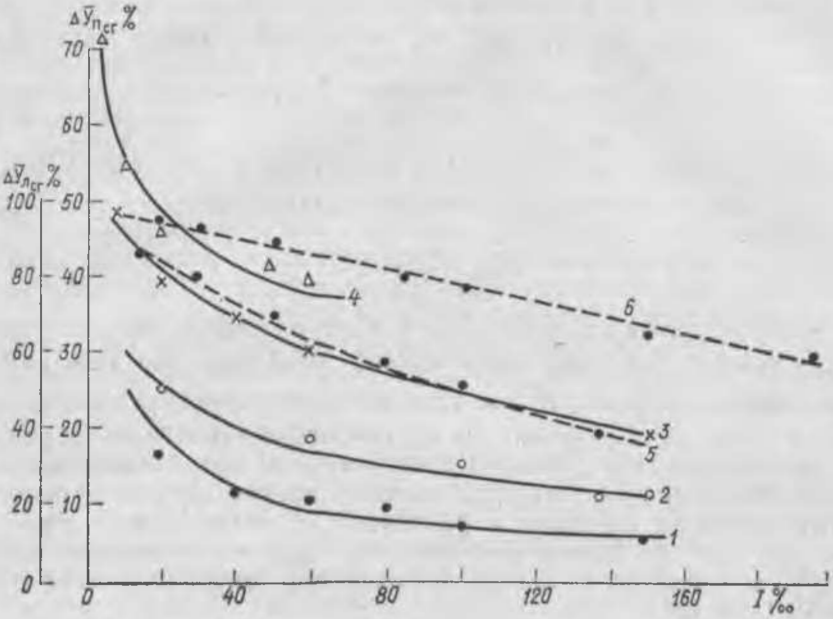


Рис. 3.2. График связи $\Delta\bar{У}_{п.\,л\,сг} = f(I)$ для суглинистых почвогрунтов водосборов различных природных зон.

Для поля (п): *1* — лесная зона, *2* — лесостепная зона, *3* — степная зона европейской части СССР, *4* — степная зона Северного Казахстана; для леса (л): *5* — лесная зона, *6* — лесостепная зона.

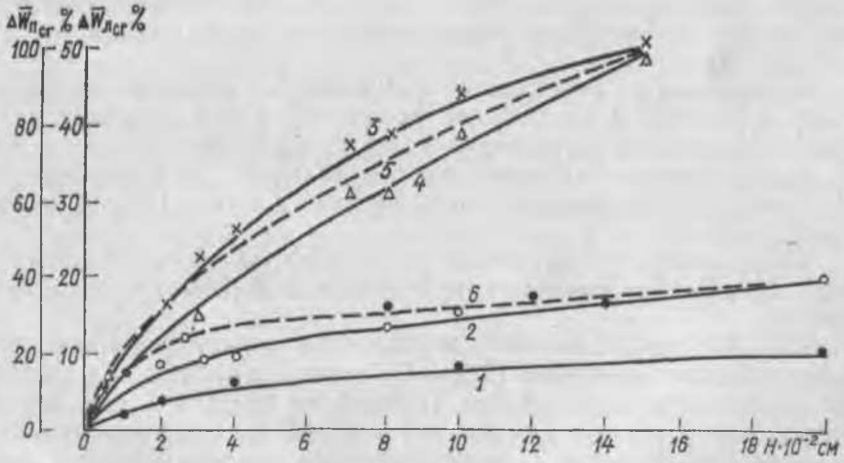


Рис. 3.3. График связи $\Delta\bar{W}_{п.\,л} = f(H)$ для преобладающих суглинистых почвогрунтов (сг) зоны аэрации водосборов различных природных зон.

Для поля (п): *1* — лесная зона, *2* — лесостепная зона, *3* — степная зона европейской части СССР, *4* — степная зона Северного Казахстана; для леса (л): *5* — лесная зона, *6* — лесостепная зона.

для лесостепной и степной зон:

$$K'_{y_{\text{п}}} = 0{,}85 - 0{,}003I, \quad K'_{y_{\text{л, лсп}}} = 0{,}95 - 0{,}003I; \tag{3.11}$$

$$K'_{\omega_{\text{п}}} = 0{,}5H^{0{,}22}, \quad K'_{\omega_{\text{л,лсп}}} = 0{,}8; \tag{3.12}$$

для степной зоны Северного Казахстана и Западной Сибири:

$$K'_{y_{\text{п}}} = 0{,}72 - 0{,}003I, \tag{3.13}$$

$$K'_{\omega_{\text{п}}} = 0{,}5H^{0{,}22}. \tag{3.14}$$

Коэффициенты перехода (K''_y и K''_ω) от изменений склонового и грунтового стока при обыкновенной распашке под зябь глубиной <25 см ($K''_y = 1$, $K''_\omega = 1$) к изменениям при распашке глубиной > 25 см с различными агротехническими приемами в земледелии приведены в прил. 9. Они получены путем сопоставления значений склонового стока и питания грунтовых вод атмосферными осадками на полях с различной агротехнической обработкой [8, 10, 34]. Исходными данными для этого послужили результаты экспериментальных исследований, опубликованные в работах [124, 125].

Коэффициенты перехода K_{y_p} и K_{ω_p} от среднего многолетнего значения изменения стока ($K_y = 1$, $K_\omega = 1$) к значениям стока в годы различной водности приведены в прил. 6—8. Для разработки переходных коэффициентов были использованы данные по изменению стока (Δy и ΔW) под влиянием агромероприятий и лесных полос в годы различной водности, позволившие построить кривые обеспеченности и экстраполировать их до значений $p = 5$ и 95 % [34].

Коэффициенты перехода от результатов расчета изменения стока в районах с наименьшей водностью рек в пределах одной природной зоны к результатам расчета в районах средней и наибольшей водности рек определяются по прил. 10. Коэффициенты K_{xy} и $K_{x\omega}$ получены по опубликованным данным [34] и данным прил. 1—3.

Коэффициент, учитывающий водоохранную эффективность лесных полос в зависимости от их возраста, определяется по прил. 15 [64].

Влияние агролесомелиораций на сток может учитываться по эмпирическим формулам (3.3)—(3.6) на малых реках с постоянным и периодическим стоком (временные водотоки) как при наличии, так и при отсутствии наблюдений за годовыми суммами атмосферных осадков $\bar{X}$, максимальными запасами воды в снеге $\bar{S}$ на пашне и $\bar{S}'$ на залежи (целина, луг), атмосферными осадками за период склонового стекания x.

При отсутствии данных наблюдений за перечисленными элементами водного баланса, их значения определяются по интер-

поляции между измеренными значениями на соседних бассейнах по аналогии с изученными реками в пределах одной и той же природной зоны по картам. На территории европейской части СССР карты максимальных запасов воды в снеге построены по данным снегосъемок на сельскохозяйственных полях, на территории азиатской части СССР по данным наблюдений на целинных и залежных землях. Поэтому при вычислении $\bar{S}'$ в европейской части СССР и $\bar{S}$ в азиатской необходимо значение, определенное по карте, соответственно увеличить или уменьшить на 10 %.

Атмосферные осадки x рекомендуется вычислять по интерполяции, используя карту значений x в процентах $\bar{S}$ в пределах европейской части СССР и Северного Казахстана (см. прил. 11).

Структура формул (3.3)—(3.6) позволяет осуществить вариантный расчет и прогноз возможных преобразований в стоке и выбрать оптимальный вариант этих изменений при водохозяйственном проектировании. Погрешность расчета составляет в среднем ±15 % изменений стока.

Для районов с неустойчивым снежным покровом кроме основного метода оценки и учета влияния агролесомелиораций на годовой сток, изложенного в данном пункте, дополнительно разработан косвенный метод, основанный на результатах анализа испарения с почвы и его изменений в лесоаграрных комплексах. Согласно уравнению водного баланса, любое изменение суммарного испарения под влиянием сельскохозяйственного освоения территории должно отразиться на годовом стоке. Результаты этих исследований приобретают существенное значение как для оценки достоверности результатов, полученных по формулам (3.2)—(3.6), так и для оценки влияния указанных мероприятий в районах с неустойчивым снежным покровом (Западная и Южная Украина, Молдавия, Калининградская область, частично Прибалтика, бассейн Кубани, Приморский край).

Состояние вопроса, методика оценки влияния агролесомелиораций на испарение с почвы и результаты исследований изложены в работе [34].

Учет суммарного изменения испарения с почвы в связи с сельскохозяйственным освоением территории на конкретных водосборах производится с учетом весового соотношения угодий под различными сельскохозяйственными культурами по формуле

$$\Delta E_{п_р} = 0{,}01\bar{E}_ц\left[(\Delta\bar{E}_я f_я + \Delta\bar{E}_{оз} f_{оз})K_{лсп}K_р + \Delta\bar{E}_{пар}f_{пар}K'_{лсп}K'_р\right]K''_у, \quad (3.15)$$

где $\Delta E_{п_р}$ — изменение суммарного испарения на водосборе, мм; $\bar{E}_ц$ — среднее многолетнее суммарное испарение с целины (залежь, луг), мм; $\Delta\bar{E}_я$, $\Delta\bar{E}_{оз}$, $\Delta\bar{E}_{пар}$ — изменение среднего многолетнего суммарного испарения с угодий соответственно с площади, занятой яровыми, озимыми культурами и паром, %; $f_я$, $f_{оз}$, $f_{пар}$ — площади угодий, выражены в долях площади водосбора; $K_{лсп}$ — коэффициент, учитывающий влияние лесных полос на испарение с сельскохозяйственных полей, при площади межполосных полей

$f < 100$ га $K_{лсп} = 0{,}97$, при $f > 100$ га или отсутствии лесных полос $K_{лсп} = 1{,}0$; $K'_{лсп}$ — коэффициент, учитывающий влияние лесных полос на испарение с парового поля и равный 0,90; K''_y — коэффициент, учитывающий глубину распашки (при глубине < 25 см $K''_y = 1{,}0$, при глубине > 25 см $K''_y = 1{,}2$); K_p и K'_p — коэффициенты перехода от средних многолетних значений $\Delta\bar{E}_{я,\,оз}$ и $\Delta\bar{E}_{пар}$ к тем же значениям в годы различной водности (многоводные и маловодные), для многоводных лет ($p < 25\,\%$) $K_p = 1{,}60$ и $K'_p = 0{,}90$, для маловодных лет ($p > 75\,\%$) $K_p = 0{,}50$, $K'_p = 1{,}40$.

Изменение испарения с угодий $\Delta\bar{E}_{я}$, $\Delta\bar{E}_{оз}$, $\Delta\bar{E}_{пар}$ относительно целины в многолетнем разрезе определяется по прил. 12. Изменение испарения с угодий под пропашными, кормовыми и техническими культурами (свекла, кукуруза, клевер) следует принимать равновеликими значениями $\Delta\bar{E}_{оз}$, под картофелем — $\Delta E_{пар}$. Площади под сельскохозяйственными культурами устанавливаются по данным статистических или земельных управлений административных районов и областей, расположенных в пределах водосбора. Величина $\bar{E}_{ц}$ определяется либо по данным измерения испарения в пределах бассейна, либо при их отсутствии по графику связи (см. рис. 2.6), построенному по данным испарителей ГГИ-500 в различных природных зонах. При расчете испарения по графику необходимо вычисленное значение $\bar{E}_{ц}$ увеличить в лесной зоне на 5—7 %, в лесостепной зоне на 10 %, в степной зоне европейской части СССР на 15—20 %. В засушливых районах юга европейской части СССР и Казахстана поправки в расчет $\bar{E}_{ц}$ вводить не рекомендуется.

Оценка влияния лесомелиоративных мероприятий на испарение с водосборов, а следовательно, и на сток произведена путем сопоставления испарения с лесных полос и с целины, вычисленного по зависимости

$$\bar{E}_{ц},\ \bar{E}_{лсп}/E_0 = f\left[\sum \bar{R}/(L\sum \bar{X})\right]. \qquad (3.16)$$

Результаты оценки степени надежности указанных зависимостей свидетельствуют о возможности их применения в исследованиях данного направления. Среднее отклонение точек от осредненных кривых составляет 4—7 %. Коэффициенты корреляции связей соответственно равны 0,75 и 0,95, относительное среднее квадратическое отклонение составляет 5—9 %. Результаты вычислений изменения испарения $\Delta\bar{E}_{лсп}$ приведены в прил. 13 для смешанных древесных пород в возрасте 50—60 лет в различные по увлажненности годы.

Учет влияния лесомелиоративных мероприятий на испарение с почвы в пределах водосбора производится по формуле

$$\Delta E_{лсп_p} = 0{,}01\bar{E}_{ц}\left[(\Delta\bar{E}_{л.\,х}f_{л.\,х} + \Delta\bar{E}_{л.\,с}f_{л.\,с})_{H<10} + (\Delta\bar{E}_{л.\,х}f_{л.\,х} + \Delta\bar{E}_{л.\,с}f_{л.\,с})_{H>10}\right] K_t K_p, \qquad (3.17)$$

где $\Delta\bar{E}_{лсп}$ — изменение испарения с почвы под влиянием лесных полос, мм; $\Delta\bar{E}_{л.\,х}$, $\Delta\bar{E}_{л.\,с}$ — среднее многолетнее изменение соответственно под влиянием хвойного и смешанного (преимущественно лиственного) леса, %; $f_{л.\,х}$, $f_{л.\,с}$ — площадь, занятая соответственно хвойным и смешанным лесом, в пределах участков с глубиной залегания грунтовых вод $H < 10$ м и $H > 10$ м, в долях площади водосбора, $E_{п}$ — испарение с целины, мм; K_t — коэффициент, учитывающий влияние на $\Delta\bar{E}_{лсп}$ возраста древостоя (прил. 15); K_p — коэффициент перехода от среднего многолетнего значения $\Delta\bar{E}_{лсп}$ к значениям в годы различной водности, для многоводных лет ($p \leqslant 25\,\%$) $K_p = 0{,}3$, для маловодных ($p \geqslant 75\,\%$) $K_p = 1{,}7$.

Среднее многолетнее изменение испарения с леса $\Delta\bar{E}_{л.\,с}$ определяется по прил. 13; для хвойного леса $\Delta\bar{E}_{л.\,х} = 0{,}8\Delta\bar{E}_{л.\,с}$.

Общее влияние агротехнических мероприятий и полезащитного лесоразведения на изменение испарения с водосборов $\Delta E_{в_p}$ вычисляется по формуле

$$\Delta E_{в_p} = \Delta E_{п_p} + \Delta E_{лсп_p}. \tag{3.18}$$

Величина $\Delta E_{в_p}$, согласно уравнению водного баланса, может выражать изменения стока на водосборе под влиянием агролесомелиоративных мероприятий. Погрешность расчета по формулам (3.15)—(3.17) составляет в среднем ±15—20 % изменения испарения. Для временных водотоков погрешность расчета несколько больше.

3.2.2. Учет влияния агротехнических мероприятий на сезонный сток. Распределение доли этого влияния на сток внутри года (по сезонам) на реках с постоянным стоком определяется по формулам:

$$\Delta\bar{Y}_{в} = \Delta\bar{y}_{в} f_{п}, \tag{3.19}$$

$$\Delta\bar{Y}_{л.\text{-}о} = \Delta\bar{Y}_{г} \pm \Delta\bar{Y}_{в}, \tag{3.20}$$

где $\Delta\bar{Y}_{в}$, $\Delta\bar{Y}_{л.\,о}$ — среднее многолетнее изменение стока соответственно в весенний (в) и летне-осенний (л.-о) периоды, % годового; $\Delta\bar{Y}_{г}$ — среднее многолетнее изменение годового стока, %; $\Delta Y_{в}$ — среднее многолетнее изменение весеннего стока на реках при полной распашке водосборов глубиной > 25 см с учетом противоэрозионных мероприятий и внесения удобрений в соответствии с существующими нормами (определяется по данным прил. 14), %.

Погрешность расчета по формулам (3.19) и (3.20) равна в среднем ± 15—20 % изменения сезонного стока.

В дополнение к изложенному способу рекомендуется еще один, упрощенный, метод, основанный на вычислении коэффициента перехода $K_{в}$ от величины $\Delta\bar{Y}_{г}$ к величине $\Delta\bar{Y}_{в}$ по формулам:

$$K_{в} = 1{,}6 - 0{,}0004H \quad \text{при} \quad I < 50\,‰, \tag{3.21}$$

$$K_{в} = 1{,}35 - 0{,}0003H \quad \text{при} \quad I > 50\,‰, \tag{3.22}$$

где I — средний уклон полевых склонов, ‰; H — средняя глубина залегания грунтовых вод на сельскохозяйственных угодьях, см.

Далее расчет производится по формуле (3.20).

В многоводные и маловодные годы приближенный расчет сезонного распределения изменений стока может быть выполнен по тем же формулам, включая в расчет $\Delta Y_{г_p}$ и $\Delta Y_{в_p}$ различной вероятности ежегодного превышения, вычисленные через коэффициенты K_{y_p} и K_{ω_p} (см. прил. 6—8).

Переход от изменения стока в процентах к абсолютным значениям производится по формуле

$$\Delta\overline{Y}_{в,\,л\text{-}о} = 0{,}01\overline{Y}_г\,\Delta Y_{в,\,л\text{-}о}. \qquad (3.23)$$

Для временных водотоков (реки с преимущественно весенним стоком и отсутствием глубоких непересыхающих плесов, лога, балки) изменение весеннего стока тождественно изменению годового.

Учет изменения стока малых рек под влиянием агротехнических мероприятий в зимний период не производится, так как весь дополнительный приток атмосферных осадков в грунтовые воды за счет распашки успевает дренироваться руслом реки еще до наступления зимы.

В зоне недостаточного увлажнения, где влияние агротехнических мероприятий на сток наиболее выражено, в зимний период сток малых рек либо ничтожно мал, либо отсутствует.

3.3. Учет влияния лесохозяйственных мероприятий на годовой и сезонный сток рек в районах с устойчивым и неустойчивым снежным покровом

3.3.1. Учет влияния лесохозяйственных мероприятий на годовой сток рек. Для районов с устойчивым снежным покровом влияние леса на склоновый и грунтовый сток оценивалось путем сопоставления вычисленных с помощью графиков связи значений стока с залесенных и незалесенных склонов (см. рис. 2.2 и 2.4). Результаты оценки приведены в прил. 2 и 3. На основе данных этих приложений получена формула общего вида для практического использования в расчетах в пределах лесной и лесостепной зон:

$$\Delta Y_{л_p} = \sum_1^n \left[\overline{X}\bar{\alpha}_з\,\Delta\overline{W}_л K_{\omega_p} K_t f'_H\right] - \sum_1^n \left[(\overline{S}' + \bar{x})\bar{\alpha}_з\,\Delta\bar{y}_л K_{y_p} f'_l\right], \qquad (3.24)$$

где $\Delta Y_{л_p}$ — изменение годового стока рек под влиянием залесенности, мм; выражения под знаком $\sum_1^n$ означает сумму изменений

склонового и грунтового стока на n частных площадях под лесом с уклонами I и глубинами залегания грунтовых вод H; $\bar{X}$ — средняя многолетняя сумма осадков за год, мм; $\bar{S}'$ — средние многолетние максимальные запасы воды в снеге на залежи (лугу, целине), мм; $\bar{x}$ — атмосферные осадки за период склонового стекания, мм (см. прил. 11); $\bar{\alpha}_з$ и $\bar{\alpha}'_з$ — коэффициенты среднего многолетнего склонового стока и питания грунтовых вод атмосферными осадками на луговых (залежных и целинных) участках водосбора до их лесохозяйственного освоения (см. прил. 4, 5); $\Delta\bar{y}_л$ и $\Delta W_л$ — соответственно изменение среднего многолетнего склонового и грунтового стока под влиянием леса на суглинистых и супесчаных почвогрунтах в долях единицы (прил. 2, 3); K_{y_p} и K_{ω_p} — коэффициенты для вычисления изменения склонового и грунтового стока любой заданной вероятности ежегодного превышения p (см. прил. 6, 7); K_t — коэффициент, учитывающий возраст лесонасаждений (прил. 15); f'_H и f'_I — доля площади водосбора под лесом на суглинистых и супесчаных почвогрунтах с уклонами склонов I и глубинами залегания грунтовых вод H.

Формула (3.24) позволяет вычислить изменение стока под влиянием залесенности преимущественно для хвойного (лесная зона) и лиственного леса (лесостепная зона). Поэтому, чтобы учесть влияние лиственного (смешанного) леса в лесной зоне, необходимо полученный по формуле (3.24) результат умножить на коэффициент 0,8 и, наоборот, для хвойного леса в лесостепной зоне — разделить на этот же коэффициент.

При отсутствии данных наблюдений за перечисленными элементами водного баланса их значения вычисляются путем интерполяции между измеренными значениями на соседних бассейнах, аналогично с изученными реками в пределах одной и той же природной зоны и по картам изолиний. При этом максимальные запасы воды в снеге $\bar{S}$, определенные по карте для европейской части СССР, следует увеличить на 10 %.

Для применения в практике гидрологических расчетов рекомендуются эмпирические формулы учета изменения стока под влиянием леса:

для лесной зоны

$$\Delta Y_{л_p} = \sum_1^n \left\{0{,}027\bar{X}H^{0,55}\left[\frac{2{,}5}{(H+1)^{0,45}} - 0{,}06\right]\right\} K_{\omega_p}K'_{\omega_л}K_t f'_H - \\ - \sum_1^n \left\{\frac{2{,}58\,(\bar{S}'+\bar{x})\,(0{,}05I^{0,54}+0{,}02)}{(I+5)^{0,43}}\right\} K_{y_p}K'_{y_л}f'_y, \qquad (3.25)$$

для лесостепной зоны

$$\Delta Y_{л_p} = \sum_1^n \left\{0{,}11\bar{X}H^{0,27}\left(\frac{1{,}42}{(H+1)^{0,45}} - 0{,}02\right)\right\} K_{\omega_p}K'_{\omega_л}K_t f'_H - \\ - \sum_1^n \left\{\frac{2{,}8\,(\bar{S}'+\bar{x})\,(0{,}04I^{0,61}+0{,}02)}{(I+5)^{0,32}}\right\} K_{y_p}K'_{y_л}f'_I, \qquad (3.26)$$

где $K'_{y_л}$ и $K'_{\omega_л}$ — коэффициенты перехода от изменения стока на суглинистых почвогрунтах к изменению стока на супесчаных, вычисляются по формулам (3.9)—(3.12); остальные обозначения прежние.

Формулы применимы для неизученных в гидрологическом отношении рек и без использования приложений данной монографии.

Влияние на сток сведения леса (рубка по площади под сельскохозяйственные угодья) или дополнительного облесения водосбора учитывается по разности результатов расчета до и после осуществления этих лесохозяйственных мероприятий.

Влияние лесохозяйственных мероприятий (вырубок) на годовой сток малых рек Восточной Сибири рекомендуется учитывать по методике, разработанной отдельно для данного региона на основе гидрологического и статистического анализа неоднородности рядов наблюдений по стоку, вызванной только вырубками в бассейне. В результате получены: 1) коэффициенты K_y для вычисления изменения стока при различных значениях изменений залесенности $\Delta f_л$ (табл. 3.1), 2) поправки $\Delta\bar{y}$ для определения сред-

Таблица 3.1

Зависимость $K_y = f(\Delta f_л)$

$\Delta f_л$ %	15	20	25	30
K_y	0,04	0,07	0,11	0,14

них значений годового стока неоднородного ряда ($\Delta\bar{y}_н$) в зависимости от изменения стока ΔY и поправки ΔC_v для определения коэффициентов изменчивости годового стока неоднородного ряда $C_{v_н}$ в зависимости от ΔY (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Зависимость поправок $\Delta\bar{y}_н$ **и** $C\Delta_v$ **от** ΔY

ΔY мм	$\Delta\bar{y}_н$ мм	ΔC_v	ΔY мм	$\Delta\bar{y}_н$ мм	ΔC_v
5	0		25	15	0,03
10	3	0	30	19	0,04
15	7	0,01	35	23	0,05
20	11	0,02	40	26	0,06

Методика учета влияния лесохозяйственных мероприятий на сток малых рек Восточной Сибири разработана сотрудниками СибНИИГиМа А. В. Петенковым и Л. К. Ершовой.

Погрешность учета изменений стока по формулам (3.1)—(3.3) и на основе использования табл. 3.1 и 3.2 (Восточная Сибирь) в среднем составляет ±15—25 % изменения стока.

В районах с неустойчивым снежным покровом влияние лесохозяйственных мероприятий рекомендуется учитывать

путем расчета изменений суммарного испарения, а следовательно, и годового стока реки в связи с изменением залесенности, видового состава леса и глубины залегания грунтовых вод на водосборах по формуле (3.17). В прил. 13 приведены вычисленные изменения испарения для смешанных лесов лесостепной зоны для различных по водности лет.

Влияние на сток сведения леса или его возобновления учитывается по разности результатов расчета до и после осуществления упомянутых мероприятий. Погрешность расчета ±15—20 % изменения стока.

3.3.2. Учет влияния леса и лесохозяйственных мероприятий на сезонный сток. Влияние леса и лесохозяйственных мероприятий рекомендуется учитывать следующим образом:

1) в соответствии с табл. 4.5 вычисляется поправочный коэффициент к карте изолиний весеннего стока $K_л$ для реки независимо от степени ее гидрологической изученности;

2) вычисляется слой весеннего стока с учетом поправочного коэффициента к карте по формуле $\overline{Y}_в = \overline{Y}_{в.к} K_л$, где $\overline{Y}_{в.к}$ — слой весеннего стока для расчетного водосбора, определенный по карте;

3) вычисляется изменение весеннего стока по формуле

$$\Delta Y_в = \pm f_л(\overline{Y}_в - \overline{Y}_{в.к})/(f_{л.р} - f_л), \qquad (3.27)$$

где $\Delta Y_в$ в мм; $f_{л.р}$, $f_л$ — соответственно районная и фактическая (конкретно на водосборе) залесенность, %. Остальные обозначения прежние.

При $f_{л.р} = f_л$ изменение стока на 1 % залесенности вычисляется по соседним рекам-аналогам, для которых $f_{л.р} \neq f_л$. Знак при $\Delta Y_в$ определяется в зависимости от принадлежности к группе рек (табл. 4.5, п. 4.3.4). Далее по формуле (3.20) вычисляется изменение стока за меженный период.

В многоводные и маловодные годы приближенная оценка сезонного распределения изменения стока выполняется по тем же формулам, с включением в расчет $\Delta Y_{г_p}$ и $\Delta Y_{в_p}$ с различной вероятностью ежегодного превышения, вычисленных через переходные коэффициенты K_{y_p} и K_{ω_p} (см. прил. 6—8).

3.4. Учет влияния орошения на годовой и весенний сток

Учет изменения стока в каждом конкретном случае должен выполняться в соответствии с характером обеспечения водоподачи в оросительные системы и водоотведения из них и типом регулирования водного режима почвы. В настоящее время известны три способа этого регулирования:

1) регулярное орошение, когда с помощью вегетационных поливов поддерживаются оптимальные влагозапасы в активном слое почвы (верхние 40 см) на протяжении всего периода вегетации сельскохозяйственных растений;

2) влагозарядковое (в том числе лиманное) орошение с глубоким разовым промачиванием почвогрунтов;

3) орошение по рисовым чекам, поддерживающее влагонасыщение, соответствующее полной влагоемкости в толще почвогрунтов.

Изменение годового стока и стока вегетационного периода в бассейне реки с развитым орошением определяется соотношением:

$$\Delta y = Q_{бр} - y_в \pm \Delta E\, f_{ор} 10^{-5}, \qquad (3.28)$$

где Δy в млн м^3; $Q_{бр}$ — суммарный водозабор (брутто) из источников орошения (река, водохранилище), определяемый недостатками водопотребления сельскохозяйственными растениями, способом полива и техническими параметрами оросительных систем, млн м^3; $y_в$ — сток возвратных вод от орошения, достигающий замыкающего створа на реке, млн м^3; $\Delta E'$ — изменение испарения в бассейне под влиянием замены дикорастущей растительности сельскохозяйственными культурами или замены сельскохозяйственных культур на площадях орошения, мм; $f_{ор}$ — площадь орошаемых земель, га.

Составляющая $\Delta E'$, имеющая место при замене дикорастущей растительности сельскохозяйственными культурами или при смене сельскохозяйственных культур на площадях орошения, равна разности испарения с них при естественном увлажнении. При сведении в бассейне зарослей влаголюбивой растительности, испарение с которой значительно превышало испарение с культурных угодий, величина $\Delta E'$ включается в уравнение (3.28) со знаком «минус».

Сток реки, служащей источником водообеспечения в другом бассейне, уменьшается на объем водозабора

$$\Delta y = Q_{бр}. \qquad (3.29)$$

При использовании вод других бассейнов или вод бессточных озер в данном бассейне, а также артезианских вод сток реки увеличивается на объем возвратного стока

$$\Delta y = y_в. \qquad (3.30)$$

В случае смешанного водообеспечения, когда для орошения в рассматриваемом бассейне используется местный и переброшенный сток, оценка изменения стока выполняется по формуле (3.28), в которой водозабор $Q_{бр}$ включает в себя только местные воды, а $y_в$ представляет собой сумму возвратных собственных и переброшенных вод.

Изменение стока реки при подаче воды из закрытой оросительной системы на орошение может быть определено по соотношениям:

для рек с грунтовым питанием

$$\Delta Y = \Delta E f_{\text{ор}} = \left[E_{\text{ор}} - (E_{\text{н. о}} - \Delta E_{\text{б}})\right] f_{\text{ор}} 10^{-5} + y_{\text{в}}, \qquad (3.31)$$

для рек без грунтового питания

$$\Delta Y = \Delta E f_{\text{ор}} = \left[E_{\text{ор}} - (E_{\text{н. о}} - \Delta E_{\text{б}})\right] f_{\text{ор}} 10^{-5}, \qquad (3.32)$$

где ΔE — изменение испарения в связи с распашкой водосбора и орошением сельскохозяйственных культур, мм; $E_{\text{ор}}$, $E_{\text{н. о}}$ — испарение соответственно с орошаемых и с неорошаемых сельскохозяйственных угодий, мм; $\Delta E_{\text{б}}$ — изменение испарения с сельскохозяйственных полей на богаре по сравнению с испарением с цены (залежи, луга), мм; $y_{\text{в}}$ — возвратные воды, млн м^3; $f_{\text{ор}}$ — площадь орошаемых сельскохозяйственных культур, га.

Для определения составляющих формул (3.28)—(3.30) используются материалы наблюдений и наиболее рациональные расчетные методики. Выбор методики в каждом конкретном случае должен определяться особенностями режима реки, типом водного режима почвы орошаемых угодий, техническими параметрами оросительных систем, задачами расчета и наличием исходных данных.

Способы определения большей части элементов расчетных методик изложены в публикациях, в том числе в инструктивно-методических документах. В монографии приведены только основные положения методов, нашедших отражение в методической литературе.

3.4.1. Учет влияния орошения на годовой сток. Влияние орошения на годовой сток учитывается по формулам (3.28)—(3.32). Для определения составляющих формул используются методы различной степени детальности в зависимости от наличия исходной информации (данные наблюдений сети Госкомгидромета СССР, Министерства геологии, Госагропрома СССР, материалы специальных ведомственных наблюдений и изысканий).

Водопотребление брутто $Q_{\text{бр}}$ на орошаемых площадях определяется по формуле:

$$Q_{\text{бр}} = 10^{-5} f_{\text{ор}} (M + M_{\text{нвг}} + \bar{z}_n) + z_0 + q, \qquad (3.33)$$

где M — оросительная норма, мм; $M_{\text{нвг}}$ — водопотребление на невегетационные поливы, мм; z_0 — потери в водопроводящей и водораспределительной сети, млн м^3; z_n — потери, обусловленные способом полива; q — холостые сбросы из каналов, млн м^3; $f_{\text{ор}}$ — площадь орошения, га.

Оросительная норма M на площадях регулярного орошения определяется как разность значений суммарного испарения на

орошаемом поле E и на том же поле при отсутствии орошения E':

$$M = E - E'. \tag{3.34}$$

Значения суммарного испарения оцениваются по результатам наблюдений на аналогичных участках орошаемого и богарного земледелия с помощью испарителей, лизиметров, методами теплового и водного балансов поля на опытных участках или в пунктах опорной сети Госкомгидромета СССР, Министерства геологии и др. При недостаточности или отсутствии наблюдений суммарное испарение рассчитывается тепловоднобалансовым методом [109] с использованием формул

$$E = \beta E_0 (W_н + W_к)/(2\gamma), \tag{3.35}$$

$$W_к = \{W_н[1 + \beta E_0/(2\gamma)] + X + K - I - y_п\}/[1 + \beta E_0/(2\gamma)], \tag{3.36}$$

где E_0 — испаряемость, мм; β — безразмерный эмпирический коэффициент, зависящий от вида растений и фазы их развития; $W_н$ и $W_к$ — продуктивные влагозапасы почвы на начало и конец расчетного интервала времени, мм; γ — продуктивные влагозапасы почвы при наименьшей влагоемкости, мм; X — атмосферные осадки с поправками на все виды недоучета, мм; K — подпитывание корнеобитаемого слоя почвогрунта, мм; I — инфильтрация за пределы корнеобитаемого слоя, мм; $y_п$ — поверхностный сток, мм.

Расчеты выполняются по декадам для каждого конкретного года расчетного многолетнего периода. Сезонные и годовые значения M определяются суммированием декадных.

Для оценки M могут использоваться упрощенные расчетные методики, разработанные применительно к конкретным регионам; биоклиматический метод [90] для территории Украины и Молдавии, метод гидролого-климатических расчетов [105] для юга Западной Сибири, Северного Казахстана и др.

При расчетах по формулам (3.34)—(3.36) основной энергетический показатель — испаряемость — рассчитывается комплексным методом ГГО [109] по формуле

$$E_0 = 0{,}69ND(e_s - e), \tag{3.37}$$

где E_0 — в мм; e_s — среднедекадное значение давления насыщенного водяного пара в зависимости от температуры испаряющей поверхности, гПа; e — среднедекадное парциальное давление водяного пара в воздухе, гПа; D — интегральный коэффициент турбулентной диффузии, см/с; N — число суток в расчетном периоде (декаде).

Интегральный коэффициент турбулентной диффузии D определяется по прил. 16.

Давление насыщенного водяного пара e_s при наличи наблюдений за температурой испаряющей поверхности T_s определяется по прил. 17.

В приближенных расчетах допускается определение E_0 по эмпирическим зависимостям этой величины от «условного» дефицита влажности воздуха. Расчетные таблицы для определения E_0 указанным методом приведены в работе [128] с дифференциацией по геоботаническим зонам страны. При расчете испаряемости по данным метеорологических станций, расположенных вне зоны влияния орошаемых территорий, необходим учет трансформации воздушной массы, происходящей под влиянием увлажнения подстилающей поверхности и защитных лесных насаждений на орошаемых землях. Для расчета трансформации могут быть использованы различные схемы. В первом приближении учет изменения испаряемости для крупных орошаемых массивов выполняется с помощью прил. 18. Влияние лесных полос учитывается по данным прил. 19. Переход от значений испаряемости с участков, не подверженных влиянию адвекции со стороны окружающей неорошаемой территории, к испаряемости в зоне краевого эффекта выполняется с использованием эмпирического коэффициента, зависящего от повторяемости направлений ветра различных румбов и длины его разгона над орошаемым полем [109].

Определение параметра β выполняется обратным путем по формуле (3.35) с использованием данных измерений суммарного испарения и влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы на орошаемых, богарных и естественных угодьях. При отсутствии наблюдений значения β находятся по обобщенным эмпирическим зависимостям этого параметра от сумм атмосферных осадков и влагозапасов на начало декады для различных фаз вегетации растений (прил. 20). Фаза вегетации устанавливается по методике, приведенной в прил. 21.

Влагозапасы $W_н$ и $W_к$ при расчетах по формуле (3.35) и коэффициент β оцениваются по данным служб эксплуатации оросительных систем или опорных пунктов сети Госкомгидромета СССР и Госагропрома СССР. При отсутствии наблюдений они рассчитываются по формуле (3.36) последовательно для каждой декады при заданных значениях $W_н$ на начало первой декады вегетационного периода по прил. 22. Продуктивные влагозапасы при наименьшей влагоемкости γ определяются по данным изысканий [51], по данным региональных справочников агрогидрологических свойств почв или приближенно в зависимости от типа почвы по прил. 23.

При использовании формулы (3.36) и прил. 20 в расчетах для орошаемых полей в значение X, кроме атмосферных осадков, включается значение текущей поливной нормы $M_т$, определяемой по формуле А. Н. Костякова [63]:

$$M_т = W_{нв} - W_{но}, \qquad (3.38)$$

где $M_т$ — в мм; $W_{но}$ — нижний уровень оптимального влагозапаса почвы, мм; $W_{нв}$ — наименьшая влагоемкость почвы, мм.

Значения $W_{НО}$ вычисляются по формуле

$$W_{НО} = \nu W_{НВ}, \tag{3.39}$$

где ν — коэффициент, определяемый по прил. 24.

Значения $W_{НВ}$ определяются аналогично величине γ.

Даты и нормы поливов устанавливаются по интегральной кривой значений $M_т$ в зависимости от техники полива [128].

Расчет поверхностного стока $Y_п$ с орошаемых полей выполняется приближенно по формулам для богарного земледелия [26, 27, 29] с введением переходного коэффициента 1,5.

Подпитывание корнеобитаемого слоя почвы за счет грунтовых вод K определяется по данным лизиметрических наблюдений, а в случае их отсутствия вычисляется по формуле [128]

$$K = E_0 \exp(-mH), \tag{3.40}$$

где H — среднедекадная глубина залегания грунтовых вод, м; m — параметр, определяемый по прил. 25.

Инфильтрация за пределы корнеобитаемого слоя I оценивается с использованием лизиметрических наблюдений. При отсутствии данных наблюдений эта величина определяется путем предварительного расчета значения $W_к$ по формуле (3.36) при условии, что инфильтрация отсутствует, и сравнения его с продуктивными влагозапасами при наименьшей влагоемкости. При $W_к > \gamma$ инфильтрация $I = W_к - \gamma$, при $W_к \leqslant \gamma$ инфильтрация $I = 0$.

Влагообмен почвогрунтов зоны аэрации с грунтовыми водами (K и I) может быть также вычислен по методике автора, изложенной в работах [23, 24, 26], как при наличии наблюдений за уровнем грунтовых вод в скважинах на орошаемом массиве, так и при их отсутствии. Метод предусматривает производить все расчеты по определению влагообмена грунтовых вод с почвогрунтами зоны аэрации непосредственно по изменению запаса грунтовых вод в отдельных пунктах (скважинах). Метод позволяет производить расчеты для любой фазы режима их уровня за периоды продолжительностью не менее 5 сут по формулам:

для подъема

$$W = 10\mu(\Delta H + \Delta H_з), \tag{3.41}$$

для понижения

$$W = 10\mu\,\Delta H(1 - 1/K), \tag{3.42}$$

для периода отсутствия колебаний

$$W = 10\mu\,\Delta H_з, \tag{3.43}$$

где W — приток грунтовых вод из зоны аэрации (со знаком «плюс») и отток грунтовых вод в зону аэрации (со знаком «минус»), мм; μ — коэффициент водоотдачи; ΔH — изменение уровня грунтовых вод за расчетный период, см; $\Delta H_з$ — изменение уровня грунтовых вод, вычисленное по графику связи $V_з = f(H)$ из ра-

бот [25, 26], где $V_з$ — скорость снижения уровня грунтовых вод в зимний период (по кривой истощения грунтовых вод) для заданного уровня грунтовых вод H; $K = V/V_з$ — коэффициент соотношения скоростей снижения уровня грунтовых вод в летний (расчетный) и зимний периоды.

Нормы невегетационных поливов $M_{нвг}$ в зависимости от уровня грунтовых вод и степени засоленности почвогрунтов включают в себя влагозарядковые и промывочные поливы, которые определяются в соответствии с работой [79] по результатам проектирования или по аналогии с существующими участками орошения.

Потери, обусловленные способом полива, $Z_п$ при дождевании определяются по данным измерения наземными дождемерами доли оросительной воды, подаваемой из дождевальных агрегатов и достигающей поверхности почвы и растений. При отсутствии специальных наблюдений величина $Z_п$ определяется по данным наблюдений на ближайшей метеоплощадке с использованием эмпирических зависимостей [90]. Потери на полях при поверхностных способах полива оцениваются в соответствии с работой [82]. В первом приближении коэффициенты полезного действия различных способов полива могут быть оценены по прил. 26.

Потери в водопроводящей и водораспределительной сети Z_0 и холостые сбросы из каналов q определяются по результатам проектирования [82] или приближенно по результатам обобщения опыта орошения в данном районе с установлением примерных значений КПД оросительной сети.

Водопотребление $Q_{бр}$ на площадях лиманного орошения определяется в зависимости от нормы орошения, обусловленной весенними влагозапасами в расчетном слое почвы. Ежегодные значения нормы лиманного орошения определяются в соответствии с работами [53, 141].

Водопотребление $Q_{бр}$ на рисовых оросительных системах оценивается по оросительной норме, которая определяется уравнением водного баланса рисовой карты в соответствии с работой [54].

Режим орошения и значения поливных и оросительных норм для культур, сопутствующих рису в севообороте, определяются по данным наблюдений за суммарным испарением или рассчитываются по методике, приведенной выше для условий регулярного орошения.

Суммарный сток возвратных вод $y_в$ включает в себя поверхностную и подземную составляющие. Поверхностная составляющая возвратных вод $y_{в_1}$ определяется по данным наблюдений на существующих оросительных системах. При отсутствии наблюдений эта величина оценивается по нормативам для оценки поверхностных сбросов, заложенным в конкретные проекты [82].

Подземная составляющая возвратного стока $y_{в_2}$ определяется расчетными методами. Расчеты выполняются методом водного баланса зоны аэрации и зоны грунтовых вод [79, 106], аналити-

ческими методами [92], методом гидрогеологической аналогии [58, 99], а также численного и аналогового моделирования [39, 83].

Расчет стока возвратных вод методом водного баланса дает наиболее надежные результаты при использовании материалов наблюдений, специально организуемых на орошаемых землях. При организации наблюдений должны учитываться допустимые погрешности определения составляющих для оценки грунтового оттока как остаточного члена уравнения водного баланса [106, 108]. В первом приближении допустимые погрешности могут быть оценены по прил. 27 [108]. При проектировании на стадии ТЭО для оценки суммарного возвратного стока с орошаемых земель за год рекомендуется формула [106]

$$y_в = Q_{бр} + [(X - X') + (Y_{пп} - Y'_{пп}) + (Y_{пг} - Y'_{пг}) - (E - E') - E_{вп} \pm \pm (\Delta V - \Delta V') - (E_{тр} - E'_{тр}) \pm (\Delta V_{тр} + \Delta V'_{тр})] f_{ор} 10^{-5}, \quad (3.44)$$

где $Y_{пп}$ и $Y_{пг}$ — приток поверхностных и подземных вод на водобалансовый участок, мм; X — осадки, мм; $Q_{бр}$ — суммарный водозабор, млн м^3; E, $E_{тр}$ и $E_{в.п}$ — суммарное испарение с поверхности участка и транзитной зоны и испарение с водной поверхности, мм; ΔV и $\Delta V_{тр}$ — изменение запасов влаги на участке и в транзитной зоне, включающее в себя их изменения в почвогрунтах, в зоне аэрации, в снеге и в местных понижениях, мм; штрихами отмечены элементы водного баланса того же участка и транзитной зоны при отсутствии орошения.

Расчеты по уравнению (3.44) выполняются для каждого конкретного года за многолетний период. Для определения суммарного испарения рекомендуется тепловоднобалансовый метод. Остальные составляющие определяются в соответствии с работой [106]. Характеристики почвогрунтов и водоносных пластов определяются по данным изысканий [51, 126] или принимаются приближенно по результатам исследований в аналогичных условиях.

Аналитические методы прогноза режима уровней грунтовых вод и расходов фильтрационного потока используются при решении относительно простых задач (прогнозы уровней грунтовых вод в зависимости от инфильтрации на полях и в отдельных крупных каналах, при расчетах систематического горизонтального и вертикального дренажа [53, 54, 83, 92], при составлении технических и рабочих проектов отдельных систем).

Методы гидрогеологической аналогии основаны на установлении зависимостей инфильтрационного питания (или грунтового оттока) от основных определяющих его факторов (гидрометеорологических характеристик, поливных норм, основных параметров водоносного пласта с учетом его границ, параметров водоупорных и покровных отложений, характера колебаний уровня подземных вод и т. д.) по данным натурных наблюдений на оросительных площадках и в естественных условиях [26, 58, 99].

Для расчета возвратного стока с площадей проектируемого орошения могут быть рекомендованы установленные по данным

наблюдений коэффициенты инфильтрационного питания грунтовых вод на полях ξ в зависимости от нормы орошения M и коэффициенты возвратного стока φ, отражающие изменение стока с орошаемых земель по пути его движения к водоприемнику. Формула для расчета годового стока возвратных вод имеет вид

$$Y_в = \varphi[Q_{бр}(1 - КПД_к) + (\xi\varepsilon M/КПД_с)]f_{ор}10^{-5}, \qquad (3.45)$$

где $Y_в$ — в млн м³; $КПД_к$ — коэффициент полезного действия оросительной сети; $КПД_с$ — коэффициент полезного действия способов полива; ε — коэффициент, отражающий наличие в толще водоносного горизонта глин, приводящих к образованию верховодки, при наличии глин $\varepsilon = 0{,}70$ [94].

Значения коэффициентов φ и ξ определяются по прил. 28 и 29 [94, 106].

При расчете изменения стока под влиянием орошения по формуле (3.28) для определения величины $\Delta E'$ рекомендуются методы измерения и расчета суммарного испарения с различных угодий на водосборах, приведенные в работе [111]. Для определения испарения с сельскохозяйственных угодий рекомендуется ранее изложенный тепловоднобалансовый метод. Расчеты изменения стока по формуле (3.28) должны выполняться на основе ежегодного совместного анализа стока и водозабора с использованием репрезентативного многолетнего периода, так как обеспеченность стока, в основном, не соответствует обеспеченности водопотребления сельскохозяйственных культур. Исходным стоковым рядом, относительно которого оценивается изменение, может являться (в зависимости от целей расчета) ряд естественного стока, ряд восстановленного стока, ряд измеренного (бытового) стока или стоковый ряд, полученный в результате прогноза изменения стока на заданные проектные уровни.

Асинхронность учитывается по методике, разработанной в УкрНИИ. Она основана на рассмотрении вероятностных характеристик распределения фактических хронологических сумм Z_t двух однородных случайно изменяющихся во времени величин M и y и их теоретических сумм — синхронной $Z_с$ (суммарной равнообеспеченной), асинхронной $Z_а$ и независимой суммы $Z_к$. Анализ однородности исходных рядов выполняется в соответствии с работой [41].

Влияние орошения на сток малых рек в практических расчетах может быть учтено на основе применения и других, косвенных, методов, достаточно подробно изложенных в работе [81].

3.4.2. Учет влияния орошения на весенний сток. Изменение стока половодья учитывается при осуществлении на водосборе регулирования водного режима почвы второго типа — позднеосенних и зимних влагозарядковых поливах под яровые культуры и при третьем типе — промывке засоленных почв. Расчет выполняется по методу, который широко используется для прогноза весеннего половодья [26, 111] и заключается в построении зависимостей стока половодий от обусловливающих его факторов, в том

числе от предвесеннего увлажнения, и в вычислении по этим зависимостям значений стока заданной обеспеченности (по наблюденному стоку) и значений стока для каждого конкретного года при повышенной влажности почвы (по наблюденным значениям влажности). Используются также графические зависимости или уравнения регрессии.

Региональные графические зависимости весеннего стока от определяющих факторов хранятся в зональных управлениях Госкомгидромета СССР. При отсутствии графиков для конкретных водосборов они строятся по данным наблюдений воднобалансовых станций или по данным сетевых наблюдений. Репрезентативность водосборов для получения территориально общих зависимостей оценивается с помощью специальных карт факторов весеннего стока [97].

Для зоны умеренно континентального климата, где оттепели и зимние дожди приводят к дополнительному увлажнению обычно слабопромерзших почв, устанавливается зависимость суммарного стока зимних паводков и весенних половодий от суммы запасов воды в снеге и осадков и от показателя увлажнения почвы $m_{вес}$, вычисляемого по уравнению баланса:

$$m_{вес} = m_{ос} + \sum_{1}^{n} (X + S_1 - S_2 - E), \qquad (3.46)$$

где $m_{ос}$ — индекс предзимнего увлажнения [111]; n — число декад с начала ноября до наступления основного паводка или половодья; X и E — декадные суммы осадков и испарения, мм; S_1 и S_2 — запасы воды в снеге на начало и конец расчетного интервала, мм.

В расчетах изменения стока открытых оросительных систем, особенно при разработке проектов реконструкции староорошаемых массивов, необходимо учитывать наличие препятствий для поверхностного весеннего стока, например, насыпных валов на трассах каналов и др. Их влияние учитывается умножением значения стока на коэффициент, значение которого, по данным специальных исследований, близко к 0,4—0,5.

Абсолютное изменение весеннего стока под влиянием орошения составляет

$$\Delta Y = (Y - Y') f_{ор}/F, \qquad (3.47)$$

где $f_{ор}/F$ — площадь влагозарядкового орошения в долях площади водосбора F; Y — сток с орошаемых площадей; Y' — сток при отсутствии орошения.

Относительное значение стока (коэффициент изменения) при $\Delta = Y/Y'$ определяется по формуле

$$K_{ор} = (\Delta - 1) f_{ор}/F + 1. \qquad (3.48)$$

Значение Y' устанавливается в соответствии с работами [26, 27, 100].

При выполнении приближенного расчета изменения весеннего стока рекомендуются следующие значения коэффициента Δ:

— для районов со сравнительно резким континентальным климатом, где зимние оттепели редки (зона орошения РСФСР и Северного Казахстана) Δ = 2,1, 3,3, 7,7 для средних по водности, маловодных и очень маловодных лет соответственно;

— для районов мягкого континентального климата (Молдавия, юг Украины) соответственно Δ = 1,2, 2,5, 2,5.

Влияние орошения на сток вегетационного периода учитывается в зависимости от вегетационного периода, зависящего от суммарной продолжительности периодов вегетации всех культур севооборота. Расчеты изменения стока выполняются по формуле (3.28), в которой все составляющие определяются для выбранной продолжительности периода с использованием изложенных ранее методов.

3.5. Учет влияния осушительных мелиораций на годовой и сезонный сток

При наличии информации о стоке и о стокоформирующих факторах и близкой водности периодов до и после осушения достоверные оценки изменения стока под влиянием осушительных мелиораций могут быть получены путем сопоставления данных, вычисленных по связям стока со стокоформирующими факторами за периоды до и после осушительных мелиораций, а также на основе исследований однородности гидрологических рядов [41].

Недостаточность комплексных воднобалансовых исследований на болотах и заболоченных землях, а также на осушенных территориях в различных природных зонах СССР привела к необходимости разработать рекомендации по учету влияния осушительных мелиораций в региональном аспекте [81].

3.5.1. Учет влияния осушения болот и заболоченных земель на сток рек Белоруссии. Изменение характеристик стока зависит от масштаба мелиорации и состава мелиорируемых почвогрунтов. Обобщенные данные о характере изменения стока в зависимости от доли легких почвогрунтов на мелиорированных землях на водосборе представлены в табл. 2.6. Принадлежность мелиорированного водосбора к той или иной группе определяется по данным изысканий или по данным почвенной карты с учетом веса соответствующих почвогрунтов в пределах осушаемых земель [81]. Каждой группе водосборов соответствует определенное изменение стока после осушения в виде осредненного модуля (табл. 2.7).

Деление группы I на подгруппы обусловлено характером регулирования стока прудами и малыми водохранилищами, для подгруппы I *а* характерно незначительное регулирование, а для подгруппы I *б* — значительное регулирование (площадь зеркала прудов $> 3\%$ площади водосбора реки). Деление группы III

обусловлено преобладанием лёссовидных суглинков в подгруппе III *а* и моренных суглинков и глин в подгруппе III *б*.

Расчет изменений стока в маловодные годы ($p = 75$ и 95 %) выполняется с учетом модульных коэффициентов (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Коэффициенты λ_p перехода от вероятности превышения $p=50$ % к другим значениям вероятности (числитель — 75 %, знаменатель — 95 %)

Характеристика стока	Группы (подгруппы) водосборов		
	I	III *а*	III *б*
Годовой	0,92/0,80	0,88/0,75	0,88/0,73
Весенний	—	0,85/0,71	—
Летне-осенний	0,83/0,78	—	0,80/0,67
Зимний	0,81/0,64	—	0,84/0,68

Влияние осушительных мелиораций на сток учитывается по формуле

$$\Delta Q_p = \pm 10^{-3} (\Delta M_p f_м) \lambda_p, \qquad (3.49)$$

где ΔQ_p — изменение расхода, м³/с; ΔM_p — изменение модуля стока, л/(с·км²) (см. табл. 27); $f_м$ — площадь мелиорации, км²; λ_p — коэффициент перехода от изменений M_p в средние по водности годы ($p = 50$ %) к изменениям в маловодные годы ($p = 75$ и 95 %).

3.5.2. Учет влияния осушения болот и заболоченных земель на сток малых рек Припятского Полесья Украины. В пределах этой части Украины при разработке схем расчета выделены два района: Волынское и Житомирское Полесье. Учет изменения годового и сезонного стока рекомендуется производить по данным табл. 3.4 и по уравнению

$$K_{изм} = K f_{ос} + C. \qquad (3.50)$$

Таблица 3.4

Параметры уравнения (3.50)

Характеристика стока	Волынское Полесье		Житомирское Полесье	
	K	*C*	*K*	*C*
Годовой	0,021	0,87	0,014	0,99
Весенний	0,017	0,91	0,028	0,88
Летне-осенний	0,099	0,44	0,019	0,95
Минимальный месячный	0,144	0,14	0,100	0,43

При этом начальный уровень мелиорированности водосборов, с которого начинает сказываться влияние осушения на сток, для Волынского Полесья принят равным 7 %, а для Житомирского Полесья —5 %; C — свободный член уравнения прямой линии связи $K_{изм} = f(f_{ос})$. Вычисленные значения $K_{изм}$ умножаются на средние значения соответствующих гидрологических характеристик, рассчитанные в соответствии с работами [91, 100].

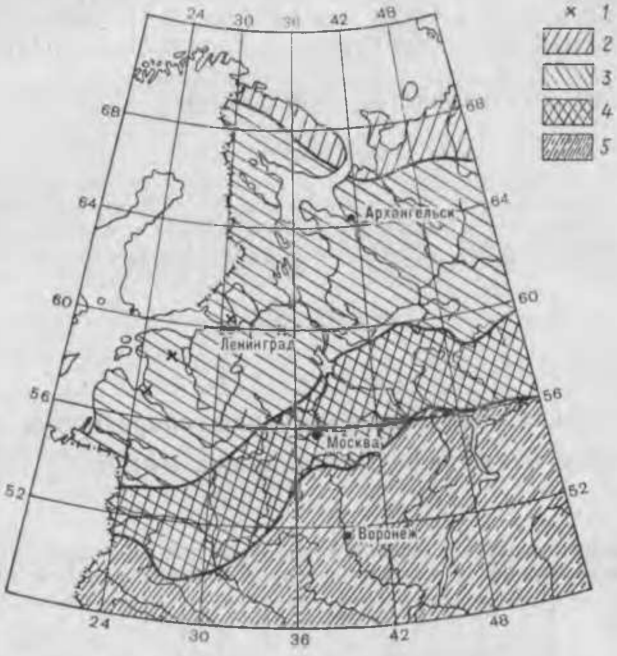


Рис. 3.4. Зоны болот европейской части СССР.

1 — специализированные болотные станции; *2* — бугристые олиготрофные, олиго-мезотрофные и олиго-евтрофные болота; *3* — выпуклые олиготрофные сфагновые болота; *4* — плоские евтрофные и мезотрофные осоково-гипновые и лесные болота; *5* — вогнутые евтрофные тростниковые и засоленные травяные болота.

3.5.3. Учет влияния осушения болот и заболоченных земель на сток малых рек в пределах северо-запада европейской части СССР. Для оценки изменения годового стока в результате осушения и освоения верховых болот под торфодобычу, а низинных под многолетние травы рекомендуется применять метод, основанный на учете изменений испарения с мелиорируемых площадей в теплый период года. Рекомендуемый метод позволяет выполнять расчет изменения среднего многолетнего испарения под влиянием осушения болот в зоне избыточного увлажнения (рис. 3.4) за отдельные месяцы (сезон) теплого периода года. Изменение испарения $\Delta E_{ос}$ количественно выражает изменение стока реки $\Delta \overline{Y}_{ос}$

под влиянием осушительных мелиораций на заболоченной части водосбора:

$$\Delta\overline{Y}_{oc} = \Delta\overline{E}_{oc} = f_{oc}(\overline{E}_e - \overline{E}_{oc}), \tag{3.51}$$

где $\overline{E}_e$, $\overline{E}_{oc}$ — соответственно испарение с неосушенных (естественных) и осушенных болот, мм; f_{oc} — площадь осушения в долях общей площади болот на водосборе.

Исходные материалы для расчета: карта распространения болот на европейской части Союза (рис. 3.4), многолетние данные наблюдений за температурой и влажностью воздуха по метеостанциям.

Испарение рассчитывается по формулам:

$$\overline{E}_e = \beta_1 m\overline{E}_{0_м}; \tag{3.52}$$

$$\overline{E}_{oc} = \beta_2 m\overline{E}_{0_м}; \tag{3.53}$$

$$\beta_1 = \overline{E}_e/\left(m\overline{E}_{0_м}\right), \qquad \beta_2 = \overline{E}_{oc}/\left(m\overline{E}_{0_м}\right); \tag{3.54}$$

$$m = \overline{E}_{0_б}/\overline{E}_{0_м}; \tag{3.55}$$

$$\Delta\overline{E}_{oc} = \beta_2/\beta_1 - 1, \tag{3.56}$$

где $\overline{E}_{0_м}$ — средняя многолетняя месячная испаряемость, определенная по данным ближайшей метеостанции, мм; $\overline{E}_{0_б}$ — та же вели-

Таблица 3.5

Изменение среднемесячного и сезонного испарения под влиянием осушения и освоения болот для северо-запада европейской части СССР

Тип болота	Характер освоения болот	$\bar{\beta}_1$	$\bar{\beta}_2$	$\frac{E_{0.б}}{E_{0.м}}$	$\Delta\overline{E}_{oc}$ %				
					VI	VII	VIII	IX	сезон
Верховое болото, грядово-мочажинный комплекс	Торфодобыча	0,86	0,95	1,02	—20	—10	1	—	—10
Окрайка верхового болота	Лесомелиорация	0,85	0,72	0,96	—11	14	22	22	12
Переходное	Сев многолетних трав	0,78	0,88	0,92	—9	2	—15	—30	—13
Низинное	То же	1,0	1,0	0,92	—13	—4	0	17	0
Окрайка низинного болота	Осушение	0,80	0,95	0,92	—44	—16	—1	—14	—19

Примечание: Изменение $\Delta\overline{E}_{oc}$ вводится в значения среднегодового стока с соответствующим знаком. Ввиду малой изменчивости β_1, β_2 и E_0 их можно использовать при расчете не только средних многолетних сумм испарения за теплый сезон, но и сумм испарения за отдельные годы.

чина, рассчитанная по данным болотной метеоплощадки, мм; m — коэффициент перехода от $\bar{E}_{0б}$ к $\bar{E}_{0м}$; β_1/β_2 — отношение измеренного испарения с поверхности болота с вычисленным соответственно для естественных и осушенных болот; $\beta_2/\beta_1 - 1$ — изменение испарения под влиянием осушения болот, %.

Месячная испаряемость E_0 определяется по эмпирическим графикам связи, согласно рекомендациям [109], по средним многолетним месячным значениям температуры и влажности воздуха. Изменения испарения болот под влиянием их осушения и освоения показаны в табл. 3.5 и 3.6. Для приближенных оценок испаряемости E_0 за июль—сентябрь используется карта [81], составленная для северо-запада Нечерноземной зоны РСФСР.

Таблица 3.6

Коэффициент перехода от суммарного испарения (числитель) и испаряемости (знаменатель) за апрель—октябрь с участков под многолетними травами к испарению и испаряемости с участков с различными сельскохозяйственными культурами K_c для Белоруссии и Украинского Полесья [136]

Культура	K_c	Культура	K_c
Яровые зерновые	1,05/1,04	Картофель	0,86/0,76
Капуста, сахарная свекла	0,97/0,90	Конопля	1,12/0,94
		Открытая почва	0,90/1,14
Кукуруза	1,00/0,91		

Примечание: $K_c = E_к/E_т$, где $E_к$ — искомое суммарное испарение или испаряемость с культуры; $E_т$ — известное суммарное испарение или испаряемость с многолетних трав.

Значение нормы годового стока для конкретного водосбора определяется по ряду непосредственных наблюдений за стоком, а при их отсутствии — по карте [100]. Методика учета влияния осушения болот на сток малых рек на данной основе может быть рекомендована для применения и в других районах европейской части СССР, где можно рассчитать $\Delta E_{ос}$.

3.6. Учет влияния урбанизированных территорий (УТ) на годовой и сезонный сток

При наличии данных о стоке выше и ниже УТ, заборах и сбросах воды на участке реки в пределах УТ годовые и сезонные значения восстановленного стока могут быть вычислены по уравнению

$$Q_в = Q_ф - \left(\sum_1^n Q_с - \sum_1^m Q_з \right), \qquad (3.57)$$

где $\sum_{1}^{n} Q_с$ и $\sum_{1}^{m} Q_з$ — суммарные расходы воды соответственно n водосбросов и m водозаборов, $Q_ф$ — бытовые расходы воды.

Учет влияния УТ на годовые и сезонные значения стока и определение их ежегодных вероятностей превышения могут быть выполнены путем сопоставления кривых распределения стока исследуемой реки и реки-аналога, построенных за периоды естественного (t) и нарушенного (t_1) водного режима по данным совместных наблюдений.

Восстановление нарушенного стока и определение годовых вероятностей его превышения выполняется по формуле

$$Q_в = K_{i_p} K_{макс} Q_{макс}, \tag{3.58}$$

где $Q_в$ — восстановленный годовой сток за период t_1, $K_{i_p} = Q_i/Q_{макс}$ — модульный коэффициент отдельно взятого года вероятностью превышения p %, снятый с осредненной эмпирической кривой распределения стока реки-аналога за период t_1; $K_{макс}$ — отношение наибольшего расхода воды реки-аналога за период t_1 к наибольшему расходу воды реки-аналога за период t; $Q_{макс}$ — наибольший расход воды реки-аналога за период t_1.

При наличии гидрометеорологических данных и результатов специальных исследований изменения годового и сезонного стока с УТ можно рассчитать, сопоставляя гидрометеорологические элементы на естественных и урбанизированных водосборах по уравнению

$$\Delta Y = f_{УТ}(\bar{X}_1\bar{\alpha}_1 - \bar{X}\bar{\alpha}) + \bar{Y}\gamma_п(\bar{X}_1 f_{пр} - \bar{X} f_{непр})/X + Y_{пер}, \tag{3.59}$$

где $\bar{X}$ и $\bar{X}_1$ — атмосферные осадки, выпадающие до и после урбанизации, $\bar{\alpha}$ и $\bar{\alpha}_1$ — средние коэффициенты поверхностного стока до и после урбанизации; $f_{УТ}$ — доля УТ в площади водосбора; $\bar{Y}$ — норма (или годовые значения) поверхностного и подземного сезонного стока; $\gamma_п$ — удельный вес подземного стока; $f_{пр}$ и и $f_{непр}$ — доля водосбора, приходящаяся на проницаемую и непроницаемую площадь УТ; $\bar{Y}_{пер}$ — сток, обусловленный переброской воды и сбросом не дренируемых в естественных условиях вод в реку; все значения X и Y приводятся в миллиметрах.

Значения $\bar{X}_1$ и $\bar{X}$ определяются по данным метеостанций, расположенных на УТ и за их пределами.

Коэффициенты стока с проницаемых и относительно не проницаемых участков УТ выбираются из табл. 3.7, при этом следует иметь в виду, что в случаях вывоза снега за пределы крупных УТ фактические коэффициенты стока в холодный период года могут быть значительно ниже приведенных в табл. 3.7 [56, 59].

Средний коэффициент стока с УТ вычисляется по формуле

$$\bar{\alpha}_1 = (\bar{\alpha}_{непр} f_{непр} + \bar{\alpha}_{пр} f_{пр})/(f_{непр} + f_{пр}), \tag{3.60}$$

где $\bar{\alpha}_{непр}$ — средний коэффициент стока с непроницаемой поверх-

Таблица 3.7

Осредненные значения коэффициентов годового и сезонного стока для различных поверхностей в районах с неустойчивым снежным покровом или его отсутствием [69]

Поверхность	α
Кровля и асфальтобетонные покрытия дорог	0,95
Брусчатые мостовые и черные щебеночные покрытия дорог	0,60
Булыжные мостовые	0,45
Щебеночные покрытия, не обработанные вяжущими материалами	0,40
Гравийные садово-парковые дорожки	0,30
Грунтовые поверхности (спланированные)	0,20
Газоны	0,10

ности УТ, $f_{\text{нпр}}$, $f_{\text{пр}}$ — непроницаемая и проницаемая площадь УТ, км^2.

В отдельных случаях сезонные коэффициенты стока с проницаемых участков УТ могут быть приняты по аналогии с естественными ландшафтами. Для естественных водосборов коэффициенты стока находятся методом аналогии, а при отсутствии аналогов — по картам изолиний коэффициентов стока, опубликованным в официальных документах Госкомгидромета СССР [100], с введением (путем умножения) поправки на площадь водосбора из табл. 3.8. Подземное питание определяется по картам изолиний подземного стока в реки.

Таблица 3.8

Поправки для расчета коэффициентов годового и сезонного стока, определяемых по картам

Площадь водосбора, км^2 . . .	10	30	50	100	200
Поправка	2,6	1,9	1,7	1,3	1,0

При отсутствии повышения атмосферных осадков над УТ, незначительности подземного питания рек, переброс стока и сброса недренируемых вод изменение стока определяется по формуле

$$\Delta Y = (\bar{\alpha}_1/\bar{\alpha}) Y f_{\text{УТ}} = K_1 \bar{Y} f_{\text{УТ}}. \qquad (3.61)$$

Величина K_1 находится в прямой зависимости от доли площади УТ, занятой непроницаемыми участками (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Соотношение средних коэффициентов годового и сезонного стока для УТ и неурбанизированного водосбора в зависимости от площади водонепроницаемых участков УТ

Доля непроницаемых площадей . . .	0	0,05	0,10	0,20	0,30
K_1	1,00	1,15	1,30	1,55	1,80

3.7. Учет влияния прудов и водохранилищ на годовой и сезонный сток рек

Влияние прудов и водохранилищ может быть учтено двумя методами. Первый метод используется при наличии сведений о прудах и водохранилищах в речном бассейне и об их заполнении. При этом ежегодные изъятия $W_д$ из объема естественного стока принимаются равными полному объему всех прудов и водохранилищ (при отсутствии в них воды) или полезному объему (если там сохранился мертвый объем) и вычисляются по выражениям: $W_д = W_{НПУ} - W_{УМО}$ или $W_д = KW_{полн}$, где $W_{НПУ}$ — объем воды в пруду или водохранилище при нормальном подпорном уровне, $W_{УМО}$ — мертвый объем воды, $W_{полн}$ — полный объем воды в пруду (водохранилище), K — коэффициент сработки (доля ежегодно срабатываемого объема в полном объеме водоема), приближенные его значения приведены выше.

Недостаток этого метода заключается в том, что он не учитывает возможного повторного в течение года наполнения прудов (водохранилищ). Для рек юга и юго-востока европейской части СССР и Казахстана пруды и водохранилища наполняются, как правило, 1 раз в период весеннего половодья, на реках западных районов европейской части СССР пруды и небольшие водохранилища наполняются в среднем дважды в год. Поэтому данный метод дает наилучшие результаты в засушливых районах, где летние паводки практически отсутствуют. При наличии сведений о повторном заполнении водоемов это должно учитываться в расчетах путем прибавления к потерям дополнительного количества воды.

Погрешность расчетов составляет в среднем 30 % и зависит от надежности данных об искусственных водоемах (площадь и объем заполнения прудов и водохранилищ, сведения о повторных заполнениях во время дождевых паводков, дата ввода в эксплуатацию водоемов или разрушение плотин и т. д.).

Второй метод применяется при отсутствии или недостаточности сведений о морфометрических характеристиках прудов и водохранилищ. Он основан на учете потерь на дополнительное испарение с поверхности водоемов. Абсолютное их значение переменно во времени и определяется комплексом климатических условий. Дополнительное испарение ΔE представляет собой разницу между испарением с водной поверхности зеркала водохранилища (пруда) $E_в$ и испарением с суши в пределах зоны затопления $E_с$: $\Delta E = E_в - E_с$.

Величины $E_в$ и $E_с$ для отдельных речных бассейнов определяются либо по фактическим измерениям — при наличии данных, либо рассчитываются по общим и региональным картам, специальным рекомендациям и указаниям [21, 109, 127] при отсутствии данных. Норма слоя дополнительного испарения может быть определена по картам изолиний (прил. 30 и [81]).

Объем потерь $W_д$ вычисляется по формуле

$$W_д = F_э \Delta E 10^{-3}, \tag{3.62}$$

где $F_э$ в км², ΔE в мм/год, $W_д$ в млн. м³.

Площадь затопленной территории $F_э$ определяется как разность между средневзвешенной площадью водного зеркала $F_в$ водохранилища (пруда) за время его наполнения и сработки и площади водной поверхности русла реки $F_р$ в естественных условиях в период летней межени:

$$F_э = F_в - F_р. \tag{3.63}$$

В случае когда $F_р < 0{,}1 F_в$, площадь водной поверхности русла реки в формуле (3.62) не учитывается.

Для значительных водохранилищ $F_в$ и $F_р$ определяются по проектным данным, а для небольших водохранилищ и прудов в расчет можно включать только площадь водного зеркала искусственного водоема. Такое допущение в некоторой степени компенсирует потери на повышенное испарение с зоны затопления и подтопления.

Слой дополнительного испарения различной вероятности превышения ΔE_p при наличии исходных данных может быть вычислен путем статистической обработки ежегодных значений ΔE, $E_в$ и $E_с$ по формулам:

$$\Delta E_p = E_{в100-p} - E_{с_p}, \tag{3.64}$$

$$\Delta E_p = E_{в100-p} - X_p - Y_{с_p}, \tag{3.65}$$

где X_p — осадки.

Обратная связь обеспеченностей стока и испарения с водной поверхности объясняется тем, что в годы с неблагоприятными для стока условиями (высокая температура воздуха, небольшое количество осадков) условия для испарения с водной поверхности, напротив, весьма благоприятны.

В случае отсутствия исходных данных обеспеченные значения дополнительного испарения рекомендуется определять по приближенной формуле

$$\Delta E_p = \lambda \overline{E}_в - \overline{E}_с, \tag{3.66}$$

где $\overline{E}_в$ — среднее многолетнее годовое испарение с водной поверхности; $\overline{E}_с$ — среднее многолетнее испарение с поверхности суши; λ — переходный коэффициент, определяемый по табл. 3.10.

Таблица 3.10

Коэффициенты перехода от значений $\overline{E}$ к значениям E_p

p %	1	3	5	10	25	50	75	90	95	97	99
λ	0,75	0,79	0,82	0,85	0,91	1,00	1,09	1,15	1,18	1,21	1,25

Исследованиями УкрНИИ было показано, что испарение с затопляемых участков суши в годы различной вероятности превы-

шения мало меняется. Поэтому в целях упрощения расчета дополнительного испарения в формуле (3.65) испарение с суши $\bar{E}_c$ принимается во всех случаях равным среднему многолетнему значению.

Для перехода от средних многолетних значений испарения с водной поверхности к обеспеченным значениям рекомендуется пользоваться модульными коэффициентами, значения которых приведены в табл. 3.10. Более точно эти данные определяются по соответствующим справочникам по водным ресурсам или по фактическим данным.

Таким образом, для учета изменений речного стока под влиянием прудов и водохранилищ вторым методом необходимо установить суммарную площадь зеркала искусственных водоемов и объем стока исследуемой реки. Последний может быть определен либо по данным наблюдений, либо по карте модулей или слоев стока для неизученных рек [100]. Далее, по картам (см. прил. 30 и [81]) определяется средний слой дополнительного испарения, а по формуле (3.62) вычисляется объем потерь стока на дополнительное испарение с площади зеркала прудов и водохранилищ.

Суммарные безвозвратные потери речного стока, обусловленные созданием прудов и водохранилищ, $W_{д.\,сум}$ складываются из дополнительных потерь на испарение и безвозвратного водопотребления на хозяйственные нужды. Безвозвратное водопотребление — это разность между водозабором из водохранилищ и сбросом воды в реку.

Ниже приводятся некоторые виды водозаборов:

— на обводнение пастбищ и орошение полей при отсутствии фактического учета (учет по размерам обводняемых и орошаемых площадей и средним поливным нормам в $м^3$/год за сезон);

— на промышленное и городское водоснабжение (учет по фактическим данным о водозаборе);

— на сельскохозяйственное водопотребление без орошения и обводнения (учет по фактическому использованию воды).

Степень регулирования стока половодья, паводков или межени прудами и водохранилищами зависит от соотношения между суммарным регулирующим объемом искусственных водоемов и объемом речного стока за рассматриваемый сезон.

Влияние прудов и водохранилищ на объем весеннего половодья за конкретный год и среднее за многолетний период учитывается либо в соответствии с рекомендациями п. 3.7 по объему наполнения водоемов, либо по результатам исследований связи (2.44) в п. 2.6 через поправочные коэффициенты к карте слоя стока весеннего половодья [100]. Последние вычисляются по формулам (2.45)—(2.47).

Влияние водоемов на объем летнего паводочного стока учитывается по объему наполнения или по расчету дополнительного испарения в зависимости от наличия исходных данных.

Влияние прудов и водохранилищ на меженный сток проявляется в уменьшении меженного стока постоянно действующих во-

дотоков за счет увеличения потерь воды на дополнительное испарение, транспирацию и хозяйственные нужды. Однако в зависимости от типа плотин и их местоположения, а также характера режима попусков на отдельных участках реки сток может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Пруды и водохранилища, которые строятся на временно действующих водотоках, оказывают положительное влияние на низкий сток, т. е. сток межени благодаря его внутригодовому перераспределению возрастает.

Основная трудность оценки влияния на меженный сток заключается в выделении части меженного стока, идущей на аккумуляцию в водоемах, $W_{д.меж.}$ Наиболее точно этот объем может быть определен по данным наблюдений за стоком реки, а также по уровенному режиму в прудах (водохранилищах) в меженный период и по кривым объемам. Влияние учитывается по формулам (2.42) и (2.43).

3.8. Учет влияния на сток малых рек всех видов хозяйственной деятельности

Влияние на водные ресурсы малых рек всех видов хозяйственной деятельности на водосборе характеризуется алгебраической суммой значений изменений годового стока под влиянием каждого отдельного вида:

$$\Delta Y = \Delta Y_{п} + \Delta Y_{л} + \Delta Y_{ор} + \Delta Y_{ос} + \Delta Y_{ак} + \Delta Y_{ут} + \Delta Y_{вз}, \quad (3.67)$$

где $\Delta Y_{п}$ — изменение стока вод влиянием распашки, агротехнических мероприятий и полезащитного лесоразведения на водосборе; $\Delta Y_{л}$ — изменение стока под влиянием лесохозяйственных мероприятий; $\Delta Y_{ор}$, $\Delta Y_{ос}$ — изменение стока под влиянием орошения сельскохозяйственных полей и осушительных мелиораций; $\Delta Y_{ак}$ — изменение стока под влиянием русловых аккумуляций (пруды и малые водохранилища); $\Delta Y_{ут}$ — изменение стока под влиянием урбанизированных территорий (строения и дороги); $\Delta Y_{вз}$ — изменение стока под влиянием водозабора.

Формула (3.67) учитывает влияние тех видов хозяйственной деятельности, для которых разработаны методики по учету их влияния в практических расчетах, и дает наглядное представление о размерах изменений (уменьшении или увеличении) стока под влиянием каждого отдельного вида хозяйственной деятельности на водосборе реки, что позволяет осуществлять на практике регулирование этих изменений с учетом рационального использования водных ресурсов и их охраны, не снижая при этом экономического эффекта от использования вод (валовой сбор сельскохозяйственной продукции, сохранение оптимальных условий водоснабжения населения, лесозаготовок и пр.).

Регулирование изменений стока под влиянием отдельных видов хозяйственной деятельности основано на вариантных расче-

тах по формулам, рекомендованным в соответствующих разделах монографии.

Для применения вышеизложенной методики и рекомендаций необходима картографическая основа, масштаб которой соответствовал бы решению практических задач.

К ней следует отнести:

1. Топографические и гипсометрические карты, позволяющие определить площадь угодий (сельскохозяйственных полей, леса, лесных полос, мелиорируемых участков полей, лесов и болот, городской и сельской застройки, железных дорог и шоссе), уклоны склонов в пределах существующих угодий и планируемых в связи с дальнейшим агролесомелиоративным освоением земель, урбанизацией и т. д.; топографические крупномасштабные карты, позволяющие определять площадь с разными уклонами и длинами склонов в пределах участков водосборов с преобразованным стоком.

2. Планы сельскохозяйственных угодий и лесоэксплуатационных характеристик, иногда необходимые для уточнения на старой топографической основе планового расположения угодий в пределах водосборов малых рек. Схемы и планы расположения площадей, планируемых под орошение, осушение, застройку (городскую и сельскую).

3. Почвенные карты, по которым производится районирование угодий по механическому составу почвогрунтов с разделением их хотя бы на две группы — преобладающие суглинистые и преобладающие супесчаные.

4. Гидрогеологические карты для определения глубины залегания грунтовых вод (мощности зоны аэрации), фильтрационных характеристик.

5. Планы расположения водохранилищ и прудов на водосборах рек.

Масштаб картографической основы выбирается в зависимости от размера объекта (склон, угодье, участок, зеркало водохранилища, пруда, водосбор), а также от точности решения поставленной задачи.

4. Исследование влияния хозяйственной деятельности на максимальный и минимальный сток

Наряду с проведением исследований по оценке и учету влияния различных видов хозяйственной деятельности на годовой и сезонный сток малых рек страны в последнее время, особенно с 1980 г., стали уделять внимание изучению антропогенного влияния на максимальный и минимальный сток. Однако это внимание проявлялось неравномерно. Если оценке влияния леса на максимальный и минимальный сток посвящено довольно много работ, то влияние агротехнических мероприятий, орошаемого земледелия, осушительных мелиораций, урбанизации и русловых аккумуляций (пруды, прудокопани) на данные характеристики получает освещение только в самое последнее время. Особенно это касается стока малых рек.

Бесхозяйственное использование водных ресурсов малых рек основано на априорно существовавшем мнении о несущественном влиянии хозяйственной деятельности на упомянутые характеристики стока. Кроме того, очень слабая гидрологическая изученность малых рек существенно затрудняет разработку методик по оценке и учету влияния хозяйственной деятельности. Решение комплекса проектных задач с учетом рационального использования водных ресурсов и их охраны привело к необходимости разработки методик по оценке и учету антропогенного влияния на максимальный и минимальный сток малых рек при отсутствии или недостаточности гидрологических наблюдений на них на основе работ [91, 100].

На данном этапе результаты выполненных исследований, возможно, еще несовершенны и достоверность оценки еще не достаточно высока, однако они позволяют оценить предел антропогенного влияния при решении практических задач.

4.1. Оценка и учет влияния агротехнических и лесохозяйственных мероприятий на максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков

4.1.1. Влияние агротехнических мероприятий на максимальный сток весеннего половодья. Оценка этого влияния на максимальный объем, слой и на максимальные расходы воды проводилась по методике, основанной на законе географической зональности, в частности, по карте слоя весеннего стока. Разработана поправка в карте для водосборов с распаханностью, отличающейся от средней по водосборам, принятым за основу для по-

строения этой карты. Сопоставление измеренных значений слоя весеннего стока на водосборах с азональной распаханностью со значениями слоя стока, определенными по карте, позволяет вычислить поправку к карте в зависимости от фактической распаханности бассейна.

Методика введения поправок, учитывающих влияние агротехнических мероприятий на сток малых рек с водосборами площадью >200 км^2, разработана для районов лесостепной и степной зон. Поправки определяются по формуле

$$\pm \Delta h_p = 0{,}01\, \Delta \bar{y}_{\text{п}} K_{y_p} (h_0/K), \qquad (4.1)$$

где $\pm\Delta h_p$ — поправка к слою стока за весеннее половодье, вычисленному по рекомендациям работы [100], мм; h_0 — средний слой весеннего стока, определенный по карте, мм; $\Delta\bar{y}_{\text{п}}$ — изменение слоя весеннего стока под влиянием агротехнических мероприятий, %; K_{y_p} — переходный коэффициент от поправки в средние по водности годы к поправкам в годы с различной ежегодной вероятностью превышения (см. прил. 6); K — коэффициент перехода от склонового к суммарному стоку в русле реки (прил. 31), для рек с постоянным стоком $K = 1{,}0$.

Величина $\Delta\bar{y}_{\text{п}}$ вычисляется по формуле

$$\pm \Delta \bar{y}_{\text{п}} = 0{,}01\, \Delta y_{\text{п}} (F_{\text{п}} - f_{\text{п}}), \qquad (4.2)$$

где $\Delta y_{\text{п}}$ — возможное уменьшение слоя весеннего стока при полностью распаханном водосборе, определяется отдельно для временных водотоков и для рек с постоянным стоком (прил. 32, 33); $F_{\text{п}}$ — средняя распаханность водосборов в пределах исследуемого района на период построения карты слоя весеннего стока, % [81]; $f_{\text{п}}$ — фактическая распаханность водосбора, %.

Погрешность вычисления поправок к карте по формуле (4.1) составляет в среднем $\pm$15—20 % величины Δh_p.

На реках с водосбором <200 км^2 максимальный объем (слой) половодья по карте вычисляется с большими погрешностями, достигающими 25—50 %, так как эта карта построена по данным наблюдений за стоком в основном средних и больших рек. Поэтому в дополнение к работе [100] для более точного вычисления весеннего стока на склонах и малых водотоках с учетом влияния агротехнических и других мероприятий на водосборе была разработана методика дифференцированного учета склонового стока с различных элементов подстилающей поверхности с последующим его интегрированием по площади водосбора.

Методика расчета весеннего стока малых водотоков основана на анализе данных по склоновому стоку на стоковых площадках и малых логах воднобалансовых станций и ГМО, расположенных в различных природных зонах страны.

За основу принята зависимость вида

$$\alpha = y/(S + x) = f(U_{0-100},\ \textstyle\sum(-t),\ \text{П},\ \text{М},\ l), \qquad (4.3)$$

где α — коэффициент зимне-весеннего стока; y — склоновый сток; $S + x$ — максимальные снегозапасы и жидкие осадки за период склонового стока U_{0-100} — влагозапасы в метровом слое почвы в период, предшествующий снеготаянию и стоку; $\sum(-t)$ — сумма отрицательных значений температуры воздуха от даты устойчивого перехода ее значений через нуль до 1 января или до середины февраля для степной зоны европейской части СССР, т. е. за период наибольшей цементации почвогрунтов перед началом стока; П — характер подстилающей поверхности (з — залежь, степь, целина; п — пашня, л — лес); М — механический состав почвогрунтов с разделением их на супесчаные и легкосуглинистые почвы (сп), суглинистые и тяжелосуглинистые почвы (сг); I — уклон склона, ‰.

В качестве примера зависимость указанного вида для целинных и распаханных склонов приведена в гл. 2 и в работе [26]. Зависимость представляет собой множественную нелинейную корреляцию трех переменных величин:

$$\alpha_{\text{п}} = f(U_t,\ I), \tag{4.4}$$

где U_t — показатель, характеризующий степень увлажненности в метровом слое и промерзаемости почвогрунтов в период, предшествующий стоку; остальные обозначения прежние.

На основе упомянутых интерполяционных зависимостей можно определить коэффициент склонового стока на угодьях в диапазонах уклонов, не освещенных данными измерений. В табл. 4.1 приведены коэффициенты весеннего стока с различных угодий (целина, пахота, лес) в пределах каждой природной зоны в зависимости от характеристик почвогрунтов и уклонов склонов. Приведенные данные рекомендуются в качестве расчетных. При пользовании таблицами следует иметь в виду, что рекомендации относятся к склонам, распаханным под зябь обычным способом, т. е. с глубиной $\leqslant 22$ см. Поэтому для склонов с глубиной вспашки > 22 см необходимо принятое по таблицам значение коэффицента стока $\alpha_{\text{п}}$ разделить на коэффициент 1,5, а для склонов с глубокой вспашкой (25—37 см) и с устройством противоэрозионных мероприятий (валики, перемычки, ступенчатая и комбинированная вспашка и т. п.) — на коэффициент 1,7. Об этом убедительно свидетельствуют результаты экспериментальных исследований в производственных условиях, обобщенные в работах [8, 10, 124, 125].

Расчет водопритока в искусственный водоем (пруд, прудокопань, копань) за счет склонового стока производится в следующей последовательности:

1. Определяется площадь угодий на водосборе с учетом разновидности почвогрунтов (супесчаные, суглинистые) в долях общей площади водосбора.

2. Вычисляется средневзвешенный уклон склонов участков с супесчаными ($f_{\text{сп}}$) или суглинистыми ($f_{\text{сг}}$) почвогрунтами на каждом угодье (залежь, пахота, лес). Уклон определяется по

Таблица 4.1

Коэффициенты среднего многолетнего весеннего склонового стока с залежи или целины ($\alpha_з$), пашни ($\alpha_п$) и леса ($\alpha_л$)

Характеристика	Уклон склона, ‰										
	5	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
Лесная зона, супесчаные / суглинистые почвогрунты											
$\alpha_з$		0,07 / 0,11	0,13 / 0,20	0,18 / 0,28	0,22 / 0,34	0,26 / 0,40	0,30 / 0,44	0,37 / 0,51	0,43 / 0,56	0,55 / 0,65	— / 0,70
$\alpha_п$		0,05 / 0,09	0,11 / 0,18	0,15 / 0,26	0,19 / 0,32	0,23 / 0,38	0,27 / 0,41	0,33 / 0,48	0,40 / 0,54	0,52 / 0,62	— / 0,69
$\alpha_л$		0,01 / 0,00	0,02 / 0,02	0,04 / 0,06	0,06 / 0,10	0,08 / 0,12	0,11 / 0,18	0,16 / 0,27	0,21 / 0,35	0,35 / 0,51	— / 0,58
Лесостепная зона, суглинистые почвогрунты											
$\alpha_з$		0,13	0,24	0,33	0,41	0,46	0,52	0,61	0,67	0,78	0,83
$\alpha_п$		0,10	0,19	0,27	0,34	0,38	0,43	0,51	0,57	0,69	0,76
$\alpha_л$		0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,10	0,26	0,37
Степная зона европейской части СССР (суглинистые почвогрунты)											
$\alpha_з$		0,13	0,24	0,33	0,41	0,46	0,52	0,61	0,67	0,78	0,8
$\alpha_п$		0,07	0,15	0,20	0,26	0,32	0,37	0,45	0,52	0,61	0,6

Степная зона Северного Казахстана: супесчаные и легкосуглинистые / суглинистые и среднесуглинистые почвогрунты							
$\alpha_з$	0,07 / 0,10	0,13 / 0,16	0,21 / 0,23	0,25 / 0,27	0,30 / 0,30	0,32 / 0,32	0,34 / 0,34
$\alpha_п$	0,04 / 0,03	0,07 / 0,08	0,15 / 0,21	0,17 / 0,15	0,22 / 0,17	0,24 / 0,19	0,26 / 0,20

крупномасштабным картам в соответствии с существующими для этих целей рекомендациями.

3. Вычисляется средневзвешенный коэффициент склонового стока (притока)

$$\bar{\alpha} = (\alpha_з f_{сп} + \alpha_з f_{сг} + \alpha_п f_{сп} + \alpha_п f_{сг}) K_{лсп} + \alpha_л f_{сп} + \alpha_л f_{сг} + \alpha_г f_г, \quad (4.5)$$

где $\alpha_з$, $\alpha_п$, $\alpha_л$, $\alpha_г$ — коэффициенты склонового стока соответственно с залежи, пахоты, леса и с гидрографической сети (прирусловые склоны) (см. табл. 4.1); f — площадь угодий с различными почвогрунтами в долях площади водосбора; $K_{лсп}$ — коэффициент снижения склонового стока под влиянием лесных полос на водосборе реки или искусственного водоема.

$$K_{лсп} = 1 - 0{,}01 K_{р.п} f_{лсп}, \quad (4.6)$$

где $f_{лсп}$ — площадь под лесными полосами в процентах площади водосбора; $K_{р.п}$ — коэффициент, принимаемый равным при пере-

крестном расположении лесных полос на водосборе 1,0, а при расположении поперек склона —1,4; во всех случаях $\alpha_г = 0{,}7...$ 0,8 [61, 75].

При наличии рекомендаций по вычислению склонового стока с болот и заболоченных земель расчет средневзвешенного значения можно производить и на заболоченных водосборах.

4. Определяется средневзвешенное значение максимальных запасов воды в снеге и осадков $\overline{S+x}$ в период склонового стока на водосборе:

$$\overline{S+x} = (\overline{S+x})_з f_з + (\overline{S+x})_п f_п + (\overline{S+x})_л f_л + (\overline{S+x})_г f_г, \quad (4.7)$$

где $f_з$, $f_п$, $f_л$, $f_г$ — площади угодий на водосборе соответственно под целиной, пашней, лесом и гидрографической сетью. При отсутствии крупномасштабных планов или карт площадь $f_г$ может быть ориентировочно принята в размере 30 % площади водосбора, не освоенной сельским хозяйством [75].

Максимальные запасы воды в снеге S на участках определяются по карте с учетом переходных коэффициентов от снегозапасов на преобладающем ландшафте к другим ландшафтам.

Жидкие осадки x в период снеготаяния и склонового стока невелики и определяются по прил. 11.

Вычисление общего склонового стока заданной обеспеченности в реку или в искусственный водоем производится по формуле

$$V_p = 10^3 \overline{\alpha} \lambda_p F (\overline{S+x}), \quad (4.8)$$

где λ_p — коэффицент перехода от средних значений слоя весеннего стока к слоям стока различной обеспеченности, остальные обозначения прежние.

Коэффициенты λ_p вычислены на основе кривых обеспеченности слоя весеннего стока, построенных по данным стоковых площадок и малых водотоков в пределах воднобалансовых станций, и обобщены по природным зонам (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Коэффициенты перехода λ_p от средних многолетних значений слоя весеннего стока к слоям стока различной обеспеченности

Природная зона	Обеспеченность, %					
	1	2	10	20	75	95
Лесная	3,5	2,5	2,0	1,5	0,5	0,2
Лесостепная	4,0	3,0	2,0	1,5	0,3	0,1
Степная европейской части СССР и Северного Казахстана	6,5	3,5	2,5	1,8	0,1	0,0

Суммарный объем стока на малых водотоках с площадью водосборов <200 км^2 вычисляется по формуле (4.8) с введением

в расчет дополнительного коэффициента

$$V_p = 10^3 \alpha \lambda_p K F (\bar{S} + \bar{x}). \quad (4.9)$$

Коэффициент K представляет собой отношение фактического (полного) стока реки к склоновому стоку с водосбора, вычисленному по формулам (4.5)—(4.8). Числовые значения коэффициента получены для всех водотоков в пределах воднобалансовых станций и ГМО, расположенных в лесной, лесостепной и степной зонах европейской части СССР и степной зоне Северного Казахстана. Обобщенные значения коэффициентов перехода от объема (слоя) склонового стока к полному стоку с водосбора приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Коэффициенты перехода от склонового стока к полному русловому на водосборах с $F < 200$ км²

Природная зона	Средний уклон склонов на водосборе, ‰	Обеспеченность, %		
		1	5	50
Лесная	>80	1,0	1,0	1,9
	<80	1,6	1,8	3,0
Лесостепная	>80	1,0	1,0	1,2
	<80	1,3	1,4	2,7
Степная зона европейской зоны СССР и Северного Казахстана	—	1,3	1,3	1,9

Примечания. 1. Для степной зоны зависимость коэффициентов от средних уклонов на водосборе не выявлена. Приведенные данные характерны для уклонов склонов < 80 ‰.

2. На водосборах с уклонами склонов > 80 ‰ при наличии преимущественно-грунтового стока в русле значение коэффициента принимается по интерполяции между значениями при уклонах более и менее 80 ‰.

В годы более редкой повторяемости отношение полного руслового стока к склоновому на малых водотоках приближается к единице. Это наиболее четко выражено на водотоках с уклонами склонов > 80 ‰ и свидетельствует о том, что в годы редкой повторяемости объем стока за весну в руслах малых рек почти полностью формируется за счет склонового стока. В средние по водности и маловодные годы склоновый сток на водосборах в сумме может составлять 25—50 % полного руслового стока. Остальная доля весеннего стока формируется за счет грунтового стока, а также накопления снега и его таяния в руслах притоков.

Результаты сопоставления расчетов слоя весеннего стока на некоторых водотоках воднобалансовых станций на основе данного метода и по рекомендации [100] свидетельствуют о более высокой точности расчета слоя весеннего стока неизученных рек с площадями водосборов $F < 200$ км² по предлагаемому методу. Точность расчета повышается в среднем почти в 2 раза, а по отдель-

ным водотокам — в 5—6 раз и более по сравнению с расчетами по рекомендациям Пособия [100]. Кроме того, в нем совершенно отсутствуют рекомендации по расчету водных ресурсов местного склонового стока, что затрудняет решение практических задач проектирования сельскохозяйственного водоснабжения.

При расчете максимальных расходов воды по формулам, приведенным в работе [100], с водосборов, имеющих площадь $F < 200$ км^2, кроме расчета слоя стока за половодье по карте с учетом поправок, вычисленных по формуле (4.2) или по методике дифференцированного расчета склонового стока с различных элементов подстилающей поверхности с последующим его интегрированием, вводится дополнительный коэффициент, снижающий значение максимального расхода воды (табл. 4.4). Коэффициенты

Таблица 4.4

Поправочные коэффициенты к формуле расчета из работы [100], учитывающие распаханность водосборов с $F < 200$ км^2

Природная зона	Распаханность водосбора, %		
	$\geqslant 70$	50	< 50
Лесная и лесостепная	0,9	1,0	1,0
Степная	0,8	0,9	1,0

Примечание. При расчете максимального стока с вероятностью превышения $p < 5$ % коэффициент $\delta_3 = 1$.

получены на основе анализа максимальных расходов воды на стоковых (водобалансовых) площадках и малых водотоках водобалансовых станций Госкомгидромета СССР и данных экспедиций ГГИ.

4.1.2. Влияние агротехнических мероприятий на максимальный сток дождевых паводков. Исследования выполнены по материалам водобалансовых станций Госкомгидромета СССР. В процессе анализа связей $h = f(f_п)$ и $q_F = f(f_п)$ (где h — слой стока за паводок, мм; q_F — модуль максимального расхода воды, приведенный к единой площади водосбора, л/(с·км^2); $f_п$ — распаханность водосбора, %) зависимость указанных элементов паводочного стока от площади водосбора под сельскохозяйственными культурами не выявлена. На данном этапе исследований это обстоятельство позволяет сделать вывод о нецелесообразности введения поправок, учитывающих влияние агротехнических мероприятий на максимальный сток дождевых паводков.

4.1.3. Влияние лесохозяйственных мероприятий на максимальный весенний сток. Это влияние складывается, как известно, из влияния на объем и на максимальные расходы воды. Результаты исследований влияния леса и лесохозяйственных мероприятий (залесенность и ее изменение) на объем (слой) весеннего стока

малых рек уже были рассмотрены в разделе 2.2. Поэтому в данном разделе целесообразно отметить лишь способы учета этого влияния в практических расчетах и сосредоточить внимание на результатах исследований влияния залесенности и ее изменений на максимальные расходы воды.

Как уже отмечалось, по характеру влияния залесенности на объем весеннего половодья реки разделяются на две группы: к группе I относятся реки, объем половодья которых под влиянием залесенности уменьшается, а к группе II — реки, объем половодья которых под влиянием залесенности увеличивается.

Для водосборов со значениями залесенности, отличными от средних зональных, в табл. 4.5 приводятся значения поправочного

Таблица 4.5

Поправочные коэффициенты $K_л$

$f_л/f_{л.р}$ . . .	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0 и более
$K_л$	1,2 / 0,8	1,1 / 0,9	1,0 / 1,0	0,9 / 1,1	0,8 / 1,2	0,7 / 1,3	0,6 / 1,6

Примечание. Числитель — для рек I группы, знаменатель — для рек II группы.

коэффициента $K_л$, равного отношению $f_л/f_{л.р}$, где $f_л$ — фактическая залесенность расчетного водосбора, %; $f_{п.р}$ — районное значение залесенности [81].

Для повышения точности расчетов среднее районное значение залесенности водосборов целесообразно рассчитывать как среднее арифметическое из значений залесенности по ближайшим речным водосборам, данные по стоку с которых были приняты для построения карты весеннего стока (водосборы с $F > 200$ км²).

В анализ влияния залесенности на весенний максимальный расход воды рек включены данные по стоку со склонов и малых водотоков (лога, балки, ручьи) и рек с площадью водосбора > 100 км². Анализ влияния залесенности произведен путем подбора парных бассейнов, аналогичных по физико-географическим и гидрологическим условиям, но с различной залесенностью, и построения зависимости коэффициента дружности половодья от залесенности водосбора $K_0 = f(f_л)$. Параметр дружности половодья вычислен по формуле из Пособия [100]

$$q_p = K_0 h_p \mu \delta_0 \delta_б \delta_а / (F + F_1)^n, \qquad (4.10)$$

где q_p — максимальный расчетный модуль стока, м³/(с·км²); h_p — расчетный слой суммарного стока за половодье той же вероятности превышения p, что и искомый максимальный модуль стока, мм; F — площадь водосбора, км²; F_1 — дополнительная площадь водосбора, учитывающая снижение редукции, км²; K_0 — параметр, характеризующий дружность половодья; n — показатель степени редукции отношения q_p/h_p в зависимости от площади

водосбора; $\delta_о$ — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды рек, зарегулированных озерами и водохранилищами; $\delta_б$ — коэффициент, учитывающий влияние болот; $\delta_а$ — коэффициент, учитывающий влияние агротехнических мероприятий на максимальный сток рек с $F < 200$ км².

Результаты исследований по парным бассейнам приведены в табл. 4.6. Всего в анализе рассмотрены 152 пары. Из них 35 пар находится в зоне тайги, 57 — в зоне смешанных лесов, 60 — в зоне широколиственных лесов.

Таблица 4.6

Изменение среднего модуля максимального весеннего стока на 1 % залесенности водосбора (по данным парных бассейнов с различной залесенностью)

Природная зона	Число случаев с уменьшением / увеличением максимальных расходов воды, %	Изменение модуля стока на 1 % залесенности, л/(с·км²)
Лесная зона (тайга)	85 / 15	3,0
Лесостепная зона (смешанные леса)	76 / 24	2,0
Лесостепная и степная зоны (широколиственные леса)	71 / 29	2,5

Подбор парных бассейнов осуществлялся, как уже отмечалось ранее [49], по принципу аналогии физико-географических и гидрогеологических условий сопоставляемых водосборов, имеющих различную залесенность. Для этих целей применялась методика расчета воднобалансового критерия по К. Е. Иванову и В. В. Романову [46], которая позволила произвести выбраковку отдельных пар как не удовлетворяющих заданным условиям.

Приведенные данные показывают уменьшение максимальных модулей стока на залесенных водосборах в среднем на 3,0 л/(с·км²) на 1 % залесенности в зоне тайги и на 1,5—2,0 л/(с·км²) на 1 % залесенности в зонах смешанных и широколиственных лесов.

В отдельных случаях по отдельным сопоставляемым парам получена обратная зависимость. Причем наибольшее число таких случаев (24—29 % общего количества сопоставляемых пар) отмечается в зоне смешанных и широколиственных лесов. Основной причиной обратной зависимости стали условия, способствующие повышенному склоновому и грунтовому стоку талых вод с лесных водосборов в период снеготаяния. К ним относятся повышенные

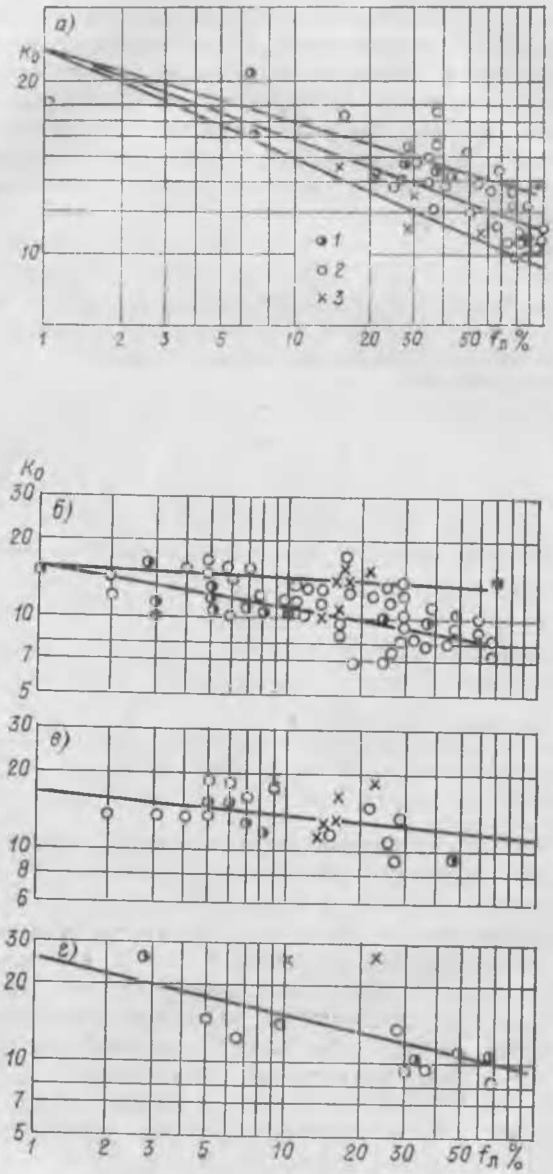


Рис. 4.1. Зависимость $K_0 = f(f_л)$ для прирусловых лесов (*1*), лесов, расположенных равномерно на водосборе (*2*) и приводораздельных лесов (*3*) лесной (*а*) и лесостепной (*б—г*) зон.

б — независимо от разновидности почвогрунтов, *в* — преобладающие суглинистые почвогрунты, *г* — преобладающие супесчаные почвогрунты.

уклоны склонов на водосборе, особенно в лесной части бассейнов, наличие более плотной лесной подстилки или очень близкое к поверхности (1—1,5 м) залегание грунтовых вод, состав леса в лесной зоне (существенное преобладание лиственных пород).

Анализ зависимости $K_0 = f(f_л)$ (рис. 4.1) также показывает уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья с увеличением залесенности. Коэффициенты снижения максимальных расходов $\delta_л$ вычислены по графической зависимости, а формулы для оценки влияния леса на максимальный сток весеннего половодья выведены, исходя из зависимости $\delta_л = f(f_л)$.

Коэффициенты снижения максимальных расходов не зависят от расчетной обеспеченности. Если для лесостепной зоны, включающей смешанные и широколиственные леса, и частично степной зоны найдена зависимость $\delta_л = f(f_л)$ раздельно для преобладающих супесчаных и суглинистых почвогрунтов под лесом, то в лесной (таежной) зоне такой раздельной для почв зависимости получить не удалось из-за отсутствия необходимой информации по стоку на водосборах с преобладающими суглинистыми почвогрунтами под лесом.

Формулу для учета влияния леса на максимальные расходы воды в практических расчетах можно записать в общем виде

$$\delta_л = a/(f_л + 1)^{n'}, \qquad (4.11)$$

где $\delta_л$ — коэффициент снижения максимального расхода воды; a — параметр, учитывающий расположение леса на водосборе (при равномерном расположении леса $a = 1$); $f_л$ — залесенность водосбора, %; n' — редукция коэффициента $\delta_л$ в зависимости от залесенности с учетом различия в почвогрунтах.

Значения параметров формулы (4.11) приведены в табл. 4.7. Они получены на основе имеющейся в ГГИ дополнительной информации о расположении лесов на водосборах, об уклонах лесных склонов, о разновидностях почвогрунтов и глубине залегания грунтовых вод, о составе лесных сообществ в различных природных зонах. Дополнительная информация по перечисленным факторам получена преимущественно по водосборам Волги и Дона с топографических, почвенных и гидрогеологических карт различного масштаба.

В отличие от существующих представлений о влиянии леса, расположенного в приводораздельных (верхних) или нижних частях бассейнов лесной зоны (А. Д. Дубах, Ю. Лямбор и др.), в лесостепной и степной зонах отмечается обратная зависимость. Здесь леса, расположенные в приводораздельной части бассейна, снижают максимальный расход талых вод меньше, чем леса, расположенные на водосборе равномерно или в прирусловой (нижней) его части.

Причина, по-видимому, в том, что в лесостепной и степной зонах европейской части СССР, Западной Сибири и Северного Казахстана с комплексом присущих для этих зон физико-географических и климатических факторов лиственный лес, в отличие

Таблица 4.7

Значения параметров формулы (4.11)

Природная зона	Преобладающие почвогрунты под лесом	Коэффициент редукции n'	Расположение леса на водосборе	a при залесенности водосбора, %		
				<10	20	30
Лесная (тайга)	Не зависит от почвогрунтов	0,22	Р	1,0	1,0	1,0
			В	0,85	0,80	0,75
			Н	1,20	1,25	1,30
Лесостепная и степная (смешанные и широколиственные леса)	Супесчаные	0,2				
	Суглинистые	0,13	Р, Н	1,0	1,0	1,0
	Не зависит от почвогрунтов	0,16	В	1,25	1,30	1,4

Примечания: 1. Р — лес равномерно распределен на водосборе; В — лес расположен в верхней части водосбора (приводораздельные леса); Н — лес расположен в нижней и прирусловой части бассейна. 2. Залесенность в лесостепной зоне $<5\,\%$ не учитывается при расчете максимальных расходов воды. 3. При относительной проточной озерности $>20\,\%$ влияние залесенности не учитывается. 4. При залесенности $f_л > 30\,\%$ значение коэффициента $a = 1$.

от хвойного (лесная зона), существенно ослабляет разновременность водоотдачи из снега в лесу и в поле. При характерном для этой зоны дружном снеготаянии и при отсутствии сильно затеняющего лесного полога период наибольшего весеннего стока с верхней залесенной части бассейна совпадает с периодом (конец подъема половодья) формирования максимального стока с необлесенной его части. Этого обычно не наблюдается на аналогичных водосборах лесной зоны.

В зоне таежных лесов период наиболее активного стока с верхней залесенной части бассейна, как известно, полностью совпадает с периодом спада основной волны половодья. Немаловажным фактором слабого влияния приводораздельных лесов на максимальные расходы воды в лесостепной зоне являются и относительно малые уклоны склонов в пределах залесенной части водосборов. Доля участия стока с таких склонов в суммарном стоке с водосбора вообще невелика, а следовательно, невелико и регулирующее влияние леса на максимальные расходы.

Анализ зависимости максимальных расходов воды от залесенности водосборов подтверждает сделанный ранее вывод. На максимальный весенний сток влияет не только залесенная площадь водосбора. Влияние леса различно в различных природных зонах и зависит от того, какие почвы преобладают в лесах (супесчаные или суглинистые), на склонах с какими уклонами и как расположен лес на водосборе (равномерно, в верхней приводораздельной части или в нижней прирусловой).

Оценка влияния леса на максимальный весенний сток по зависимости $K_0 = f(f_л)$ подтверждается результатами оценки по парным бассейнам. Отклонения не превышают ±20—30 %, что позволяет рекомендовать формулу (4.11) для практических расчетов.

Таким образом, учет влияния залесенности на максимальный весенний сток при гидрологических расчетах производится по формуле (4.11) с предварительным расчетом поправочного коэффициента к карте слоя весеннего стока $K_л$, определяемого по табл. 4.5, и коэффициента $\delta_л$, определяемого по формуле (4.11) и табл. 4.7.

Влияние на максимальный сток полного или частичного сведения леса на водосборе под сельскохозяйственные угодья или его возобновление учитывается по разности результатов расчета при начальном и конечном значениях залесенности. Учет влияния залесенности на максимальные расходы воды позволяет уточнить расчет максимальных расходов воды на 20—30 %.

Рекомендации по учету влияния лесохозяйственных мероприятий на максимальный сток рек Украинского Полесья основаны на моделировании процесса формирования высоких весенних половодий с учетом специфических условий этого района [45]. В результате предлагается формула для расчета влияния изменения относительной залесенности на водосборе на максимальные расходы воды

$$K_{н.л} = 1 \pm (K_{к.л} - K_{н.л}), \qquad (4.12)$$

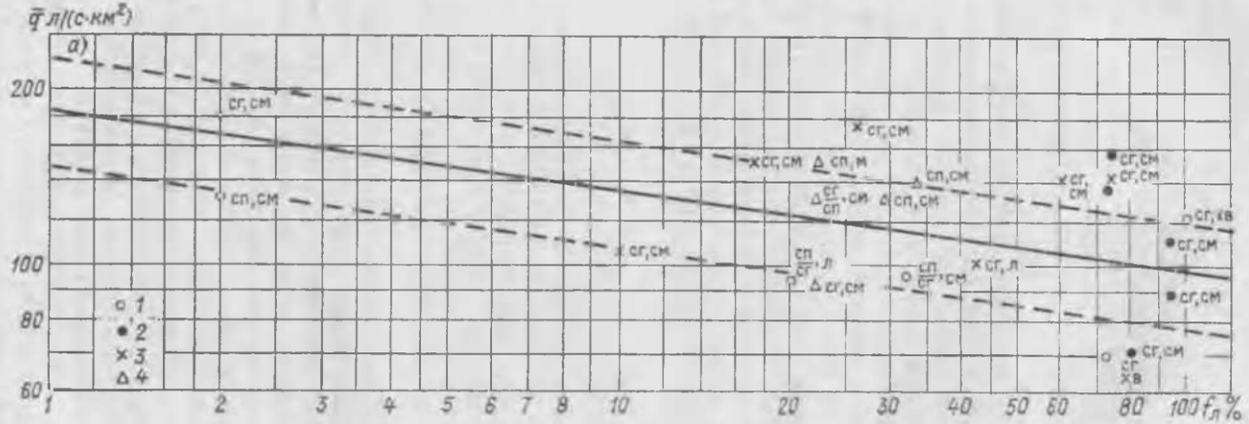
где $K_{н.л}$, $K_{к.л}$ — коэффициенты учета залесенности, соответствующие начальной $f_{н.л}$ и конечной ($f_{к.л}$) площади бассейна, занятой лесом, % площади водосбора реки.

Коэффициенты определяются по формуле

$$K_л = (1 + 0{,}025 f_л)^{-1}. \qquad (4.13)$$

4.1.4 Влияние леса и лесохозяйственных мероприятий на максимальный сток дождевых паводков. Это влияние оценено на основе исследований зависимости объемов (слоев) дождевых паводков и максимальных расходов воды от залесенности водосборов малых рек с площадью бассейна < 200 км^2. Эти связи для лесной и лесостепной зон показаны на рис. 4.2, 4.3 для слоя паводка и максимального модуля стока. Для построения графиков были использованы данные наблюдений по дождевому стоку воднобалансовых станций (Подмосковная, Прибалтийская, Оксочи, Нижнедевицкая, Придеснянская, Каменностепная, Богуславская) и Валдайского филиала ГГИ (ВФ ГГИ).

Связи q, $h = f(f_л)$ свидетельствуют об уменьшении слоя паводка и его максимального модуля с увеличением площади под лесом $f_л$. Причем в лесостепной зоне связи разделяются в зависимости от среднего уклона склонов на водосборе (для $I < 80$ ‰ и $I > 80$ ‰). Для лесной зоны оказалось возможно исследовать



$\bar{q}$ л/(с·км²)
а)
200
100
80
60
1
2
3
4
5
6
7
8
10
20
30
40
50
60
80
100
$f_л$ %
сг, см
сп, см
сг, л
сп, м
сп, л
сг, кв
○ 1
● 2
× 3
Δ 4

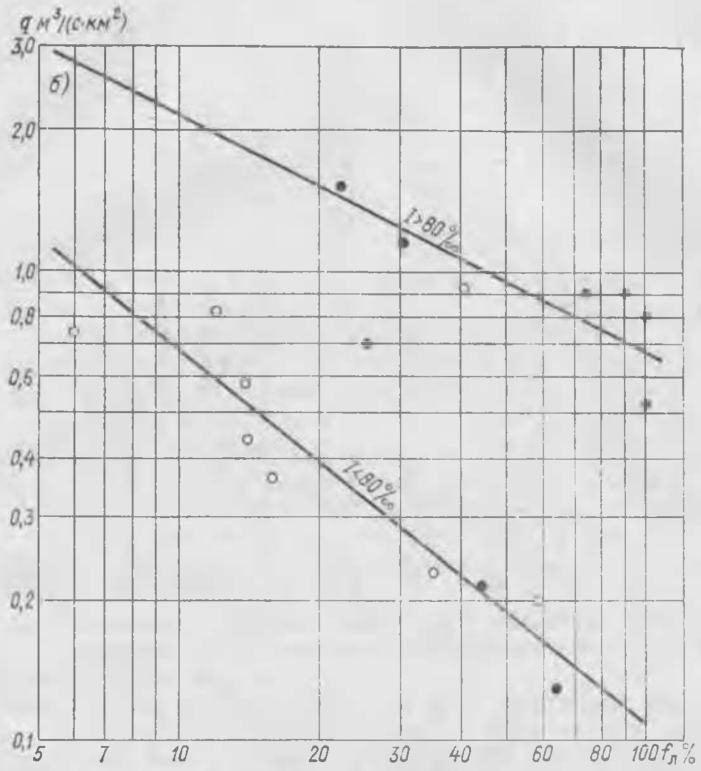


Рис. 4.2. Зависимость максимальных модулей стока дождевых паводков от залесенности водосборов лесной (*а*) и лесостепной (*б*) зон.

1 — ВФ ГГИ, *2* — Оксочи, *3* — Подмосковная, *4* — Прибалтийская водно-балансовые станции; см — смешанный, хв — хвойный, л — лиственный лес; сп — супесчаные, сг — суглинистые почвогрунты.

только связи $q = f(f_л)$ и в пределах всего диапазона уклонов склонов. Коэффициенты линейной корреляции связей не превышают 0,80, однако эти связи можно использовать для оценки влияния залесенности на объем и максимальные расходы воды дождевых паводков.

Формулы поправочных коэффициентов, учитывающих влияние залесенности водосборов на максимальный сток дождевых паводков, приведены в табл. 4.8. Поправочными коэффициентами учитывается влияние леса и изменения залесенности во времени и в пространстве на максимальный сток при расчете его в соответствии с рекомендациями Пособия [100].

Применение поправочных коэффициентов в формулах при расчете максимального дождевого стока на неизученных реках повышает достоверность расчета в 2 раза.

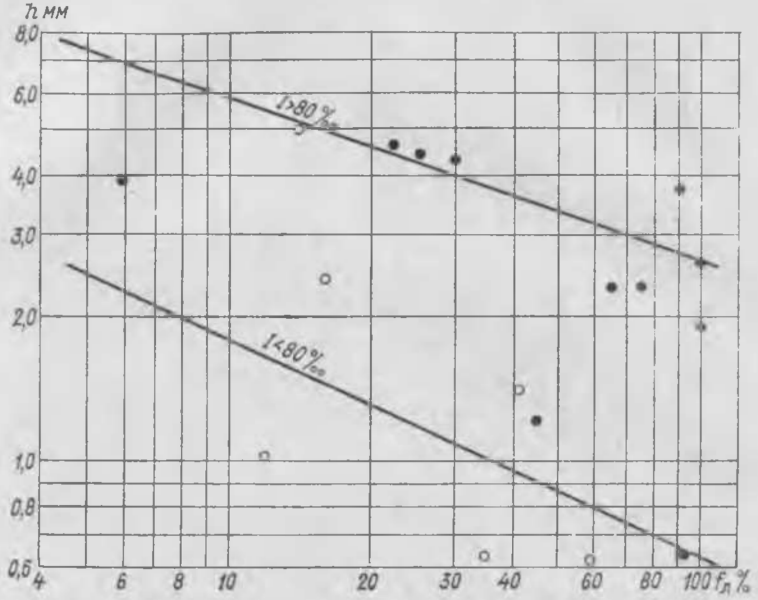


Рис. 4.3. Зависимость слоев стока дождевых паводков от залесенности водосборов лесостепной зоны.

Таблица 4.8

Формулы поправочных коэффициентов, учитывающих влияние залесенности на максимальный дождевой сток

Природная зона	Преобладающие почвогрунты	Преобладающий уклон склонов на водосборах, ‰	Формула	№ формулы
Лесная	Супесчаные, легкосуглинистые	Весь диапазон уклонов	$\delta_q = (f+1)^{-0,14}$	4.14
Лесостепная	Среднесуглинистые (черноземы)	<80	$\delta_h = (f_л+1)^{-0,46}$	4.15
		>80	$\delta_h = (f_л+1)^{-0,35}$	4.16
		<80	$\delta_q = (f_л+1)^{-0,80}$	4.17
		>80	$\delta_q = (f_л+1)^{-0,52}$	4.18

4.2. Оценка и учет влияния агротехнических и лесохозяйственных мероприятий на минимальный сток

В практике водохозяйственных расчетов все чаще возникают вопросы о том, уменьшают или увеличивают агролесомелиорации минимальный сток рек. В данном разделе приведены некоторые

результаты исследований в этом направлении, основанные на применении методики, изложенной в работах [25, 26], для оценки влияния агролесомелиорации на грунтовую составляющую стока рек. Методика позволяет оценить питание грунтовых вод атмосферными осадками в отдельных пунктах водосбора (при наличии и отсутствии данных наблюдений за режимом грунтовых вод) и оценить изменение в питании грунтовых вод (т. е. в грунтовом стоке рек под влиянием агролесомелиораций) путем сопоставления вычисленных значений питания грунтовых вод на различных угодьях (сельскохозяйственное поле, лесная полоса, лес) по сравнению с целиной (залежь, луг).

В зональном аспекте значение питания грунтовых вод атмосферными осадками на различных угодьях с учетом механического состава почвогрунтов зоны аэрации и глубины залегания грунтовых вод приведено в работах [25, 26]. Там же приведены коэффициенты питания грунтовых вод, вычисленные по формуле

$$\alpha'_{з,\ п,\ л,\ лсп} = W/X, \tag{4.19}$$

где $\alpha'_{з,\ п,\ л,\ лсп}$ — коэффициент питания грунтовых вод соответственно на залежи (з), пашне (п), в лесу (л) и в лесной полосе (лсп); W — питание грунтовых вод атмосферными осадками, мм; X — годовые осадки, мм.

На большинстве малых и средних рек равнинной части европейской территории СССР и Северного Казахстана в средние и маловодные годы минимальный сток, как правило, определяется грунтовым стоком. Поэтому любые изменения в грунтовой составляющей стока рек должны соответственно определять и изменения в минимальном стоке. Конечно, такие синхронные и пропорциональные изменения возможны только на малых и некоторых средних реках, минимальный сток которых осуществляется исключительно за счет дренирования верхнего водоносного горизонта, а участие атмосферных осадков в формировании минимального стока несущественно. Именно для таких рек и разработаны поправочные коэффициенты для оценки влияния агролесомелиораций на минимальный сток.

Методика оценки влияния агротехнических и лесохозяйственных мероприятий предусматривает использование поправочных коэффициентов к расчетным формулам и картам минимального стока, рекомендованным при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования в работе [100].

Разработка поправочных коэффициентов осуществлялась в следующей последовательности. В пределах каждой природной зоны (лесной, лесостепной и степной) определялась средняя глубина дренирования грунтовых вод верхнего водоносного горизонта. Для этого использовались гидрогеологические карты, по возможности, крупного масштаба. В среднем глубина дренирования грунтовых вод верхнего водоносного горизонта принята равной для

лесной зоны 2—3 м, для лесостепной зоны — 3—4 м, для степной зоны европейской части СССР — 5—6 м.

По данным работы [26] о питании грунтовых вод атмосферными осадками и по изменениям в питании под влиянием агролесомелиораций вычислены поправочные коэффициенты $K_{п, л}$, учитывающие влияние агротехнических (п) и лесохозяйственных мероприятий (л) на минимальные расходы воды в реке

$$K_{п, л} = \left(\alpha_з' + \Delta\alpha_{п, л_H}'\right) \Big/ \alpha_з', \tag{4.20}$$

где $\alpha_з'$ — коэффициент питания грунтовых вод атмосферными осадками или грунтового стока на нераспаханных и незалесенных водосборах с принятой средней глубиной дренирования (по природным зонам); $\Delta\alpha_{п, л_H}'$ — изменение грунтового стока под влиянием агролесомелиораций при различной глубине залегания грунтовых вод H на водосборе.

Вычисленные поправочные коэффициенты приведены в табл. 4.9 и 4.10. Их значения зависят от климатических условий, механического состава почвогрунтов, мощности зоны аэрации и доли площади водосбора с преобразованным стоком. В целом поправочные коэффициенты невелики и в средние и маловодные годы при полной распашке или залесенности бассейна реки не превышают значений 1,3—1,4.

Влияние агротехнических мероприятий на минимальный сток в лесной зоне практически отсутствует, и только в маловодные годы при распашке от 50 до 100 % площади водосбора сток может увеличиться на 10 %. Наибольшее влияние агротехнических мероприятий, по-видимому, возможно на реках степной зоны европейской части СССР и Северного Казахстана. Здесь минимальный сток в годы различной водности и в зависимости от распаханной площади водосбора может увеличиться на 10—30 %.

С увеличением глубины залегания грунтовых вод поправочный коэффициент в средние и маловодные годы уменьшается и остается без изменения в многоводные ($p < 25$ %) годы.

Для учета влияния агролесомелиораций на минимальный сток в практических расчетах при использовании Пособия [100] в дополнение к указанным таблицам разработана таблица (прил. 34), отражающая средние значения распаханности, залесенности, глубины залегания грунтовых вод и преобладающие почвогрунты зоны аэрации в районах, указанных в работе [81]. Средние условия по указанным признакам получены на основе использования информации по бассейнам рек в пределах каждого района, данные по минимальному стоку которых были приняты во внимание при разработке формул и их параметров А. М. Владимировым [20]. Таким образом, зная средние значения указанных величин (см. прил. 34, [81]) в районе, для которого рассчитывается минимальный сток на неизученной реке по формуле из Пособия [100],

Таблица 4.9

Поправочные коэффициенты $K_п$, оценивающие влияние агротехнических мероприятий на минимальный летний и зимний сток малых рек в маловодные ($p > 75$ %), многоводные ($p < 25$ %) и средние по водности ($p = 50$ %) годы

Распаханность водосбора, %	Глубина залегания грунтовых вод, м								
	2	3	5	8	10	15	20	25	30
	Лесная зона, $p < 25$ %								
100*	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	$p = 50$ %								
100*	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	$p > 75$ %								
50*	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50—100	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0
	Лесостепная зона, $p < 25$ %								
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50—100	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
	$p = 50$ %								
50	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
75—100	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
	$p > 75$ %								
100	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Степная зона европейской части СССР, $p < 25$ %								
25*	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
50*	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
75—100*	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Распаханность водосбора, %	Глубина залегания грунтовых вод, м								
	2	3	5	8	10	15	20	25	30
	$p = 50$ %								
25*	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
50	1,2 / 1,2	1,2 / 1,2	1,2 / 1,2	1,2 / 1,2	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1
75—100	1,3 / 1,3	1,3 / 1,3	1,2 / 1,3	1,2 / 1,3	1,2 / 1,2	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1
	$p > 75$ %								
50	1,1 / 1,1	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0
75—100	1,2 / 1,2	1,2 / 1,2	1,2 / 1,1	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0
	Степная зона Северного Казахстана, $p < 25$ %								
25*	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
50*	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
75—100*	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	$p = 50$ %								
25*	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
50	1,2 / 1,2	1,2 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1
75—100	1,3 / 1,3	1,3 / 1,3	1,2 / 1,3	1,2 / 1,3	1,2 / 1,2	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1	1,2 / 1,1
	$p > 75$ %								
50	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0
75—100	1,2 / 1,2	1,2 / 1,2	1,2 / 1,1	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0	1,2 / 1,0

Примечания. 1. Знак «*» показывает, что значения поправочных коэффициентов одинаковы для супесчаных и суглинистых почвогрунтов. 2. Числитель — для супесчаных почвогрунтов, знаменатель — для суглинистых почвогрунтов. 3. Поправочные коэффициенты для лесостепной зоны приведены только для суглинистых почвогрунтов.

Таблица 4.10

Поправочные коэффициенты $K_л$, оценивающие влияние лесомелиораций на минимальный летний и зимний сток малых рек в маловодные ($p > 75$ %), многоводные ($p < 25$ %) и средние по водности ($p = 50$ %) годы

Залесенность водосбора, %	Глубина залегания грунтовых вод, м								
	2	3	5	8	10	15	20	25	30
	Лесная зона, $p < 25$ %								
50	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1
75—100	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1
	$p = 50$ %								
25	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,0	1,0 / 1,0
50	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1
75—100	1,2 / 1,4	1,2 / 1,3	1,2 / 1,3	1,2 / 1,3	1,2 / 1,3	1,1 / 1,3	1,1 / 1,2	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1
	$p > 75$ %								
25	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,1	1,0 / 1,0	1,0 / 1,0	1,0 / 1,0	1,0 / 1,0	1,0 / 1,0	1,0 / 1,0
50	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,2	1,1 / 1,1	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0	1,1 / 1,0
75—100	1,1 / 1,3	1,1 / 1,3	1,1 / 1,3	1,1 / 1,2	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1	1,1 / 1,1
	Лесостепная зона, $p < 25$ %								
25	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
75—100	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
	$p = 50$ %								
25	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
75—100	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1

Залесенность водосбора, %	Глубина залегания грунтовых вод, м								
	2	3	5	8	10	15	20	25	30
	$p > 75$ %								
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50—100	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Лесостепная зона (лесные полосы расположены поперек склонов), $p < 25$ %								
20	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
	$p = 50$ %								
20	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	$p > 75$ %								
20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Примечания: 1. Числитель — для супесчаных почвогрунтов, знаменатель — для суглинистых почвогрунтов. 2. Поправочные коэффициенты для лесостепной зоны приведены только для суглинистых почвогрунтов.

по табл. 4.9 и 4.10 определяют коэффициент $K_{п,\,л}$. Затем из тех же таблиц для фактических значений распаханности или залесенности на водосборе определяют второй коэффициент $K'_{п,\,л}$ с учетом глубины залегания грунтовых вод и различия в почвогрунтах. Далее определяется поправочный коэффициент $\delta_{п,\,л}$ к расчетным формулам из работы [100]:

$$\delta_{п,\,л} = K'_{п,\,л} - K_{п,\,л} + 1. \tag{4.21}$$

При глубине вспашки на водосборе > 25 см с применением противоэрозионных мероприятий поправочный коэффициент $\delta_п$ следует откорректировать по уравнению

$$\delta'_п = 1{,}1\,(\delta_п - 1) + 1, \tag{4.22}$$

где 1,1 — поправка к питанию грунтовых вод атмосферными осадками, изменяющаяся за счет глубокой распашки, принимается одинаковой для супесчаных и суглинистых почвогрунтов.

Поправка получена в результате вычисления $K_п$ по формуле

$$K_п = (\alpha'_з + 1{,}7\,\Delta\alpha'_п)/\alpha'_з, \tag{4.23}$$

где коэффициент 1,7 определен по данным весьма ограниченных экспериментальных исследований на опытном поле в Каменной степи [25, 26].

Поправочные коэффициенты из табл. 4.9 и 4.10 можно рекомендовать и для оценки влияния агротехнических и лесохозяй-

ственных мероприятий на минимальный сток средних рек, определенный по картам [100], при условии, что в формировании меженного стока участвуют грунтовые воды преимущественно верхнего водоносного горизонта.

Поправочные коэффициенты к вычисленным минимальным расходам воды с обеспеченностью $p > 25$ % принимаются равновеликими году 95 %-ной обеспеченности.

4.3. Влияние оросительно-осушительной мелиорации на максимальный дождевой сток

Для учета возрастания максимального паводочного стока от естественных дождей под влиянием увеличения увлажнения почвы на орошаемых землях рекомендуют различные способы определения $\delta_{ор}$, представляющего собой отношение стока при орошении к стоку без орошения. Все предлагаемые расчетные способы пригодны в основном для расчета стока при проектировании в бассейне дождевальных оросительных систем. И все-таки в настоящее время рекомендаций по учету влияния орошения во всем его многообразии на максимальный сток очень мало из-за слабой изученности процесса формирования стока на орошаемых участках. Ниже рассмотрим один из несложных способов учета влияния орошения на максимальный сток путем расчета поправочного коэффициента к слою стока или к коэффициенту стока дождевого паводка.

Способ заключается в вычислении коэффициента $\delta_{ор}$ по формуле

$$\delta_{ор} = 1 + 625 j \lambda \Theta / (I_в x), \qquad (4.24)$$

где $I_в$ — средний уклон водосбора, ‰; x — слой осадков за дождь, принимаемый равным суточному слою осадков, мм; j — коэффициент, отражающий среднюю влажность почвы при орошении ($W_{ор}$) и без него ($W_{ест}$); λ — коэффициент, зависящий от механического состава почв и вида сельскохозяйственного использования земель; Θ — коэффициент, учитывающий различия в уклонах орошаемых участков и речных водосборов; l — показатель степени, учитывающий влияние интенсивности дождя (при $p < 1$ % $l = 0{,}75$, при 1 % $< p <$ 25 % $l = 0{,}50$).

Значения коэффициентов j, λ и Θ определяются по табл. 4.11—4.13. При разработке рекомендаций по учету влияния осушительных мелиораций на максимальный сток рек за основу были приняты результаты исследований К. Е. Иванова [48]. Изменение максимального снегового и дождевого стока рассчитывается по зависимости

$$П_{макс} = M_{o_p} / M_p, \qquad (4.25)$$

где $П_{макс}$ — коэффициент преобразования, M_{o_p} — модуль максимального стока расчетной обеспеченности с осушенного массива,

Таблица 4.11

Значения коэффициента j в формуле (4.24)

$W_{op}/W_{ест}$	1,3	1,5	1,8
j	0,8	1,0	1,4

Таблица 4.12

Значения коэффициента λ в формуле (4.24)

Почва	Механический состав	Использование земель	
		пропашные культуры, пар, жнивье, сады, виноградники	целина, многолетняя залежь, многолетние травы
Каштановая средне- и сильносолонцовая	—	0,10	—
Чернозем средне- и сильносмытый	—	0,23	—
Чернозем южный и обыкновенный, типичный, выщелоченный, карбонатный, слабосмытый и малогумусный; темнокаштановая слабосолонцеватая	Легкий суглинок Суглинок Глина	1,53 1,00 0,75	1,75 1,42 0,98
Черноземы несмытые или слабосмытые среднегумусные	Легкий суглинок Суглинок Глина	1,50 1,30 1,20	— — —
Серая лесная, чернозем оподзоленный	Глина	1,38	—

Таблица 4.13

Значения коэффициента Θ в формуле (4.24)

$I_в$ ‰	I ‰					$I_н$ ‰	I ‰				
	5	10	50	100	200		5	10	50	100	200
	$p = 1$ %					50			1,00	0,72	0,45
5	1,00	0,95	0,75	0,60	0,43	100				1,00	0,62
10		1,00	0,78	0,63	0,45	200					1,00
50			1,00	0,80	0,57						
100				1,00	0,71						
200					1,00		$p = 5 \ldots 10$ %				
	$p = 2 \ldots 3$ %					5	1,00	0,67	0,33	0,20	0,11
						10		1,00	0,50	0,30	0,17
5	1,00	0,83	0,55	0,40	0,25	50			1,00	0,60	0,33
10		1,00	0,67	0,48	0,30	100				1,00	0,56
						200					1,00

M_p — модуль стока той же обеспеченности с неосушенного массива.

Коэффициент преобразования $П_{макс}$ определяется по данным параллельных наблюдений за стоком на естественных и осушенных массивах, а при отсутствии таких наблюдений по зависимости

$$П_{макс} = [(l_0/\omega_0)\,\xi K_0 i_0]/[(l/\omega)\,\xi_0 K i], \qquad (4.26)$$

где ω_0 — площадь осушаемого болотного массива; l_0 — удвоенная длина всех осушителей (открытых канав и закрытых дрен); l — спроектированный контур стекания поверхностных вод с болотного массива площадью ω_0 в его естественном состоянии; K_0 — средний коэффициент фильтрации осушенной торфяной залежи; K — средний коэффициент фильтрации деятельного горизонта неосушенного болота; ξ, ξ_0 — средний коэффициент водоотдачи торфяной залежи неосушенного и осушенного болота; i — средний уклон поверхности естественного болотного массива до осушения в микроландшафтах, примыкающих к контуру стекания; i_0 — средний уклон поверхности грунтового потока у осушителей.

Для расчета $П_{макс}$ по формуле (4.26) в период изысканий рекомендуется определять средние значения коэффициентов фильтрации и водоотдачи, подбирая для этого ранее осушенные массивы одного и того же типа, что и проектируемые для осушения. Расчет производится по формуле (4.26) с использованием табл. 4.14 и 4.15. При отсутствии измеренных значений уровней болотных вод, коэффициентов фильтрации, водоотдачи и уклонов для соответствующих микроландшафтов данные выбираются из таблиц приложений к работе [81].

Значения коэффициентов преобразования максимальных модулей и слоев стока весеннего половодья при осушении моховых массивов верхового типа в зависимости от глубины залегания водоупора и расстояний между осушителями приведены в табл. 4.15.

4.4. Влияние урбанизированных территорий (УТ) на максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков

Урбанизация вносит коренные изменения в структуру природного ландшафта и режим вод суши. Прежде всего это касается факторов подстилающей поверхности. Промышленное и гражданское строительство, проводка транспортных магистралей и, как следствие, изменение рельефа и растительного покрова, вырубка леса, осушение болот, дренажные и канализационные сети и т. д. значительно нарушают процессы стока на водосборе. В первую очередь это относится к малым рекам, чьи водосборы наиболее чувствительны к любому вмешательству извне и испытывают при этом наибольшую антропогенную нагрузку.

Таблица 4.14

Коэффициенты преобразования максимальных модулей стока $П_{макс}$

Расстояние между осушителями L, м	$\frac{L_0}{\omega}$	Уклон i	Уклон i_0	$\xi = 0{,}5$								
				$\xi_0 = 0{,}1$			$\xi_0 = 0{,}2$			$\xi_0 = 0{,}3$		
				K см/с								
				10	30	50	10	30	50	10	30	50
				$K_0 = 0{,}005$								
10	200	0,0005	0,127	63,2	20,0	12,4	31,6	10,6	6,4	21,0	6,8	4,0
		0,002	0,127	15,6	5,2	2,8	8,0	2,6	1,6	5,2	1,6	0,8
		0,005	0,127	6,4	2,0	1,2	3,2	1,0	0,6	2,2	0,6	0,4
30	66,7	0,0005	0,250	41,6	13,6	8,0	20,8	7,0	4,2	13,8	4,0	2,6
		0,002	0,250	10,4	3,2	2,0	5,2	1,8	1,0	3,4	1,0	0,6
		0,005	0,250	4,2	1,4	0,8	2,0	0,8	0,4	1,4	0,4	0,2
50	40	0,0005	0,329	32,8	10,8	6,4	18,2	5,4	3,2	10,8	3,6	2,0
		0,002	0,329	8,0	2,0	1,6	4,6	1,0	0,8	2,6	0,6	0,4
		0,005	0,329	3,2	1,0	0,6	1,8	0,6	0,4	1,0	0,4	0,2
100	20	0,0005	0,474	23,6	7,6	4,4	11,8	4,0	1,4	7,8	2,4	1,4
		0,002	0,474	5,6	1,6	0,8	3,0	1,0	0,6	1,8	0,6	0,2
		0,005	0,474	2,4	0,8	0,4	1,2	0,4	0,2	0,8	0,2	0,2
200	10	0,0005	0,675	16,8	5,6	3,2	8,4	3,2	1,6	5,6	1,8	1,0
		0,002	0,675	4,0	1,2	0,8	2,2	0,8	0,4	1,2	0,4	0,2
		0,005	0,675	1,6	0,6	0,4	0,8	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2
400	5	0,0005	0,960	11,6	3,6	2,0	6,0	2,0	1,2	3,8	1,2	0,6
		0,002	0,960	2,8	0,8	0,4	1,4	0,4	0,2	0,8	0,2	0,2
		0,005	0,960	1,2	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1
				$K_0 = 0{,}001$								
10	200	0,0005	0,127	27,8	9,2	5,2	13,6	4,8	2,6	9,2	3,0	1,8
		0,002	0,127	6,2	2,2	1,4	3,4	1,0	0,6	2,2	0,8	0,4
		0,005	0,127	2,8	1,0	0,6	1,4	0,4	0,2	1,0	0,4	0,2
30	66,7	0,0005	0,599	17,6	5,2	3,6	9,2	3,0	1,8	5,8	2,2	1,4
		0,002	0,599	4,4	1,4	0,8	2,2	0,8	0,4	1,4	0,4	0,4
		0,005	0,599	1,8	0,6	0,4	1,0	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2
50	40	0,0005	0,738	14,0	4,4	2,8	7,0	2,4	1,4	4,8	1,8	0,8
		0,002	0,738	3,6	1,2	0,8	1,8	0,6	0,4	0,8	0,4	0,4
		0,005	0,738	1,4	0,4	0,2	0,8	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1

Примечание: для промежуточных значений уклонов i и коэффициентов между

при осушении болотных массивов

			$\xi = 0{,}8$											
$\xi_0 = 0{,}4$			$\xi_0 = 0{,}1$			$\xi_0 = 0{,}2$			$\xi_0 = 0{,}3$			$\xi_0 = 0{,}4$		
10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
см/с														
15,8	5,2	3,0	101	33,6	20,0	50,8	17,0	10,2	33,8	11,2	6,6	25,4	8,4	5,0
3,8	1,4	0,8	25,2	8,4	4,4	12,8	4,2	2,6	8,4	2,8	1,6	6,4	2,2	1,2
1,6	0,6	0,4	10,0	3,4	2,0	5,0	1,8	1,0	3,4	1,2	0,6	2,6	0,8	0,6
10,4	3,4	2,0	66,8	22,0	13,2	33,4	11,2	6,6	22,2	7,2	4,4	16,8	5,4	3,2
2,6	0,8	0,6	16,4	5,2	3,2	8,4	2,8	1,6	5,4	1,6	1,0	4,2	1,4	0,8
1,0	0,4	0,2	6,6	2,2	1,4	3,4	1,2	0,6	2,2	0,8	0,4	1,6	0,6	0,4
8,2	2,8	1,6	52,2	17,2	10,4	26,2	8,8	5,2	17,4	5,6	3,4	13,0	4,4	2,6
2,0	0,8	0,4	12,8	4,0	2,4	6,6	2,2	1,4	4,2	1,2	0,8	3,2	1,0	0,6
0,8	0,2	0,2	5,2	1,8	1,0	2,6	0,8	0,6	1,8	0,6	0,4	1,4	0,4	0,2
5,8	2,0	1,0	36,8	12,4	7,2	19,0	6,4	3,8	12,4	4,0	2,4	9,4	3,0	1,8
1,4	0,4	0,2	9,2	2,8	1,6	4,8	1,6	1,0	3,0	0,8	0,4	2,4	0,8	0,4
0,6	0,2	0,2	3,6	1,2	0,8	2,0	0,6	0,4	1,2	0,4	0,2	1,0	0,4	0,2
4,2	1,4	0,8	26,8	8,8	5,2	13,6	4,6	2,8	8,8	2,8	1,6	6,8	2,2	1,2
1,0	0,4	0,2	6,4	2,0	1,2	3,4	1,4	0,6	2,0	0,6	0,4	1,6	0,6	0,4
0,4	0,2	0,1	2,6	0,8	0,1	1,4	0,4	0,2	0,8	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2
3,0	1,0	0,6	18,8	6,0	3,8	9,6	3,2	2,0	6,2	2,0	1,2	5,2	1,6	1,0
0,8	0,2	0,2	4,4	1,2	0,8	2,4	0,8	0,4	1,4	0,4	0,2	1,0	0,4	0,2
0,4	0,2	0,1	1,8	0,6	0,4	1,0	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2
см/с														
6,6	2,2	1,2	44	16,6	8,8	22,4	7,4	4,4	14,6	4,4	2,6	11,0	3,6	2,2
1,8	0,6	0,4	9,6	3,6	2,2	5,8	1,8	1,4	3,6	0,8	0,8	2,6	0,8	0,6
0,6	0,2	0,2	4,4	1,1	0,8	2,2	0,8	0,4	1,4	0,4	0,2	1,2	0,4	0,2
4,4	1,4	0,8	29,0	9,6	5,2	14,6	4,8	3,0	9,6	3,0	1,8	6,6	2,2	1,4
1,4	0,4	0,4	8,8	1,8	1,4	3,6	1,4	0,8	2,2	0,6	0,4	1,8	0,4	0,4
0,4	0,2	0,1	3,0	1,0	0,6	1,4	0,4	0,4	1,0	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2
3,6	0,8	0,8	22,8	7,0	4,4	11,4	4,0	2,2	5,2	2,2	1,4	5,8	1,8	1,4
0,8	0,2	0,1	5,2	1,8	1,4	2,8	0,8	0,6	0,8	0,6	0,4	1,4	0,4	0,4
0,4	0,1	0,1	2,2	0,8	0,4	1,2	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2

фильтрации K неосушенных болот значения П определяются по интерполяции значениями ξ, ξ_0 и K_0.

Таблица 4.15

Значения коэффициентов преобразования максимальных модулей и слоев стока весеннего половодья при осушении моховых болот верхового типа

p %	$M_{н.\ о/р}$ л/(с·км²)	Глубина залегания водоупора T, м																	
		0				1				3				10		>10			
		Расстояние между осушителями L, м																	
		10	25	50	100	10	25	50	100	10	25	50	100	50	100	10	25	50	100
3	250	0,7	0,32	0,2	0,1	1,35	0,5	0,27	0,13	1,5	0,6	0,3	0,1	0,5	0,25	2,0	0,75	0,55	0,32
5	140	0,95	0,55	0,35	0,15	1,4	0,65	0,4	0,2	1,66	0,78	0,4	0,18	0,58	0,37	2,15	0,9	0,63	0,44
10	90	1,2	0,77	0,40	0,18	1,65	0,9	0,55	0,23	1,9	1,1	0,75	0,38	0,75	0,52	2,45	1,15	0,84	0,6
25	43	2,1	1,2	0,62	0,27	3,1	1,55	0,81	0,38	4,1	2,18	1,25	0,6	1,37	0,8	4,5	2,3	1,5	0,97
50	25	2,7	1,4	0,8	0,4	4,25	2,0	1,03	0,55	5,8	3,0	1,6	0,8	1,84	1,1	6,25	3,6	2,15	1,3
75	18	3,3	1,5	0,88	0,47	6,0	2,75	1,27	0,65	7,4	3,5	1,8	0,9	2,4	1,3	7,65	3,9	2,6	1,65
90	14	4,0	1,6	0,92	0,5	7,7	3,75	1,48	0,7	9,3	4,0	1,9	1,0	3,3	1,45	10,6	5,2	2,9	1,9
95	12	4,5	1,65	0,98	0,53	8,75	4,25	1,81	0,74	10,5	4,2	2,0	1,05	3,75	1,53	12,5	5,6	3,2	2,04
p %	$h_{н.\ о/р}$ мм																		
3	200	1,3	1,1	0,7	0,4	1,26	1,24	1,02	0,54	1,3		1,2	0,7	1,26	1,03		1,3	1,26	1,16
5	170	1,4	1,15	0,75	0,42	1,36	1,3	1,06	0,56	1,34		1,22	0,75	1,3	1,05		1,36	1,32	1,18
10	120	1,45	1,25	0,80	0,45	1,5	1,42	1,14	0,58	1,45		1,25	0,80	1,4	1,1		1,51	1,42	1,24
25	100	1,5	1,3	0,85	0,50	1,6	1,5	1,18	0,6	1,57		1,30	0,85	1,5	1,16		1,6	1,49	1,31
50	80	1,6	1,37	0,9	0,55	1,7	1,55	1,23	0,64	1,66		1,45	0,95	1,58	1,28		1,7	1,62	1,42
75	60	1,8	1,45	1,0	0,58	1,8	1,65	1,38	0,69	1,8		1,7	1,05	1,75	1,4		1,92	1,85	1,53
95	30	2,75	1,75	1,15	0,65	2,75	2,3	1,67	0,77	2,8		2,5	1,5	2,5	1,72		2,74	2,53	1,95

Примечания. 1. Глубина залегания водоупора отсчитывается от дна осушителей. 2. Коэффициент фильтрации осушенной торфяной залежи $K_0 = 0{,}001$ см/с, водоотдачи — 0,1. 3. При $2L/T < 3$ $T \gg 10$.

Необходимость количественной оценки влияния УТ на максимальные расходы воды весеннего половодья и дождевых паводков вызывается как все возрастающей значимостью последней, так и тем, что к настоящему времени вопрос этот не изучен в должной мере и не отражен в нормативных документах.

4.4.1. Оценка и учет влияния УТ на максимальный сток весеннего половодья. Расчет максимальных расходов воды рек на территории СССР производится согласно работам [93, 100]. При отсутствии данных гидрометрических наблюдений рекомендована формула, аналогичная формуле (4.10):

$$Q_p = K_0 h_p \mu \, \delta\delta_1 \, \delta_2 \, \delta_3 F_з / (F + F_1)^n. \qquad (4.27)$$

Для оценки влияния УТ на максимальный сток за основу приняты зависимости:

$$h_0 = f(f_{УТ}), \qquad (4.28)$$

$$K_0 = f(f_{УТ}), \qquad (4.29)$$

где $f_{УТ}$ — **площадь УТ в процентах общей** площади водосбора, остальные обозначения как в формуле (4.10). Анализ зависимостей (4.28) и (4.29) проведен по данным гидрологических наблюдений на 32 водосборах малых рек северо-запада европейской части СССР с периодом надежных наблюдений не менее 10 лет. Площадь УТ определялась по топографическим картам крупного масштаба и уточнялась по данным проектных институтов, имеющих к этому вопросу непосредственное отношение.

На рис. 2.12 изображена зависимость (4.28). Здесь влияние на средний многолетний слой стока весеннего половодья h_0 озерности, залесенности и распаханности водосбора учтено поправками, полученными в работе [100]. Наблюдается тенденция увеличения слоя стока с возрастанием площади УТ. Основная причина этого — уменьшение потерь на фильтрацию на УТ и, следовательно, увеличение коэффициента поверхностного стока. Коэффициент корреляции связи $r = 0{,}67$, относительное среднее квадратическое отклонение $\sigma = 6\ \%$.

На основе уравнения прямой линии вида

$$h_0 = 2{,}9 f_{УТ} + 129, \qquad (4.30)$$

получена структура поправочного коэффициента, учитывающего влияние УТ на объем (слой) весеннего половодья

$$\delta_{h_0} = 1 + 0{,}02 f_{УТ}. \qquad (4.31)$$

На рис. 4.4 *а* показан график зависимости (4.29). Здесь значение K_0 освобождено от влияния всех местных факторов и хозяйственной деятельности путем решения уравнения (4.27) относительно K_0. На рис. 4.4. *а* видна хорошая корреляция между фактическими и расчетными данными. При этом коэффициент корреляции $r = 0{,}86 \pm 0{,}04$ и среднее квадратическое отклонение

$\sigma = 14\ \%$. С увеличением площади УТ значения параметра K_0 уменьшаются, причем очень существенно.

Аналитическое выражение связи (4.29) имеет вид

$$K_0 = 0{,}014\,(f_{УТ} + 1)^{-0{,}67}. \qquad (4.32)$$

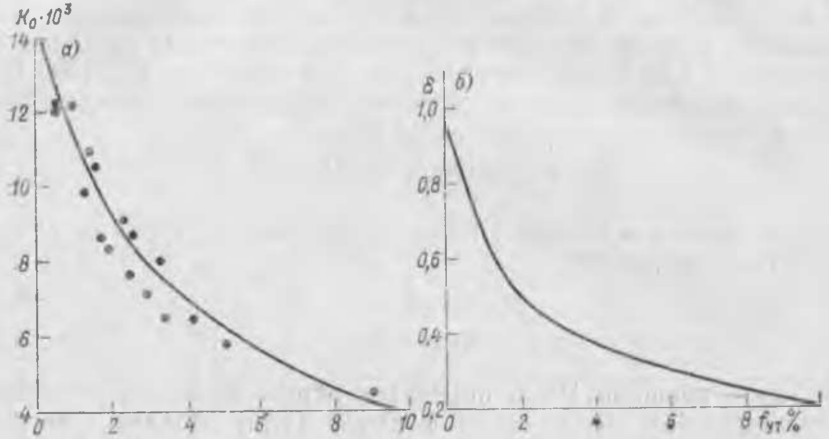


Рис. 4.4. Зависимость параметра K_0 (*а*) и поправочного коэффициента к параметру K_0 (*б*) от степени урбанизации водосбора.

В результате поправочный коэффициент, учитывающий влияние УТ на максимальный расход весеннего половодья, согласно рис. 4.4 *б*, может иметь вид

$$\delta_Q = (f_{УТ} + 1)^{0,7}. \qquad (4.33)$$

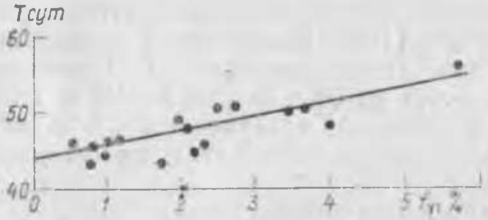


Рис. 4.5. Зависимость продолжительности весеннего половодья от степени урбанизации водосбора.

Можно заключить, что УТ на водосборе способствует увеличению объема весеннего половодья и снижению его максимального расхода. Парадоксальность характера влияния УТ на элементы весеннего половодья имеет, однако, научное объяснение. Участки под УТ имеют повышенный коэффициент стока, способствующий, как уже отмечалось, увеличению объема половодья. В то же время создаются условия, приводящие к неравномерной интенсивности снеготаяния и, следовательно водоотдаче из снега и водопритоку к руслу реки. Такой характер водоотдачи из снега и водопритока к руслу приводит к распластыванию волны паводка и увеличению продолжительности весеннего половодья (рис. 4.5).

В табл. 4.16 приведены результаты учета влияния УТ на максимальные расходы воды с вероятностью ежегодного превышения $p=1$ %, определенные по формуле (4.27) без учета и с учетом поправочных коэффициентов по формулам (4.31), 4.33). Сопоставления выполнены по рекам Мге, Воложбе, Оредежи и Охте. Без учета влияния УТ погрешности расчетов по формуле (4.27) составляют 26—137 %, с учетом влияния УТ — соответственно 3—3,8 %.

Таблица 4.16

Оценка точности расчета максимальных расходов воды весеннего половодья без учета влияния УТ (числитель) и с учетом (знаменатель) по формуле СНиПа

Река—пункт	Q_p м³/с		Погрешность расчета, %
	фактические	расчетные	
р. Мга — д. Горы	140	175/159	25/16
р. Оредеж — пгт Вырица	116	275/161	137/38
р. Воложба — д. Пореево	149	212/145	42/3
р. Охта — Новое Девяткино	72	119/68	65/5

Примечание. Результаты исследований заимствованы из статьи В. В. Барсукова в журнале „Проектирование и инженерное изыскание", № 4, 1988 г.

4.4.2. Учет влияния УТ на максимальные расходы воды дождевых паводков. При наличии данных гидрометрических наблюдений влияние УТ учитывается по формуле

$$Q_{д_p} = K_q q_p F^n F_{УТ}/F_{УТ}^n, \tag{4.34}$$

где $K_q = q_{УТ}/q_a$ — параметр, характеризующий отношение максимального модуля стока с УТ к максимальному модулю стока реки-аналога q_a; q_p — модуль стока реки-аналога вероятностью превышения p; F и $F_{УТ}$ — соответственно площадь водосбора реки-аналога и УТ; n — коэффициент редукции модуля максимального стока воды с увеличением площади водосбора.

При отсутствии данных наблюдений влияние УТ на максимальные расходы дождевых паводков на водосборах от 40 до 200 км² определяется по формуле предельной интенсивности стока:

$$Q_p = q_{1\,\%}\alpha H_{1\,\%}\lambda_p F_y, \tag{4.35}$$

где q_p — максимальный модуль стока ежегодной вероятностью превышения 1 %, выраженный в долях произведения $\alpha H_{1\,\%}$; α — коэффициент стока: $H_{1\,\%}$ — максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения 1 %; λ_p — коэффициент перехода от максимальных мгновенных значений расходов воды ежегодной

вероятностью превышения 1 % к максимальным расходам воды с другой вероятностью превышения; $F_{УТ}$ — площадь урбанизированного водосбора.

Для учета влияния УТ на максимальные расходы дождевого паводка, формирующегося на водосборах с большими площадями (200—2000 км²), могут быть использованы эмпирические редукционные формулы. Область применения формул для различных природных зон указана в табл. 4.17.

Таблица 4.17

Область применения формул (4.34) и (4.35) для расчета максимальных расходов дождевых паводков

Природная зона	По формуле предельной интенсивности стока (4.35)	По эмпирическим редукционным формулам (4.34)
	Площадь водосбора, км²	
Равнинная территория		
Тундровая и лесная	<50	от 50 до 50 000
Лесостепная	<100	от 100 до 20 000
Степная	<100	от 100 до 5 000
Засушливых степей	<100	от 100 до 1 000
Полупустынная	<100	
Горные районы (абсолютные отметки высот от 500 до 2000 м)		
Кавказ	<100	от 100 до 5 000
Карпаты	<100	от 100 до 10 000
Крым	<200	от 200 до 1 000
Прочие районы	<100	от 100 до 10 000

Примечание. При проектировании сооружений на реках с площадями водосборов, превышающими пределы, указанные в таблице, результаты расчетов должны проверяться инженерно-гидрометеорологическими изысканиями.

Максимальный модуль стока определяется по рекомендациям [100] с учетом гидроморфометрической характеристики русла исследуемой реки $\Phi_р$ и общей продолжительности добегания стока к расчетному створу τ

$$\Phi_р = 10^3 L/[\varkappa_р i_р^{\varkappa} F^{0,25} (\alpha H)^{0,25}], \qquad (4.36)$$

где L — длина реки, км; $\varkappa_р$ — гидравлический параметр русла; $i_р$ — средневзвешенный уклон реки (русла), ‰.

$$\tau = \tau_с + \tau_р + \tau_л + \tau_{тр}, \qquad (4.37)$$

где $\tau_с$, $\tau_р$, $\tau_л$, и $\tau_{тр}$ — соответственно время добегания дождевых вод по склонам, руслу, лоткам и трубам до расчетного створа

(мин), определяемое по следующим формулам:

$$\tau_c = (10^3 \bar{l}_c)^{0,5} / [m_c I_c^{0,25} (q/16,7)^{0,25}], \quad (4.38)$$

$$\tau_p = 10^3 L / (m_p I_p^{0,33} F^{0,25} q^{0,25}), \quad (4.39)$$

$$\tau_л = 1,25 l_л / v_л, \quad (4.40)$$

$$\tau_{тр} = r \sum l_{тр} / v_{тр}, \quad (4.41)$$

где $\bar{l}_c$, $l_л$ и $l_{тр}$ — соответственно длина склона, длина лотка и расчетных участков коллектора, м; $v_л$ и $v_{тр}$ — скорость движения дождевых вод в конце лотка и по коллекторам, м/мин; m_c и m_p — коэффициенты, зависящие от шероховатости склонов водосбора и русла реки (табл. 4.18 и 4.19); I_c и I_p — средний уклон склона и русла реки, ‰ r — коэффициент, зависящий от клима-

Таблица 4.18

Значения параметров $\varkappa$ и $\varkappa_p$ по формуле (4.36)

Характеристика русла и поймы	$\varkappa$	$\varkappa_p$ м/мин
Чистые русла постоянных равнинных рек; русла периодически пересыхающих водотоков (сухих логов)	1/3	11
Извилистые, частично заросшие русла больших и средних рек; периодически пересыхающие водотоки, несущие во время паводка большое количество наносов	1/3	9
Сильно засоренные и извилистые русла периодически пересыхающих водотоков	1/3	7
Реки со средними уклонами русла $i \geqslant 35‰$	1/7	10

Таблица 4.19

Коэффициенты m_c для склонов

Характеристика поверхности склонов	Характеристика травяного покрова склонов		
	редкий или отсутствует	обычный	густой
Гладкие поверхности (асфальт, бетон)	0,50	—	—
Укатанная спланированная грунтовая поверхность, такыровидные равнины	0,40	0,30	0,25
Поверхность, хорошо обработанная вспашкой и боронованием; невспаханная, без кочек; булыжная мостовая; поверхность в населенных пунктах с площадью застройки менее 20 %	0,30	0,25	0,20
Грубо обработанная вспашкой поверхность, таежные завалы, кочковатая, поверхность в населенных пунктах с площадью застройки более 20 %	0,20	0,15	0,10

тических условий и рельефа, при уклонах поверхности земли $<0{,}03\,‰$. $r=2{,}0$; при уклонах $>0{,}03\,‰$ $r=1{,}2$ [56]; остальные обозначения прежние.

В зависимости от расположения УТ по отношению к водотоку расчет полного времени добегания выполняется или до расчетного створа, учитывающего сток воды непосредственно с УТ, или до расчетного створа, замыкающего водосбор, в пределах которого расположены УТ. При этом τ рассчитывается с учетом расстояния от наиболее удаленной точки на водосборе до расчетного створа и времени поступления стока с УТ по длине реки. В случае значительного удаления УТ от реки расчет полного времени добегания определяется по сумме $\tau_р$ и $\tau_с$.

Коэффициент α для естественных склонов равнинных рек при наличии реки-аналога определяется по формуле

$$\alpha = \frac{q_{1\,\%}}{16{,}67\overline{\Psi}(\tau_0)\,\delta H_{1\,\%}} \left(\frac{i_в}{i_{в,\,а}}\right)^n \left(\frac{F_а+1}{F+1}\right)^{n_1}, \qquad (4.42)$$

где 16, 67 $\overline{\Psi}(\tau_0)$ — значение ординаты кривой редукции осадков, определяемое по рекомендациям [100]; $i_в$ $i_{в,\,а}$ — средний уклон

Таблица 4.20

Значения параметров α_0 (числитель) и n (знаменатель) в формулах (4.42) и (4.44) в зависимости от природной зоны, типа и механического состава почв

Природная зона	Тип почв	Механический состав почв		
		глинистый и тяжелосуглинистый	среднесуглинистый и суглинистый	супесчаный, песчаный, меловой, трещиноватый
Лесотундра и лесная	Глеево-подзолистые на плотных породах (включая глеево-мерзлотно-таежные), глеево-болотные оглеены	0,42/0,50	0,28/0,65	0,23/0,80
	Тундрово-глеевые, глеево-болотные, подзолистые, серые лесные	0,56/0,50	0,38/0,65	0,30/0,80
Лесостепная	Подзолистые, серые лесные, черноземы мощные на плотных породах, светло- и темно-серые оподзоленные	0,66/0,60	0,54/0,70	0,27/0,90
	Черноземы выщелоченные типичные, обыкновенные, южные, темно-каштановые	0,59/0,70	0,22/0,85	0,14/1,00
Степная и засушливых степей	Черноземы выщелоченные типичные, южные	0,18/0,80	0,10/0,90	0,05/1,00
	Каштановые, сероземы малокарбонатные; карбонатные	0,29/0,90	0,14/0,90	0,12/1,00
	Такыровидные	0,80/1,00	0,20/1,00	—

водосборов исследуемой реки и реки-аналога, ‰; n — принимается по табл. 4.20; n_1 — принимается для лесотундры и лесной зоны равным 0,07, для остальных природных зон $n_1 = 0{,}11$; $\tau_б$ — продолжительность бассейнового времени добегания (мин), определяется по формуле

$$\tau_б = 1{,}2\tau_р^{1{,}1} + \tau_с. \qquad (4.43)$$

При отсутствии рек-аналогов коэффициент стока α для равнинных рек определяется по формуле

$$\alpha = C\alpha_0 (0{,}02 i_в)^n / (F+1)^{n_1}, \qquad (4.44)$$

где C — эмпирический коэффициент, для лесной и тундровой зон $C = 1{,}2$; для остальных природных зон $C = 1{,}3$; α_0 — общий коэффициент стока для водосбора площадью $F = 10$ км², со средним уклоном водосбора $i_в = 50$ ‰, определяется по табл. 4.20.

Для горных рек значение α определяется по прил. 2 из работы [100].

Коэффициент стока α для отдельных видов водопроницаемых и водонепроницаемых площадей УТ рекомендуется выбирать по табл. 4.21.

Таблица 4.21

Коэффициенты паводочного стока для различных поверхностей в зависимости от суточного слоя осадков (числитель — <150 м, знаменатель >150 мм) [69]

Род поверхности	Площадь водосбора, км²		
	<10	10—100	>100
Кровля, асфальтовые и бетонные покрытия дорог	1,00	1,00	0,00
Брусчатые мостовые и щебенчатые покрытия дорог	0,85 / 0,95	0,85 / 0,95	0,80 / 0,90
Булыжные мостовые	0,80 / 0,90	0,75 / 0,90	0,70 / 0,80
Щебеночные покрытия, не обработанные вяжущим материалом	0,80 / 0,85	0,75 / 0,85	0,65 / 0,80
Гравийные садово-парковые дорожки	0,70 / 0,85	0,60 / 0,80	0,55 / 0,75
Грунтовые поверхности спланированные	0,60 / 0,80	0,50 / 0,70	0,40 / 0,60
Газоны	0,55 / 0,75	0,40 / 0,55	0,25 / 0,50

Примечание. Для кровли, асфальтовых и бетонных покрытий дорог зависимости от суточного слоя осадков не выявлено.

Общий коэффициент паводочного стока $\bar{\alpha}$ определяется как средневзвешенное из произведений частных значений α и площадей характерных подстилающих поверхностей $f_1, \ldots, f_n$, выраженных в процентах площади водосбора:

$$\bar{\alpha} = 0{,}01\,(\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \ldots + \alpha_n f_n). \qquad (4.45)$$

Максимальный суточный слой осадков H_p вероятностью превышения 1 % определяется по данным ближайших к УТ метеорологических станций, имеющих наибольшую продолжительность ряда наблюдений.

Переходные коэффициенты λ_p от максимальных расходов воды ежегодной вероятностью превышения 1 % к максимальным расходам воды другой вероятности превышения находятся в соответствии с рекомендациями работы [100].

4.5. Влияние прудов и водохранилищ на максимальные расходы воды

Снижение максимальных расходов воды $Q_{\text{макс}}$ зависит не только от соотношения между суммарным регулирующим объемом и речным стоком, но и от расположения водоемов в бассейне реки. Наибольшее уменьшение $Q_{\text{макс}}$ наблюдается в том случае, когда пруды и водохранилища расположены в низовьях основной реки вблизи от расчетного створа, наименьшее — при расположении прудов и водохранилищ на притоках в верхней части речного бассейна.

Коэффициент снижения $Q_{\text{макс}}$ весеннего половодья или дождевого паводка может быть определен по формулам:

$$\delta = 1 - W_{\text{пр}}/Y_{\text{е}}, \qquad (4.46)$$

или

$$\delta = 1 - W_{\text{пр}}/(Y_{\text{б}} + W_{\text{пр}}), \qquad (4.47)$$

где $Y_{\text{е}}$ — естественный речной сток весеннего половодья и дождевых паводков, млн м^3; $Y_{\text{б}}$ — бытовой сток, измененный хозяйственной деятельностью, млн м^3; $W_{\text{пр}}$ — суммарный регулирующий объем, условно приведенный к замыкающему створу с учетом расположения водохранилищ и прудов на водосборе и определяемый по формуле геометрического взвешивания:

$$W_{\text{пр}} = \frac{1}{F} \sum_{1}^{n} (W_i F_i), \qquad (4.48)$$

где F — общая площадь водосбора, W_i, F_i — соответственно регулирующие объемы и частные водосборные площади водохранилищ (прудов).

При большом числе искусственных водоемов в бассейне реки, когда расчет по формулам (4.46) и (4.47) весьма труден, коэф-

фициент снижения $Q_{макс}$ можно определить приближенно по формуле

$$\delta = 1 - KW_д/Y_e, \qquad (4.49)$$

где $W_д$ — суммарный объем в прудах и водохранилищах или дополнительные безвозвратные потери на испарение с водной поверхности водоемов и на водозабор для хозяйственных нужд (орошение, водоснабжение и пр.), млн м^3; $K = W_{пр}/W_д$ — коэффициент приведения, учитывающий расположение водохранилищ на водосборе.

В первом приближении значения $K = 0{,}8 \ldots 1{,}0$, если основные регулирующие объемы сосредоточены в нижнем течении главной реки; $K = 0{,}3 \ldots 0{,}5$, если основные регулирующие объемы равномерно располагаются по течению главной реки; $K = 0{,}1 \ldots 0{,}2$, если основные регулирующие объемы располагаются в верхнем течении главной реки и ее притоков.

Далее следует способ, надежно учитывающий влияние небольшого числа водохранилищ (1—3) в речном бассейне на максимальные расходы воды при наличии соответствующих материалов наблюдений.

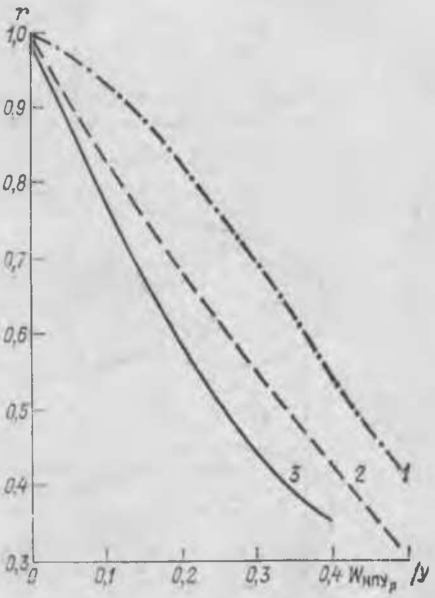


Рис. 4.6. Зависимость $r = f(W_{НПУ_р}/Y)$ при пропуске стока половодья: через водослив без затвора (*1*), через донный водосброс (*2*) и через водослив с затворами на гребне (*3*).

Влияние прудов и водохранилищ на максимальный расход $Q_{макс}$ и объем половодья Y_e зависит главным образом от степени регулирования, конструкции и режима работы водосбросного сооружения, а также от формы гидрографа и кривой объемов водохранилищ.

Степень регулирования паводочного стока (значения максимального сбросного расхода $q_{макс}$) определяется отношением регулирующего объема при нормальном подпорном уровне к объему стока за период расчетного половодья $W_{НПУ_р}/Y_{e_р}$ и характеризуется коэффициентом зарегулированности r:

$$r = q_{макс}/Q_{макс}. \qquad (4.50)$$

Для определения r на рис. 4.6 приведен график $r = f(W_{НПУ_р}/Y)$, построенный по результатам обобщения данных

математического моделирования процесса трансформации паводочного стока для средних условий [45].

Влияние водоема, расположенного выше расчетного створа *2* (рис. 4.7 *а*), на максимальный расход при наличии данных наблю-

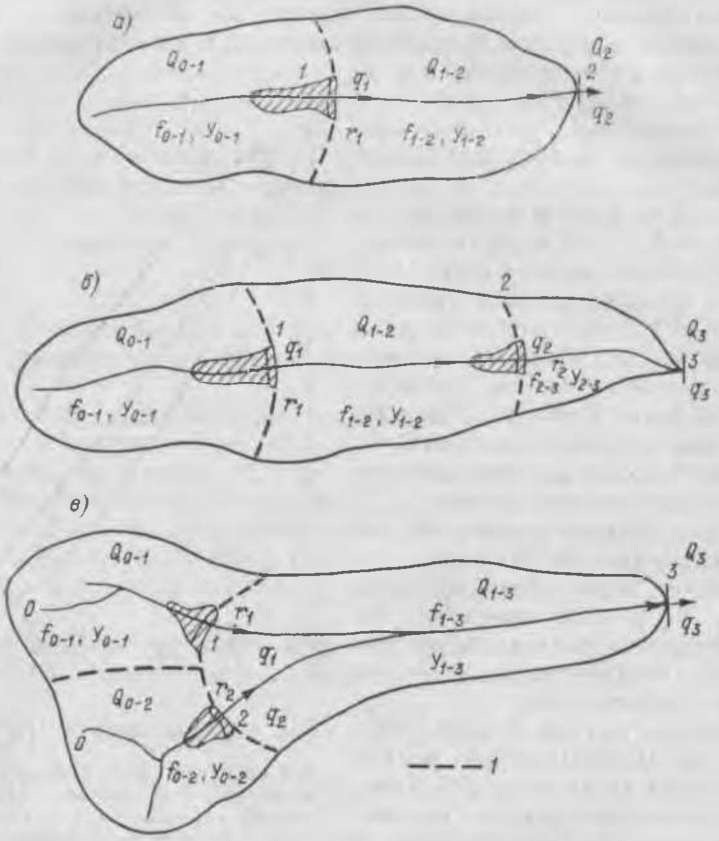


Рис. 4.7. Схемы расчетных бассейнов при наличии одного водохранилища (*а*), при каскадном (*б*) и при веерообразном (*в*) расположении двух водохранилищ.

1 — границы участков.

дений за стоком $Q_{макс}$ и $q_{макс}$ может быть определено упрощенно по формуле

$$q_{2_{макс}} = Q_{2_{макс}}[\alpha r_1 + (1 - \alpha)], \qquad (4.51)$$

где $q_{2_{макс}}$ и $Q_{2_{макс}}$ — соответственно зарегулированный и естественный расходы воды в створе *2*; r_1 — коэффициент зарегулированности стока с площади f_{0-1}.

$$r_1 = q_{1_{макс}}/Q_{2_{макс}}, \qquad (4.52)$$

где α — коэффициент долевого участия расходов с площади f_{0-1} в формировании максимального расхода со всего бассейна, определяется по формуле

$$\alpha = Q_{0-1p}/Q_{0-2\text{макс}}. \quad (4.53)$$

Коэффициент α может быть установлен по аналогии с его значениями, приведенными в табл. 4.22 для трех категорий рек [44].

Таблица 4.22

Коэффициенты долевого участия стока с верхней части водосбора α в формировании максимального расхода воды со всего бассейна

Время добегания τ_{0-2} сут	Время добегания до водохранилища τ_{0-1} сут				
	1	2	3	4	5
			Реки низменностей		
2	0,50	1,00			
3	0,16	0,59	1,00		
4	0,09	0,24	0,57	1,0	
5	0,04	0,10	0,35	0,40	1,00
			Реки возвышенностей		
2	0,30	1,00			
3	0,08	0,28	1,00		
4	0,07	0,07	0,28	1,00	
5	0,05	0,05	0,16	0,62	1,00
			Реки предгорий		
2	0,60	1,00			
3	0,16	0,52	1,00		
4	0,05	0,17	0,59	1,00	
5	0,02	0,07	0,23	0,58	1,00

Объем притока воды к водохранилищу за период половодья, необходимый для определения r по графику на рис. 4.6, определяется в зависимости от соотношения площадей:

$$y_{0-1} = y_{0-2} f_{0-1}/F_{0-2}. \quad (4.54)$$

Влияние водоема на максимальный расход воды при наличии данных наблюдений за стоком $Q_{\text{макс}}$ и $q_{\text{макс}}$ может быть определено по формуле (2.42).

При отсутствии сведений о расходах воды учет регулирующего влияния водохранилищ в бассейне реки выше расчетного створа может быть установлен приближенно по значениям максимальных расходов $Q_{\text{макс}}$ и объемов паводочного стока Y для всего бассейна и отдельных его частей, определенных в соответствии с ре-

комендациями [91]. При этих условиях влияние водохранилищ на максимальный расход учитывается по следующим формулам:

при расположении водохранилища на основном водотоке выше расчетного створа (см. рис. 4.7 *а*)

$$q_{2\text{макс}} = Q_{2\text{макс}}\,(rf_{0-1} + f_{1-2})/F_2; \qquad (4.55)$$

при двух водохранилищах на основном водотоке (см. рис. 4.7 *б*)

$$q_{3\text{макс}} = Q_{3\text{макс}}\,[(f_{0-1}r_1 + f_{1-2})\,r_2 + f_{2-3}]/F_3; \qquad (4.56)$$

при веерном расположении двух водохранилищ (см. рис. 4.7 *в*)

$$q_{3\text{макс}} = Q_{3\text{макс}}\,(f_{0-1}r_1 + f_{0-2}r_2 + f_{1-3})/F_3; \qquad (4.57)$$

при трех водохранилищах

$$q_{4\text{макс}} = Q_{4\text{макс}}\,(f_{0-1}r_1 + f_{0-2}r_2 + f_{0-3}r_3 + f_{1-4})/F_4. \qquad (4.58)$$

При комбинированном расположении водохранилищ расчетные формулы могут быть составлены путем сочетания формул (4.55)—(4.58).

В случае когда водохранилища расположены в нижней части бассейна, а боковой приток между ними не превышает 10—15 % объема стока основной реки в замыкающем створе, участием данного бокового притока при оценке регулирующего влияния водохранилищ можно пренебречь. В этих условиях влияние каскада водохранилищ может быть установлено в виде коэффициента зарегулированности системой водохранилищ:

$$r_c = q_{\text{макс}}/Q_{\text{макс}} = r_1 r_2 \cdot \cdot \cdot r_n, \qquad (4.59)$$

где r_1, r_2, ..., r_n — коэффициенты зарегулированности максимального расхода в каждом водохранилище, установленные на рис. 4.6.

Учитывая возможность значительной редукции дождевых осадков и существенное разнообразие их выпадения по площади, при оценке регулирующего влияния на максимальный дождевой сток целесообразно сопоставить вычисленный зарегулированный максимум $q_{\text{макс}}$ с естественным максимальным расходом с незарегулированной части водосбора $Q_{\text{макс}}$, например с f_{1-2} (см. рис. 4.7 *а*) или с f_{2-3} и f_{1-3} (см. рис. 4.7 *б*, *в*), и принять большее из этих двух значений для определения размера водосброса, границ возможного затопления территории и т. п.

Влияние трех и более водохранилищ на снижение максимального расхода водотока может быть установлено по сумме регулирующих объемов W по формулам (4.46)—(4.49).

При каскаде водохранилищ максимальные расходы воды в многоводные годы могут быть значительно увеличены вследствие прорыва одной или нескольких плотин. Такие случаи рассматриваются в специальной литературе по регулированию стока.

5. Рационализация водопользования с учетом влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек — охрана природных вод от истощения

В настоящее время, как никогда ранее, нарушилось равновесие в балансе вод. Практика использования природных вод для хозяйственных нужд без должного учета влияния различных видов хозяйственной деятельности на естественный водный баланс и сток рек приводит, как правило, к негативным явлениям, о которых известно из прессы и специальной литературы [77]. Все это свидетельствует о нерациональном использовании водных ресурсов, немаловажной причиной которого являлось отсутствие рекомендаций по учету различных видов антропогенного влияния на сток рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования.

На примере преобразования стока рек под влиянием, например, агролесомелиораций, лесохозяйственных мероприятий и орошаемого земледелия показана практическая сущность рационализации водопользования. Из малых рек складываются большие реки, следовательно, изменения в стоке малых рек под влиянием антропогенных воздействий должны отразиться на стоке средних и больших рек. Безвозвратные потери в стоке малых рек в сумме обязательно составят безвозвратные потери в стоке больших рек.

В главах 2—4 изложены методики оценки и учета влияния различных видов хозяйственной деятельности на сток рек и характеристики стока. Однако вопросы, как осуществить оптимизацию в решении задач по рациональному водопользованию и на этой основе решить проблему охраны природных вод от истощения, остаются открытыми.

Метод, основанный на использовании ландшафтно-гидрологического принципа в изучении элементов водного и теплового балансов малых рек и их изменений под влиянием отдельных видов хозяйственной деятельности, имеет, как уже отмечалось в п. 2.1, преимущество перед всеми ныне существующими методиками.

Модель учета преобразования стока рек вод влиянием различных видов хозяйственной деятельности подробно описана в гл. 3.

Практическая реализация модели основана на математическом описании зависимостей стока и его антропогенных изменений от стокоформирующих факторов, или на эмпирико-генетических формулах, позволяющих в настоящее время достаточно надежно рассчитать изменение стока [29].

Структура формул в гл. 3 и 4 позволяет осуществить вариантные расчеты при задании различных входных параметров, определяющих масштаб возможных преобразований стока на речном

водосборе: площадей под сельскохозяйственными полями (орошаемыми и неорошаемыми), лесопосадками и лесоразработками на участках с различными уклонами склонов, глубинами залегания грунтовых вод и механическим составом почвогрунтов; уровня агротехнических приемов в земледелии; видового состава и возраста древесных насаждений при лесоразработках и лесовозобновлении.

Результаты вариантных расчетов (табл. 5.1, 5.2) позволяют принять оптимальный вариант расположения угодий на водосборе с учетом интересов водо-и землепользователей, не снижая при этом экономического эффекта от использования вод.

Рассмотрим это на отдельных примерах расчета.

Пример 1. Водосбор р. Карасу площадью 1500 км^2 расположен на территории Кустанайской области (Северный Казахстан). Водосбор распахан на 70%. Распаханы участки с уклонами склонов более 40‰ и глубинами залегания грунтовых вод >8 м. Около 40 % площади под пашней расположено на суглинистых почвогрунтах, остальная часть — на супесчаных или легкосуглинистых (см. табл. 5.1). Из реки ниже расчетного створа осуществляется водопой скота. Водообеспечение недостаточное даже в средние по водности годы.

Расчеты по первому существующему варианту распределения угодий на водосборе (см. табл. 5.2) определили изменение (уменьшение) среднегодового стока под влиянием распашки водосбора на 4,7 мм, или на 26 % среднегодового (бытового) стока.

Расчеты по второму варианту (с дополнительной распашкой склонов с уклонами менее 20‰ на супесчаных почвах, вместо участков с уклонами более 80‰) определили сокращение уменьшения стока под влиянием агротехнических мероприятий почти на 2 мм, или на 15 % годового (бытового) стока, при сохранении посевной площади и валового сбора урожая и ликвидации дефицита водопотребления на водопой скота.

Расчеты по третьему варианту (дополнительная посадка полезащитных лесных полос на 15 % площади водосбора) определили сокращение уменьшения стока реки под влиянием агролесомелиораций на 1 мм, что составляет 5 % годового стока, при сокращении дефицита водопотребления на водопой скота на 80 % в маловодные годы (p=95 %) и увеличении валового сбора зерна с межполосных полей на 3—5 ц/га [120].

Расчет по четвертому варианту с заменой полезащитных лесных полос сплошными лесопосадками в приводораздельной зоне на супесчаных почвах на 30 % площади водосбора показал сильное (на 41 %) уменьшение годового стока даже в средний по водности год. Такое уменьшение стока до полного его прекращения в маловодные годы в еще большей степени увеличивает дефицит водопотребления, а замена лесных полос не способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Размещение угодий на водосборе по четвертому варианту не удовлетворяет водо- и землепользователей и поэтому не может быть рекомендо-

Таблица 5.1

Распределение на речных водосборах площадей с различными уклонами склонов f_I и глубинами залегания грунтовых вод f_H под пашней, лесом, лесными полосами на суглинистых (сг) и супесчаных (сп) почвогрунтах (в скобках — доля площади угодий $f_{I,\,H}$ на супесчаных почвах)

Река — пункт, площадь водосбора	Вариант распределения угодий	Площадь угодий, f %	Площади f_I в долях площади водосбора с уклонами I °/₀₀								Площади f_H в долях площади водосбора с глубинами залегания грунтовых вод H м							
			10	20	30	40	50	60	80	100	2	3	4	5	6	8	10	20
р. Карасу—устье (Северный Казахстан), $F = 1500$ км²	1	$f_п = 70$				(0,3)		0,2	0,2							0,2 (0,3)	0,2	
	2	$f_п = 70$	(0,2)	(0,2)	0,2	0,1							(0,4)	0,2	0,1			
	3	$f_п = 70$	(0,2)	(0,2)	0,2	0,1							(0,4)	0,2	0,1			
		$f'_{лсп} = 15$	(0,05)	(0,05)	(0,05)								(0,1)	(0,5)				
	4	$f_п = 70$			(0,3)	0,2			0,2							0,1 (0,3)	0,3	
		$f_л = 30$	(0,2)	(0,1)									(0,1)	(0,2)				
р. Черная—устье (лесная зона европейской части СССР), $F = 1000$ км²	1	$f_л = 100$		(0,2)		(0,2)		(0,2)		0,4		(0,3)		(0,3)		(0,3)	0,4	
	2	$f_л = 60$		(0,2)		(0,2)		(0,2)				(0,3)		(0,3)				
	3	$f_л = 40$		(0,2)		(0,2)							(0,4)					
	4	$f_л = 60$		(0,2)		(0,2)		(0,2)				(0,2)		0,2				
Лог без названия (Заволжье), $F = 50$ км²	1	$f_п = 80$			0,2	0,2	0,2	0,2								0,8 (0,6)		
	2	$f_п = 60$	0,3	0,2	0,1											0,7		
	3	$f_п = 70$	0,3	0,2	0,2											0,2		
		$f_{лсп} = 20$		0,1	0,1													

Таблица 5.2

Результаты расчета значений изменения годового стока малых рек под влиянием агролесомелиораций $\Delta Y_{п,\ лсп}$ и леса $\Delta Y_л$ (числитель — $p = 50$ %, знаменатель — $p = 95$ %)

Река — пункт	Номер варианта расчета	Годовые осадки $\overline{X}$ мм	Максимальные снегозапасы, мм		Жидкие осадки $\overline{x}$ мм	Годовой сток Y_p мм	Изменение стока			
							$\Delta Y_{п,\ лсп}$		$\Delta Y_л$	
			$\overline{S}$ (пашня)	$\overline{S}'$ (степь)			мм	%	мм	%
р. Карасу — устье	1	300	65	71	23	18	—4,7	—25		
						5	—4,2	—84		
	2	300	65	71	23	18	—2,8	—15		
						5	—3,8	—76		
	3	300	65	71	23	18	—3,8	—21		
						5	—3,9	—78		
	4	300	65	71	23	18	—4,3	—24	—3,1	—17
						5	—4,0	—80	—1,5	—30
р. Черная — устье	1	650	100	110	30	123			15,5	13
						60			5,8	10
	2	650	100	110	30	123			11,3	9
						60			2,8	5
	3	650	100	110	30	123			6,7	5
						60			—3,4	—6
	4	650	100	110	30	123	—4,7	—4	11,2	9
						60	—10,0	—16	—2,1	4
Лог без названия	1	300	65	71	23	20	—14,3	—72		
						4,5	—4,3	—100		
	2	300	65	71	23	20	—8,3	—41		
						4,5	—2,5	—55		
	3	300	65	71	23	20	—14,4	—72		
						4,5	—4,8	—100		

вано для практики. В качестве оптимального варианта размещения угодий на водосборе принимается третий вариант.

Пример 2. Водосбор р. Черной площадью 1000 км² расположен в зоне южной тайги и залесен на 100 %. Уклоны склонов изменяются в пределах 20—100 ‰, а глубины залегания грунтовых вод — в пределах 3—10 м. Около 60 % площади водосбора расположено на супесчаных почвогрунтах, остальная часть — на суглинистых (см. табл. 5.1). Река используется для лесосплава (попуски из прудов улучшают его условия) и для нерестилища ценных промысловых рыб.

Расчеты по первому варианту, т. е. при полной залесенности водосбора, показывают, что увеличение стока в реке только за счет залесенности составляет 16 мм, или 13 % среднегодового стока. Может ли отрицательно повлиять на водность реки, а следовательно, и на ее использование в хозяйственных целях сведение леса на 40—60% под пашни и сенокосные угодья? Вырубка леса на 40 % на участках с суглинистыми почвами и с глубинами залегания грунтовых вод 10 м и более и отведение этой территории под сельскохозяйственные угодья снизили бы повышенный сток за счет залесенности на 6,5 мм. Наиболее существенное, около 11 мм, снижение стока, повышенного за счет залесенности, было бы при сведении леса на 60 %.

Оптимальным вариантом размещения угодий на водосборе р. Черной оказался четвертый (см. табл. 5.2). Он удовлетворяет и водо-, и землепользователей. При этом 40 % леса должно быть сведено в приводораздельных частях водосбора, при сохранении запретных для рубки лесополос вдоль берегов основной реки и ее притоков. Интенсивность поступления талых вод в русло с приводораздельных стокоформирующих склонов водосбора после сведения леса увеличится в период весеннего половодья и летних паводков, и, следовательно, будет обеспечен сплав леса без дополнительных затрат на регулирование стока попусками из прудов. Свободная от леса территория может быть отведена под сенокосные угодья и в дальнейшем под сельскохозяйственные поля.

Пример 3. Водосбор лога без названия площадью 50 км² расположен в Нижнем Поволжье и распахан на 80 %. Участки под пашней имеют уклоны склонов 30—60 ‰, участки под залежью (целиной) в приводораздельной зоне имеют уклоны склонов <30 ‰ (см. табл. 5.1). До распашки водосбора сток воды в логу использовался для водопоя скота из временных запруд в русле. После распашки водосбора сток в логу уменьшился более чем на 70 %, а в маловодные годы (p=95 %) полностью прекращался. Место водопоя скота переместилось на 5 км, что отрицательно сказалось на продуктивности животноводства. Сокращение площади распашки на 20 % на склонах с уклонами >40 ‰ и отведение под распашку выгонов с уклонами <30 ‰ (вариант 2) способствует сокращению безвозвратных потерь в стоке на 6 мм, или на 31 % и, следовательно, аккумуляции 300 тыс. м³ воды

в прудах для водопоя и ликвидации дальнейшей эрозии прирусловых склонов. Около 200 тыс. м³ воды в прудах может быть израсходовано на орошение дождеванием ближайших к прудам полей площадью 4 км², урожайность которых с лихвой компенсирует сокращение посевной площади на 20 % площади водосбора лога.

Расчеты по третьему варианту расположения угодий на водосборе показали, что 70 % площади под пашней и 20% под лесными полосами (см. табл. 5.1) не способствуют сокращению безвозвратных потерь стока, однако приводят к увеличению урожайности сельскохозяйственных полей на богаре в среднем на 3,5 ц/га.

В качестве дополнительного примера в табл. 5.3 приводятся результаты вариантного расчета изменения стока при различном

Таблица 5.3

Результаты расчета значений изменения годового стока р. Малый Черемшан у с. Абдуловка ($F = 1230$ км²) под влиянием орошения

№ варианта расчета	Площади f_I (в долях площади водосбора) с уклонами I ‰			Площади f_H (в долях площади водосбора) с глубинами залегания грунтовых вод H м	
	6	10	22	3	5
			$f_{op} = 4809$ га		
1	0,012	0,022	0,005	0,005	0,030
			$f_{op} = 11\,921$ га		
2	0,028	0,061	0,007	0,089	0,007
3	0,012	0,022	0,063	0,089	0,007
4	0,028	0,061	0,007	0,089	0,007
5	0,012	0,022	0,063	0,089	0,007

№ варианта расчета	Площади f_H (в долях площади водосбора) с глубинами залегания грунтовых вод H м		Изменение стока ΔY_{op} в годы расчетной обеспеченности			
			$p = 50$ %		$p = 95$ %	
	10	15	мм	%	мм	%
			$f_{op} = 4809$ га			
1	0,001	0,003	—8,6	—7,5	—21,9	47,7
			$f_{op} = 11\,921$ га			
2	0,001	—	—20,8	—18,3	—50,4	—110
3	0,001	—	—8,7	—7,6	—44,5	—96,6
4	0,001	—	3,75	3,3	—8,31	—18,1
5	0,001	—	15,9	13,9	—2,34	—5,1

расположении орошаемых участков и различных параметрах оросительных систем в бассейне р. Малый Черемшан у с. Абдуловки (F=1230 км²).

На водосборе реки, расположенном в левобережной лесостепной части бассейна р. Волги, орошается 4809 га земель Орошаемые участки располагаются вблизи реки и ее притоков, полив обеспечивается водой из рек и 36 прудов и водохранилищ. В перспективе в бассейне предполагается увеличение орошаемых площадей до 11 929 га, из которых 2936 га будут орошаться местным стоком, для орошения остальных 8985 га планируется строительство оросительных систем на водоразделе рек Большая Сульча, Большой Черемшан и Малый Черемшан.

Расчеты по первому существующему варианту размещения угодий и при оптимальном режиме орошения показали уменьшение годового стока под влиянием орошения на 8,6 мм, или на 7,5 % среднегодового (бытового) стока. В маловодный год (p=95 %) сток уменьшился на 22 мм, или на 48 % годового стока.

Расчетами по второму варианту с дополнительным вводом орошаемых земель площадью 7112 га и при водообеспечении местным стоком установлено уменьшение стока на 21 мм, или на 18 % годового стока обеспеченностью p=50 %, и полное его исчезновение в год обеспеченностью p=95 %.

Если же вновь осваиваемые под орошение земли (7112 га) разместить на участках водосбора с уклонами 22 ‰ (третий вариант расчета), то сокращение уменьшения стока составит 12 мм, или 11 % среднегодового стока реки. В маловодном (p=95 %) году общее уменьшение стока составит 97 % годового.

Расчетами по четвертому варианту с водообеспечением 8985 га земель за счет планируемых оросительных систем на водоразделе стока (остальные 2936 га на местном стоке) отмечено увеличение среднегодового стока на 4 мм, или на 3,3 % годового стока (p=50 %), и уменьшение стока в маловодные годы (p=75 %) до 18 %.

Расчетами по пятому варианту (размещение вновь осваиваемых орошаемых земель на участках с преобладающими уклонами склонов 22 ‰) установлено увеличение среднегодового стока на 16 мм, или на 14 %, и уменьшение стока в маловодные годы (p=95 %) до 2,5 мм, или до 5 % годового стока реки.

Результаты вариантных расчетов (см. табл. 5.3) позволяют выбрать оптимальный вариант, удовлетворяющий водо-и землепользователей в бассейне р. Малый Черемшан. Таким вариантом может быть четвертый. По этому варианту обеспечивается потребность в воде на орошение сельскохозяйственных полей и нормальный санитарный водный режим в русле реки при обеспечении водозаборов на хозяйственные и производственные нужды. Результаты расчета по четвертому варианту показали сокращение водозабора из низовьев р. Шешмы на 12 мм в средний по водности год и, следовательно, сокращение финансирования планируемого строительства оросительных систем.

Аналогичная оптимизация в решении практических задач по учету влияния других видов хозяйственной деятельности (осушение, урбанизация, русловое регулирование и т. п.) в комплексе позволит в дальнейшем реализовать задачу рационального использования и охраны водных ресурсов малых рек.

В заключение следует сказать, что на основе повсеместного решения практических задач рационального использования местных водных ресурсов возможно дальнейшее планирование рационального размещения объектов водо- и землепользования в речных бассейнах. В противном случае будут возникать противоречия между водо- и землепользователями, а возможно, и неоправданные претензии на дополнительную подачу воды.

Кроме того, необходимо отметить, что результаты исследований по оценке и учету влияния различных видов хозяйственной деятельности на сток малых рек и его характеристики максимально приближены к решению задачи рационального использования водных ресурсов и охраны природных вод.

Если в настоящее время по-прежнему не предпринимать никаких мер по наведению порядка в использовании местных водных ресурсов, возможно возникновение противоречий между водо- и землепользователями и дорогостоящие переброски стока северных и сибирских рек в центральные и южные районы нашей страны. Следует реализовать на практике рекомендации по учету влияния каждого отдельного вида хозяйственной деятельности на сток и его характеристики и рекомендации в последнем разделе настоящей монографии. Только на основе повсеместного решения практических задач по рациональному использованию местных водных ресурсов возможно дальнейшее планирование рационального размещения объектов водо- и землепользования в речных бассейнах.

Результаты оценки влияния агромероприятий, леса, лесных полос, орошаемого земледелия и осушительных мелиораций, а также урбанизированных территорий и русловых аккумуляций на водный баланс и сток (годовой, сезонный, максимальный и минимальный) хотя и получены на воднобалансовой основе и с применением современных методов гидрологического анализа, однако еще не могут претендовать на очень высокую точность. Вопрос оценки и учета влияния всех перечисленных видов антропогенного воздействия на водный баланс, водные ресурсы и характеристики стока малых рек весьма сложный и для его окончательного решения потребуются многочисленные экспериментальные воднобалансовые исследования на угодьях и водосборах.

Книга является первым опытом такой дифференцированной оценки и учета влияния антропогенных факторов на сток и его характеристики. Поэтому представленный в различных разделах материал, возможно, недостаточен, либо, наоборот, излишне подробен. Все ценные замечания и предложения специалистов в области водного хозяйства и гидрологических расчетов будут с благодарностью приняты и учтены в дальнейших исследованиях.

Приложение 1

Возможное уменьшение среднего (с учетом веса водности лет) весеннего склонового стока $\Delta\overline{y_п}$ под влиянием агротехнических мероприятий в различных природных зонах

Годовые осадки, мм	Среднегодовой сток по карте, л/(с·км²)	Почвогрунты	Уклон, ‰										
			5	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Лесная зона													
<700 / <650	<10	сп	— / —	2,6 / 33	2,6 / 17	3,2 / 14	3,6 / 12	3,7 / 11	4,3 / 11	4,9 / 10	4,7 / 8	3,7 / 6	
		сг	— / —	3,7 / 20	3,7 / 11	4,0 / 10	4,0 / 8	4,3 / 8	4,5 / 7	5,2 / 7	5,2 / 6	4,9 / 6	3,9 / 4
>700 / >650	>10	сп	— / —	2,3 / 30	2,3 / 16	2,4 / 14	2,9 / 11	2,9 / 10	3,7 / 9	3,8 / 9	2,9 / 6	2,2 / 4	
		сг	— / —	2,8 / 17	2,8 / 9	3,0 / 8	3,2 / 6	3,4 / 6	3,6 / 6	3,7 / 5	3,8 / 4	3,1 / 4	1,4 / 2
Лесостепная зона													
<550 / <500	<3	сг	— / —	2,6 / 32	3,7 / 26	5,8 / 28	7,9 / 21	8,8 / 19	9,8 / 19	11,2 / 18	11,0 / 16	9,0 / 12	8,4 / 10
>550 / >500	>3	сг	— / —	1,8 / 26	2,5 / 22	4,2 / 19	5,9 / 18	6,5 / 17	7,2 / 17	8,2 / 16	8,8 / 15	7,4 / 11	6,6 / 9

Годовые осадки, мм	Среднего- по карте, л/(с·км²)	Почво-грунты	Уклон, ‰ 5	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Степная зона европейской части СССР													
<450 / <400	<1	сг	— / —	9,0 / 4,8	11,4 / 39	11,1 / 38	12,7 / 36	12,5 / 33	12,0 / 31	11,7 / 28	11,2 / 26	10,0 / 22	9,5 / 19
>450 / >400	>1	сг	— / —	5,8 / 40	7,5 / 33	8,4 / 30	10,3 / 28	10,7 / 26	11,0 / 25	11,5 / 23	11,0 / 20	9,0 / 20	
Степная зона Северного Казахстана													
<350 / <300	<0,5	сп	5,1 / 49	5,1 / 41	6,8 / 31	9,2 / 29	9,0 / 27	8,2 / 24	7,0 / 24				
		сг	7,0 / 72	7,0 / 55	9,5 / 46	10,5 / 44	11,0 / 43	11,5 / 42	10,0 / 41				
>350 / >300	>0,5	сп	3,6 / 40	3,6 / 27	4,0 / 25	4,5 / 22	5,0 / 21	4,5 / 19	3,5 / 17				
		сг	6,0 / 66	6,0 / 42	8,0 / 40	9,0 / 39	9,5 / 37	10,0 / 36	9,0 / 35				

Примечания: 1. В графе 1 в числителе приведены осадки с поправками на смачивание, испарение и ветровой недоучет, в знаменателе — с поправкой только на смачивание. 2. В графах 4—14 в числителе изменения стока в мм, в знаменателе — в %. 3. сп — супесчаные почвогрунты, сг — суглинистые почвогрунты. 4. В степной зоне европейской части СССР для супесчаных почвогрунтов изменение стока следует принимать по аналогии со степной зоной Северного Казахстана. 5. Данные приведены для случая полной распашки склонов на водосборе на глубину до 22 см.

Приложение 2

Возможное уменьшение среднегодового склонового стока $\Delta\bar{y}_л$ под влиянием леса в зависимости от уклона склонов для лесной и лесостепной зон

Характеристика	Уклон склона, ‰ 10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
Лесная зона (супесчаные почвогрунты)										
$\Delta\bar{y}_л$ мм	10,0 / 11,0	17,4 / 19,1	22,4 / 24,6	25,9 / 28,5	28,9 / 32,5	31,1 / 34,2	33,9 / 37,2	35,0 / 38,4	33,2 / 36,5	
$\Delta\bar{y}_л$ %	92	86	80	74	70	65	57	51	37	
Лесостепная зона (суглинистые почвогрунты)										
$\Delta\bar{y}_л$ мм	11,6 / 12,7	14,2 / 15,5	29,8 / 31,6	40,4 / 43,5	43,5 / 46,8	47,5 / 51,3	54,2 / 57,9	59,2 / 62,7	60,4 / 63,4	55,5 / 57,5
$\Delta\bar{y}_л$ %	98	96	93	92	89	87	82	78	67	56

Примечания: 1. В числителе — для зимне-весеннего стока, в знаменателе — для годового (с учетом летних паводков). 2. Данные приведены для склонов при сплошной залесенности. 3. В степной зоне влияние леса и лесных полос рассчитывается по данным, приведенным для лесостепной зоны. 4. В лесостепной и степной зонах влияние леса и лесных полос (на сп) рассчитывается по данным лесной зоны.

Приложение 3

Возможное увеличение среднего значения (с учетом веса водности лет) питания грунтовых вод атмосферными осадками под влиянием распаханности и залесенности водосбора при различной глубине их залегания

Характеристика	Глубина залегания грунтовых вод, м										
	1	2	3	5	8	10	15	20	25	30	40
Лесная зона, преобладают супесчаные / суглинистые почвогрунты											
$\Delta\overline{W}_п$ мм	7,2 / 5,9	6,9 / 4,7	7,8 / 3,5	7,3 / 3,1	6,5 / 0	6,5 / 0	6,4 / 0	4,2 / 0	4,2 / 0	4,2 / 0	
$\Delta\overline{W}_л$ мм	32,7 / 43,6	31,4 / 40,2	28,9 / 34,2	28,8 / 31,6	25,3 / 30,5	21,9 / 29,6	21,1 / 25,4	15,8 / 19,2	15,8 / 6,2	15,5 / 0	
$\Delta\overline{W}_п$ %	3 / 3	4 / 3	4 / 4	6 / 4	7 / 0	7 / 0	9 / 0	10 / 0	14 / 0	19 / 0	
$\Delta\overline{W}_л$ %	13 / 26	17 / 32	17 / 32	21 / 44	23 / 75	23 / 97	30 / 100	29 / —	40 / —	55 / —	
Лесостепная зона, преобладают суглинистые почвогрунты											
$\Delta\overline{W}_п$ мм	2	4	4	4	4	4	3	3	3	3	1
$\Delta\overline{W}_{лсп}$ мм	18	14	12	12	12	10	7	7	5	4	4
$\Delta\overline{W}_п$ %	9	7	8	8	13	15	12	16	21	30	38
$\Delta\overline{W}_{лсп}$ %	24	24	25	26	30	33	36	38	38	38	39
$\Delta\overline{W}'_{лсп}$ %	32	33	37	41	51	57	69	79	85	108	114
$\Delta\overline{W}''_{лсп}$ %	40	43	50	56	73	81	100	120	133	178	260

Характеристика	Глубина залегания грунтовых вод, м										
	1	2	3	5	8	10	15	20	25	30	40
Степная зона европейской части СССР, преобладают супесчаные / суглинистые почвогрунты											
$\Delta\overline{W}_п$ мм		17,3 / 8,2	13,6 / 7,6	11,6 / 7,6	11,6 / 7,2	11,6 / 5,1	11,6 / 5,1	9,1 / 2,0			
$\Delta\overline{W}_п$ %		18 / 16	21 / 22	23 / 26	30 / 46	33 / 47	49 / 50	53 / 50			
Степная зона Северного Казахстана, преобладают супесчаные / суглинистые почвогрунты											
$\Delta\overline{W}_п$ мм		6,6 / 4,4	6,6 / 4,2	6,5 / 3,6	6,5 / 3,5	6,5 / 3,4	6,0 / 3,0	5,0 / —			
$\Delta\overline{W}_п$ %		12 / 10	16 / 15	17 / 17	24 / 38	27 / 43	44 / 50	46 / —			

Примечания: 1. $\Delta\overline{W}_{лсп}$ — увеличение питания грунтовых вод под лесными полосами на склонах с уклоном $<20\ ^0/_{00}$. 2. $\Delta\overline{W}'_{лсп}$ — то же под лесными полосами, расположенными поперек склона с уклоном $10 < I < 50\ ^0/_{00}$. 3. $\Delta\overline{W}''_{лсп}$ — то же на склонах с уклоном $>50\ ^0/_{00}$. 4. $\Delta\overline{W}_л$ — то же под лесом. 5. Данные приведены для случая полной распашки склонов на водосборе с заглублением до 22 см и сплошной залесенности.

Приложение 4

Коэффициенты среднего многолетнего весеннего (числитель) и годового (знаменатель) стока $\bar{\alpha}_3$ с залежи (целины, луга) на склонах с разными уклонами

Характеристика почвогрунтов	Уклон, ‰										
	5	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
Лесная зона											
Супесчаные		0,07 / 0,08	0,13 / 0,14	0,18 / 0,20	0,22 / 0,25	0,26 / 0,30	0,30 / 0,34	0,37 / 0,42	0,43 / 0,49	0,55 / 0,64	
Суглинистые		0,11 / 0,12	0,20 / 0,23	0,28 / 0,30	0,34 / 0,36	0,40 / 0,44	0,44 / 0,47	0,51 / 0,54	0,56 / 0,59	0,65 / 0,68	0,70 / 0,74
Лесостепная зона											
Суглинистые		0,13 / 0,14	0,24 / 0,26	0,33 / 0,35	0,41 / 0,44	0,46 / 0,50	0,52 / 0,56	0,61 / 0,65	0,67 / 0,71	0,78 / 0,82	0,80 / 0,90
Степная зона											
Супесчаные—легкосуглинистые	0,07	0,13	0,21	0,25	0,30	0,32	0,34				
Суглинистые—легкосуглинистые	0,10	0,16	0,23	0,27	0,30	0,32	0,34				

Примечания: 1. Для оценки влияния зяблевой вспашки и леса в расчет принимаются данные соответственно по весеннему и годовому стоку. 2. Коэффициент годового стока вычислен условно как отношение склонового стока за счет снеготаяния и летне-осенних дождей к максимальным снегозапасам.

Приложение 5

Средние многолетние коэффициенты питания грунтовых вод атмосферными осадками $\bar{\alpha}'$ на залежи (целине, лугу) при различной глубине залегания грунтовых вод

Природная зона и характеристика почвогрунтов	Глубина залегания грунтовых вод, м											
	0,5	1	2	3	5	8	10	15	20	25	30	40
Лесная зона, преобладают супесчаные / суглинистые почвогрунты неоднородного сложения	0,45 / 0,33	0,37 / 0,27	0,31 / 0,20	0,28 / 0,16	0,22 / 0,12	0,18 / 0,06	0,14 / 0,05	0,11 / 0,01	0,08 / 0,0	0,07 / 0,0	0,05 / 0,0	
Лесостепная зона, преобладают суглинистые почвогрунты	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
Степная зона, преобладают супесчаные / суглинистые почвогрунты	0,26 / 0,19	0,22 / 0,16	0,18 / 0,11	0,15 / 0,10	0,13 / 0,07	0,09 / 0,05	0,08 / 0,04	0,06 / 0,01	0,05 / 0,00	0,03 / —	0,02 / —	0,00 / —

Приложение 6

Коэффициент перехода K_{y_p} от значений изменения склонового стока в средний по водности год к значениям в годы различной водности

Характерные почвогрунты	Угодье	Обеспеченность, %				
		5	10—25	50	75—90	95
Лесная зона						
Супесчаные	Поле	0,5	0,5	1,0	1,2	1,4
	Лес	1,0	1,0	1,0	0,5	0,4
Суглинистые	Поле	0,5	0,6	1,0	1,5	1,8
	Лес	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4
Лесостепная зона						
Суглинистые	Поле	0,4 / 0,2	0,5 / 0,3	1,0	0,8	0,6
Степная зона европейской части СССР						
Суглинистые	Поле	0,5 / 0,3	0,6 / 0,4	1,0	0,3	0,2
Степная зона Северного Казахстана						
Супесчаные и легкосуглинистые	Поле	0,6	0,7	1,0	1,2	1,3
Суглинистые	Поле	0,6 / 0,2	0,8 / 0,7	1,0	0,5	0,3

Примечания: 1. В числителе — для временных водотоков, в знаменателе — для рек с постоянным стоком. 2. В степной зоне для леса и лесных полос коэффициенты принимаются равными значениям коэффициентов для лесостепной зоны. 3. В лесостепной и степной зонах для леса и лесных полос на супесчаных почвогрунтах коэффициенты принимаются равными значениям коэффициентов для лесной зоны.

Приложение 7

Коэффициенты перехода K_{ω_p} от значений изменения стока грунтовых вод в средний по водности год к значениям в годы различной водности (числитель — поле, знаменатель — лес)

Характерные почвогрунты	Глубина залегания грунтовых вод, см	Обеспеченность, %									
		5	10—25	50	75—90	95	5	10—25	50	75—90	95
		<500					>500				
Лесная зона											
Супесчаные, неоднородного сложения		1,3 / 0,7	1,2 / 0,8	1,0 / 1,0	0,7 / 0,5	0,6 / 0,3	1,4 / 0,8	1,3 / 0,9	1,0 / 1,0	0,8 / 0,6	0,7 / 0,4
Суглинистые, неоднородного сложения		(1,3) / 1,0	(1,2) / 1,0	1,0 / 1,0	(0,7) / 0,4	(0,6) / 0,4	(1,3) / 1,0	(1,2) / 1,0	1,0 / 1,0	(0,7) / 0,5	(0,6) / 0,5
Лесостепная зона											
Суглинистые		0,7 / 1,7	0,7 / 1,7	1,0 / 1,0	0,6 / 0,3	0,5 / 0,3	0,8 / 1,3	0,8 / 1,3	1,0 / 1,0	0,7 / 0,4	0,6 / 0,4
Степная зона европейской части СССР											
Преобладают супесчаные		1,5	1,2	1,0	0,3	0,3	1,4	1,3	1,0	0,4	0,4
Преобладают суглинистые		1,3	1,3	1,0	0,7	0,6	1,3	1,3	1,0	0,3	0,2
Степная зона Северного Казахстана											
Супесчаные		1,4	1,2	1,0	0,5	0,3	1,4	1,3	1,0	0,5	0,4
Суглинистые		1,4	1,2	1,0	0,5	0,4	1,0	0,9	1,0	0,0	0,0

Примечания: 1. В скобках приведены приближенные значения. 2. Для степной зоны значения приведены только для поля.

Приложение 8

Коэффициенты перехода $K_{\omega p}$ для лесных полос от значений изменения стока грунтовых вод в средний по водности год к значениям в годы различной водности (числитель — глубина залегания грунтовых вод <5 м, знаменатель — >5)

Уклон полевых склонов, ‰	Обеспеченность, %	
	5—25	75—95
<20	1,7/1,3	0,5/0,4
20 < *I* < 50	1,8/1,5	0,4/0,4
>50	1,8/1,5	0,4/0,3

Приложение 9

Значения коэффициентов перехода от значений изменения склонового (K''_y) и грунтового (K''_ω) стока при распашке глубиной 25 см к значениям при глубокой распашке с различной агротехнической обработкой почвы

Агротехнический фон	K''_y	K''_ω
Зяблевая отвальная вспашка глубиной 35—37 см	2,5/1,5	1,7/1,4
Зяблевая отвальная (гребнистая) вспашка глубиной 22—25 и 27—30 см	2,0/1,5	1,2/1,1
Зяблевая отвальная вспашка с крестованием на глубину 27—30 см	2,0/1,5	1,2/1,1
Зяблевая вспашка с кротованием и лункованием через 3—4 см	1,5/1,2	1,0/1,0
Зяблевая вспашка со щелеванием через 0,8 м	1,5/1,2	1,0/1,0
Зяблевая отвальная вспашка с микролиманами (микрорельеф)	1,7/1,5	1,3/1,1
Зяблевая отвальная вспашка с внесением органических удобрений (навоза): 45 т/га	3,0/2,5	1,7/1,4
45 т/га	2,5/2,0	1,5/1,2
20 т/га	2,0/1,5	1,3/1,1
Зяблевая безотвальная вспашка с рыхлением на глубину 28—30 см	1,5/1,2	1,0/1,0
Зяблевая безотвальная вспашка с рыхлением на глубину 32—35 см	1,5/1,2	1,0/1,0
Зяблевая безотвальная плоскорезная вспашка глубиной 28—30 см	1,5/1,2	1,0/1,0
Зяблевая безотвальная вспашка на глубину 22—25 см	0,5/0,8	0,4/0,6
Озимь с глубокой вспашкой (до 35—37 см)	1,3/1,2	1,0/1,0
Озимь со щелеванием	0,5/0,8	0,2/0,4
Озимь с кулисами	0,5/0,8	0,2/0,4
Уплотненная вспашка	0,5/0,8	0,2/0,4

Примечание. В числителе — для суглинистых почвогрунтов; в знаменателе — для супесчаных и легкосуглинистых почвогрунтов.

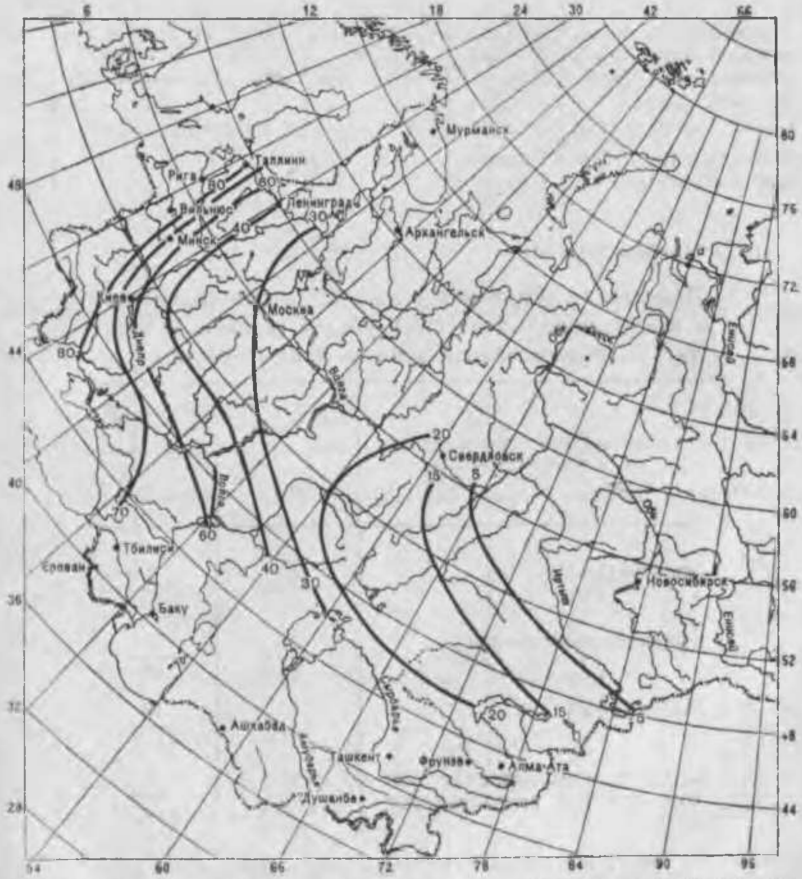
Приложение 10

Коэффициент перехода K_{xy} от значений изменения стока в районах с низким стоком в пределах природной зоны к значениям в районах с другой водностью (числитель — супесчаные почвогрунты, знаменатель — суглинистые)

Природная зона	Годовой сток, л/(с·км²)	K_{xy}	Природная зона	Годовой сток л/(с·км²)	K_{xy}
Лесная	>10	>1	Степь (европейская часть СССР)	0,8	0,7/0,9
	10	1		0,9	0,8/1,0
	<10	>1		1,0	1,0/1,0
Лесостепь	>3	>0,5	Степь (Северный Казахстан, Западная Сибирь	0,7	0,7/0,9
	3	0,5		0,8	0,8/1,0
	<3	<0,5		1,0	1,0/1,0

Примечание. В лесной и лесостепной зонах значения коэффициента для суглинистых и супесчаных почвогрунтов одинаковые.

Приложение 11



Карта распределения осадков за период склонового стока (в % максимального запаса воды в снеге).

Приложение 12

Среднее значение изменения испарения с сельскохозяйственных угодий по сравнению с испарением с целинных и залежных земель за теплый период года (числитель — миллиметры, знаменатель — проценты)

Природная зона	Сельскохозяйственное угодье	Характеристика теплого периода по водности			Среднее многолетнее значение с учетом веса периодов различной водности
		многоводный	средний	маловодный	
Избыточного и достаточного увлажнения (лесная зона и северная часть лесостепной)	Озимые	40/9	20/6	10/3	24/6
	Яровые	20/5	10/3	0/0	11/3
	Пар	—90/—21	—70/—20	—90/—31	—80/—22
Недостаточного увлажнения:					
Южная часть лесостепной зоны и степная зона Европейской части СССР	Озимые	40/10	25/8	15/6	27/8
	Яровые	20/5	10/3	0/0	11/13
	Пар	—100/—25	—70/—23	—100/—40	—98/—28
Лесостепь и степь Северного Казахстана	Яровые				7/2
	Пар				—75/—27

Приложение 13

Повышение испарения с леса $\overline{E}_{л,\ лсп}$ по сравнению с испарением с безлесных угодий (целина, залеж, луг) $\overline{E}_{ц}$ в лесостепной зоне за теплый период

Характеристика теплого периода по водности	$\Delta\overline{E}_{л,\ лсп}=\overline{E}_{л,\ лсп}-\overline{E}_{ц}$	
	мм	%
Многоводный	10/50	3/13
Средний по водности	30/80	9/23
Маловодный	50/100	18/37
Среднее многолетнее с учетом периода различной водности	30/70	9/21

Примечание. В числителе — значения испарения при $4 < H_{гр} < 10$ м, в знаменателе — при $H_{гр} > 10$ м.

Приложение 14

Уменьшение среднего весеннего стока рек под влиянием агротехнических мероприятий (реки с постоянным стоком, полная распашка водосбора глубиной $\geqslant 25$ см), % годового

Среднегодовой сток по карте [100], л/(с·км²)	Уклон склонов, ‰	Глубина залегания грунтовых вод, м		
		$\leqslant 2$	5	$\geqslant 10$
Лесная зона, преобладают супесчаные почвогрунты				
$\frac{>10}{<10}$	>50	$\frac{4}{5}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{5}{6}$
	<50	$\frac{4}{5}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{6}{7}$
Преобладают суглинистые почвогрунты				
$\frac{>10}{<10}$	>50	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{8}{10}$
	<50	$\frac{3}{3}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{10}{12}$
Лесостепная зона, преобладают суглинистые почвогрунты				
$\frac{>3}{<3}$	>50	$\frac{6}{7}$	$\frac{10}{11}$	$\frac{10}{12}$
	<50	$\frac{9}{11}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{13}{16}$
Степная зона европейской части СССР, преобладают суглинистые почвогрунты				
$\frac{>1}{<1}$	>50	$\frac{15}{17}$	$\frac{21}{23}$	$\left[\frac{31}{35}\right]$
	<50	$\frac{16}{18}$	$\frac{23}{26}$	$\left[\frac{31}{35}\right]$
Степная зона Северного Казахстана, преобладают супесчаные почвогрунты				
$\frac{>0,5}{<0,5}$	>50	$\frac{8}{9}$	$\frac{10}{15}$	$\left[\frac{10}{17}\right]$
	<50	$\frac{9}{10}$	$\frac{12}{17}$	$\left[\frac{15}{20}\right]$
Преобладают суглинистые почвогрунты				
$\frac{>0,5}{<0,5}$	>50	$\frac{21}{22}$	$\frac{22}{27}$	$\left[\frac{31}{35}\right]$
	<50	$\frac{23}{26}$	$\frac{25}{29}$	$\left[\frac{33}{37}\right]$

Примечания: 1. Квадратные скобки свидетельствуют об исчезающе малом грунтовом питании рек. 2. Числитель — данные для водосборов со значениями стока, близкими к среднему зональному; знаменатель — данные для водосборов со стоком ниже среднего зонального.

Приложение 15

Значение поправочного коэффициента K_1, учитывающего возраст древостоя (по О. И. Крестовскому)

Основная характеристика древостоя	Возраст древостоя, лет													
	≤10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	≥160
Лес с преобладанием лиственных пород в возрасте 10—60 лет и хвойных в возрасте более 80 лет	1,60	1,10	0,85	0,60	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,03	1,06	1,08	1,10
Лес с преобладанием елового древостоя	1,60	1,10	0,90	0,75	0,65	0,65	0,70	0,80	0,90	1,00	1,05	1,10	1,13	1,15
Лес в возрасте менее 10 лет на песках, с преобладанием сосны	1,30	1,0	0,80	0,75	0,80	0,90	0,97	1,01	1,10	1,15	1,20	1,24	1,27	1,30
Лес с преобладанием лиственных пород в подзоне широколиственных лесов европейской части СССР	1,20	0,80	0,50	0,35	0,35	0,55	0,75	0,90	1,03	1,12	1,18	1,23	1,28	1,30
Зарастающие кустарником и лесом сельскохозяйственные угодья (лесные полосы)	1,05	1,02	0,75	0,55	0,55	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,05	1,08	1,12	1,15

Примечания: 1. Данные рекомендуются для подзоны средней и южной тайги и широколиственных лесов лесной зоны европейской части СССР [64], а также для бассейнов рек Иртыша до г. Усть-Каменогорска, Оби до г. Новосибирска, Енисея до г. Красноярска и Ангары. 2. Сведения о возрасте древостоя помещаются в специальных справочниках по лесному фонду, а также в отчетах республиканских, областных и районных управлений лесного хозяйства, а также на картах распределения лесов с указанием вида и возраста леса.

Приложение 16

Расчет интегрального коэффициента турбулентной диффузии

Интегральный коэффициент турбулентной диффузии D определяется в зависимости от средней за декаду скорости ветра V на высоте 1 м путем линейной интерполяции в таблице:

V м/с	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
D	0,65	0,80	1,00	1,30	1,70	2,45	3,51

Скорость ветра V вычисляется по показаниям прибора по формуле

$$V = K_л m V_{пр},$$

где $V_{пр}$ — средняя декадная скорость ветра на высоте установки прибора, м/с; $K_л$ — логарифмический коэффициент изменения скорости ветра с высотой; m — поправочный коэффициент, характеризующий искажение логарифмического профиля ветра под влиянием защищенности площадки.

Значения коэффициентов $K_л$ и m определяются в соответствии с работой [109].

Приложение 17

Давление насыщенного водяного пара e_s надо льдом при отрицательных значениях температуры воздуха T, над водой — при положительных, гПа

T °C	e_s	T °C	e_s	T °C	e_s	T °C	e_s
—10	3,217	1	6,669	12	14,574	24	31,069
—9	3,389	2	7,182	13	15,589	25	32,968
—8	3,581	3	7,726	14	16,661	26	34,990
—7	3,795	4	8,304	15	17,792	27	37,114
—6	4,032	5	8,918	16	18,971	28	39,345
—5	4,294	6	9,591	17	20,215	29	41,688
—4	4,611	7	10,304	18	21,528	30	44,147
—3	4,957	8	11,058	19	22,912	31	46,724
—2	5,333	9	11,857	20	24,371	32	49,428
—1	5,742	10	12,701	21	24,918	33	52,264
0	6,186	11	13,612	22	26,548	34	55,237
				23	29,263	35	58,353

Примечание. Приведенные в таблице значения e_s включают в себя поправку на внутрисуточный ход температуры воздуха в зоне недостаточного увлажнения.

Приложение 18

Поправочные коэффициенты к значениям испаряемости в зависимости от размера орошаемого массива [116]

Месяц	Декада	Удаление от границы орошаемого участка, м			
		10 000	3000	1000	500
V	1	0,94	0,96	0,98	1,00
	2	0,92	0,95	0,96	0,99
	3	0,91	0,93	0,95	0,97
VI	1	0,89	0,90	0,92	0,95
	2	0,87	0,89	0,91	0,93
	3	0,85	0,87	0,89	0,91
VII	1	0,83	0,86	0,88	0,90
	2	0,82	0,85	0,87	0,90
	3	0,80	0,84	0,87	0,89
VIII	1	0,80	0,85	0,88	0,96
	2	0,81	0,86	0,89	0,92
	3	0,82	0,87	0,90	0,93
IX	1	0,84	0,90	0,92	0,94
	2	0,86	0,92	0,94	0,96
	3	0,88	0,94	0,95	0,99

Приложение 19

Поправочные коэффициенты к значениям испаряемости в зависимости от расстояния до лесной полосы, кратного ее высоте

L	0	5	10	15	20	25	30	35	40
k	0,52	0,79	0,90	0,92	0,93	0,96	0,99	0,99	1,00

Приложение 20

Значения параметра β для различных угодий в зависимости от осадков X и относительного значения влагозапасов на начало расчетного периода $W_н/\gamma$ [81]

$W_н/\gamma$	X мм					X мм				
	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
	I. Зерновые									
	Всходы					Июль				
0,1	6,50	10,0				3,62	4,65			
0,2	2,50	3,40	4,00	4,50	4,80	1,70	1,53	3,10	3,65	3,94
0,3	1,80	2,50	3,00	3,10	3,10	1,17	1,63	1,96	2,12	2,25
0,4	1,40	2,05	2,45	2,55	2,60	0,72	1,35	1,64	1,73	1,90
0,5	1,10	1,45	1,60	1,60	1,60	0,83	1,08	1,32	1,47	1,52
0,6	0,80	1,05	1,15	1,15	1,15	0,70	0,83	1,00	1,03	1,07
0,7—1,0	0,40	0,70	0,85	0,85	0,90	0,45	0,60	0,63	0,63	0,63
	Фазы активной вегетации					Август				
0,1	7,00	10,5				2,55	3,82			
0,2	2,95	3,95	4,50	4,90	5,00	1,47	2,17	2,80	3,25	3,50
0,3	2,00	2,70	3,09	3,45	3,60	1,00	1,48	1,85	2,11	2,20
0,4	1,45	2,07	2,48	2,60	2,65	0,82	1,20	1,49	1,60	1,68
0,5	1,15	1,50	1,80	1,80	1,80	0,67	0,92	1,06	1,18	1,28
0,6	0,90	1,08	1,18	1,18	1,18	0,47	0,55	0,70	0,86	0,95
0,7—1,0	0,45	0,75	0,90	0,90	0,92	0,32	0,45	0,48	0,50	0,50
	Созревание					Сентябрь, октябрь				
0,1	3,40	4,72	5,54	6,17	6,90	2,00	3,80	5,15		
0,2	1,85	2,30	2,70	3,00	3,18	1,40	2,12	2,82	3,35	3,68
0,3	1,05	1,35	1,45	1,50	1,50	0,97	1,43	0,70	2,03	2,19
0,4	0,90	1,05	1,15	1,15	1,15	0,80	1,07	1,42	1,56	1,68
0,5	0,75	0,85	0,85	0,90	0,90	0,70	0,83	1,00	1,10	1,26
0,6	0,55	0,65	0,70	0,80	0,85	0,51	0,62	0,70	0,80	0,85
0,7—1,0	0,35	0,40	0,45	0,50	0,50	0,20	0,29	0,37	0,45	0,48
	II. Целина					III. Пар				
	Май, июнь									
0,1	3,55	4,50								
0,2	1,52	2,10	2,70	3,25	3,65					
0,3	1,00	1,45	1,70	1,92	2,06					
0,4	0,95	1,20	1,50	1,62	1,80					
0,5	0,82	1,10	1,30	1,41	1,49					
0,6	0,70	0,92	1,02	1,08	1,12					
0,7—1,0	0,52	0,64	0,68	0,70	0,70					
0,1—1,0						0,18	0,72	1,03	1,26	1,43

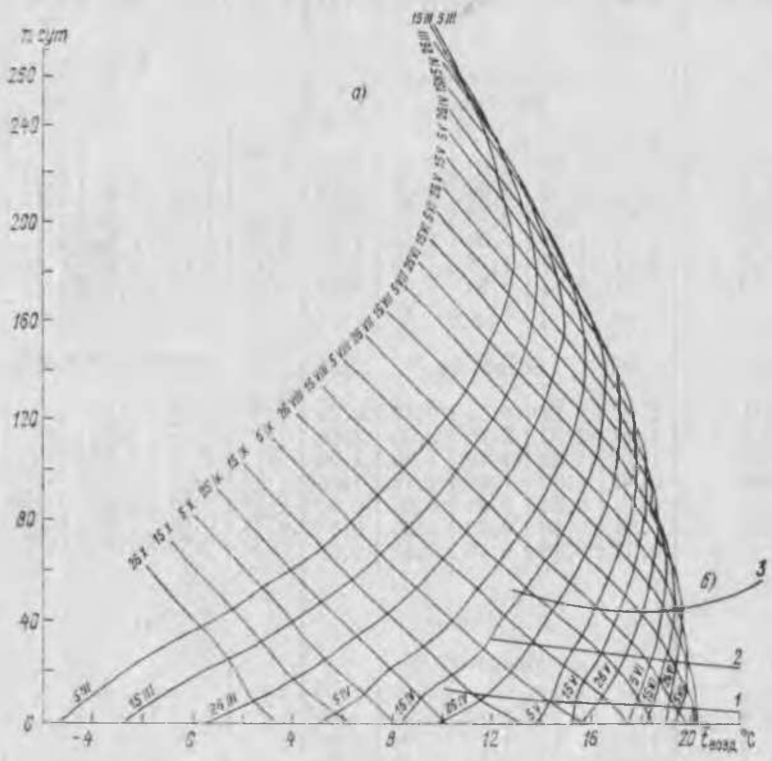
Приложение 21

Установление сроков наступления и продолжительности фаз развития растительности [81]

Сроки наступления и продолжительность фаз вегетации растительности устанавливают на основе температурно-фенологических номограмм ТФН [100] — графического изображения двух семейств кривых, одно из которых характеризует тепловые ресурсы района (сетка тепловых ресурсов), а другое — тепловые потребности растений (фенологические кривые).

Фенологические кривые строятся на основе данных сопряженных наблюдений за сроками прохождения фаз развития растений и температурой воздуха на ближайшей метеостанции. Для этого используют полевые фенологические наблюдения, проводимые на различных агрометеорологических станциях, государственных сортоиспытательных участках и на воднобалансовых станциях за ряд лет для каждого вида культуры.

Для построения сетки тепловых ресурсов района рассчитывается вспомогательная таблица по многолетним среднедекадным значениям температуры воздуха на опорной метеостанции района. Пример расчета таблицы приведен в работе [81]. Каждая линия сетки выражает собой закон изменения среднепериодных значений температуры воздуха в годовом цикле в зависимости от продолжительности периодов, отсчитываемых от единой даты [9]. Этой датой



Температурно-фенологическая номограмма по метеостанции Воронеж для гречихи сорта «Богатырь».

а — сетка тепловых ресурсов; *б* — фенологические кривые: *1* — посев—всходы, *2* — всходы—начало цветения, *3* — цветение—созревание.

(середина декады) и обозначена каждая линия среднепериодных значений температуры воздуха. Во всех случаях масштабы графиков тепловых ресурсов района и фенологических кривых *1, 2, 3* (см. рисунок) должны совпадать. Рекомендуются следующие масштабы: 10 сут — 1 см, °С — 1 см.

Дата наступления какой-либо фазы развития растения рассчитывается путем прибавления к дате начала предшествующей фазы (наблюденной или рассчитанной) продолжительности предшествующей фазы, которая снимается непосредственно с ТФН по соответствующей ей фенологической кривой. Для расчета начальной фазы развития необходимо знать сроки сева культуры. Для приближенного расчета можно пользоваться таблицами средних многолетних дат прохождения фаз развития растений, составленных Е. В. Бессоновой [9].

Пример расчета. Установить средние многолетние сроки наступления и продолжительности фаз развития гречихи сорта «Богатырь» в Воронежской области, если средняя многолетняя дата посева — 20/V.

Продолжительность межфазного периода посев—всходы *n* определяются значением ординаты, находящимся на пересечении фенологической кривой *1* и линии среднепериодных значений температуры от 20/V (последняя находится по интерполяции между двумя линиями от 15/V и 26/V); $n=8$ сут. Дата массовых всходов 20/V+8 сут=28/V.

Аналогично определяется дата начала цветения 28/V + 25 сут (по фенологической кривой *2*) =22/VI. Дате созревания — 22/VI+45 сут (фенологическая кривая *3*) соответствует 6/VIII.

Приложение 22

Средние продуктивные влагозапасы в метровом слое почвы весной к дате перехода среднесуточных значений температуры воздуха через 5 °С [132]

Характеристика весны по увлажнению	Районы							
	1		2		3	4	5	
	неорошаемый	орошаемый	неорошаемый	орошаемый			неорошаемый	орошаемый
Влажная	125	160	175	225	200	200	30	140 / 150—160
Средняя	50—100	160	100—150	225	150—200	200	20	100 / 150
Сухая	30	140	75—120	—	100—130	180	10	50 / 130

Примечание. Цифрами 1—5 обозначены районы соответственно засушливых степей и полупустынь (северная часть Прикаспийской низменности и Северный Казахстан), степей (юг Украины и Молдавии, средняя часть бассейна Дона, Южное Заволжье, юг Западной Сибири, степные районы Красноярского края), лесостепной зоны, юга лесной зоны, пустынь (юг Прикаспийской низменности — числитель, равнинные территории Средней Азии — знаменатель).

Приложение 23

Значения водно-физических параметров метрового слоя почвы и коэффициентов $\overline{K}_0$ и b

Почва	$W_{пв}$	$W_{нв}$	$W_{вз}$	γ	$\overline{K}_0$	b
Лесные суглинки:						
бурые	468	289	145	144	0,07	1,49
серые	486	337	181	156	0,06	2,25
Черноземы оподзоленные тяжелосуглинистые	490	303	159	144	0,06	1,65
Черноземы выщелоченные:						
легкосуглинистые	507	343	194	149	0,06	2,40
тяжелосуглинистые	499	329	165	164	0,06	1,72
Черноземы типичные:						
легкосуглинистые	516	345	204	141	0,06	2,59
тяжелосуглинистые	500	335	163	172	0,06	1,66
Черноземы обыкновенные:						
легкосуглинистые	506	343	171	172	0,06	1,81
тяжелосуглинистые	521	330	152	178	0,06	1,30
суглинистые	514	310	138	172	0,06	1,09
Черноземы слитые	521	500	328	172	0,06	9,19
Солонцы	460	350	231	119	0,07	4,72

Приложение 24

Значение коэффициента ν для вычисления нижней границы оптимального влагозапаса до посева и в период развития растений

Характеристика засоленности почвы	До посева	Всходы (отрастание) — кущение	Выход в трубку — колошение	Цветение — налив зерна	Восковая спелость
Незасоленная и слабозасоленная	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60
Засоленная	0,82	0,80	0,80	0,80	0,70

Приложение 25

Значения коэффициента m в формуле (3.40)

Почвогрунты	Период до посева и первая декада после посева	Вторая декада после посева	Период активной вегетации	Предпоследняя декада перед датой полной спелости	Последняя декада вегетации и период после уборки
Глинистые	1,2	0,9	0,7	0,9	1,2
Суглинистые	1,4	1,0	0,8 * / 0,7	1,0	1,4
Супесчаные	2,0	1,6	1,1	0,6	2,0

* В числителе — для каштановых почв, в знаменателе — для сероземов.

Приложение 26

Коэффициенты полезного действия $КПД_с$ различных способов полива [39]

Способ полива	$КПД_с$
По нарезным бороздам	0,60—0,76
Лиманное и чековое орошение	0,53—0,80
Контурно-бороздковый полив	0,50—0,55
Полив по коротким бороздкам	0,50—0,70
Полив по длинным бороздкам и по полосам	0,65
Внутрипочвенное орошение	0,85—0,90

Приложение 27

Допустимые погрешности определения составляющих водного баланса при экспериментальных исследованиях

Район	Испаряемость и составляющие водного баланса							Погрешности определения составляющих, %		
	E_0	X	E	$Y_{гр}$	Y	I	K	$\sigma_{год}$	$\sigma_{мес}$	$\sigma_{дек}$
Северный Кавказ	800	623	500	18/15	105	75	57	3	10	18
Средняя Азия	1000	294	274	1/5	19	35	34	4	14	24
Западная Сибирь	500	549	350	70/35	129	200	130	2	7	12
Восточная Сибирь	400	490	230	52/20	208	180	128	3	10	18
Дальний Восток	350	522	274	50/20	198	180	130	4	4	24

Примечание. Числитель — грунтовый сток в миллиметрах, знаменатель — коэффициент грунтового стока в процентах общего.

Приложение 28

Значения коэффициента возвратного стока φ

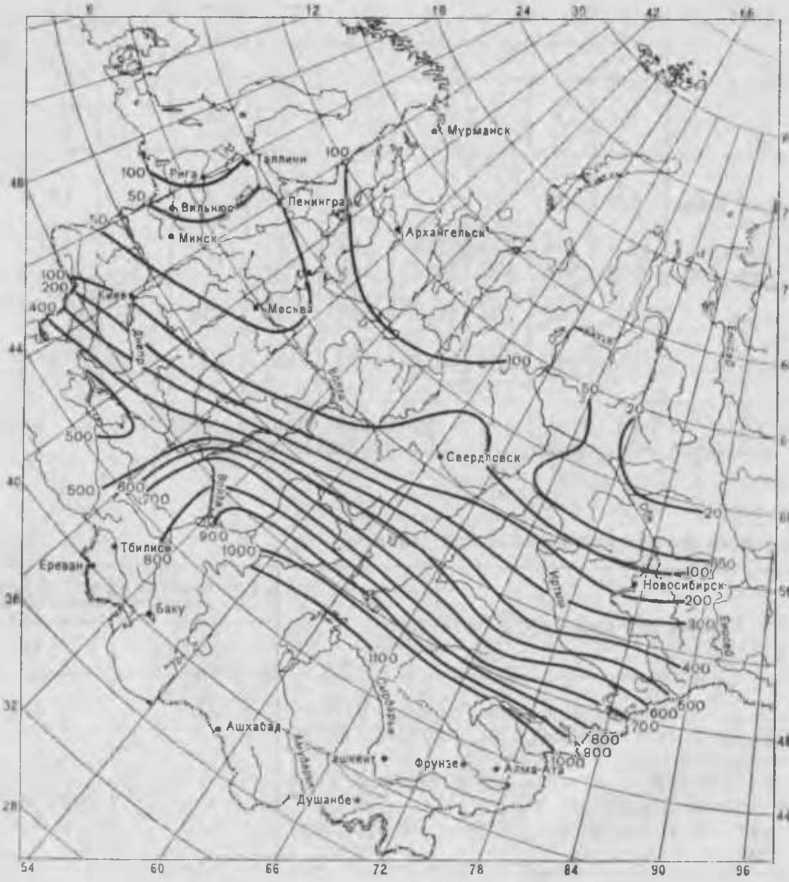
Степень дренированности территории	Соотношение площадей орошаемых земель и транзитной зоны	
	0,1	1,0
Интенсивно дренированная зона (глубоко расчлененные равнины и аллювиальные террасы, высокие приречные уступы и др.)	0,9	0,0
Дренированная зона (аллювиальные террасы, зоны выклинивания подземных вод)	0,4	0,9
Слабодренированная зона (седние и нижние речные террасы)	0,1	0,4
Весьма слабодренированная и бессточная зона (водораздельные пространства, нерасчлененные предгорные равнины)	0,0	0,1

Приложение 29

Значение коэффициента инфильтрационного питания грунтовых вод ξ

Оросительная норма, мм	Глубина залегания грунтовых вод, мм							
	⩽2	3	5	10	15	20	30	40
100	0	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
200	0	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04
300	0	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
400	0	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09
500	0	0,22	0,20	0,18	0,17	0,15	0,13	0,12

Приложение 30



Среднее многолетнее дополнительное испарение (мм/год) с малых водоемов.

Приложение 31

Коэффициенты перехода от склонового стока к суммарному в русле реки в годы с различной обеспеченностью p (числитель — для лесной зоны, знаменатель — для лесостепной и степной зон)

p %	1	5	50	75	95
K	1,3 / 1,2	1,4 / 1,3	2,5 / 2,0	3,0 / 2,5	5,0 / 4,0

Приложение 32

Уменьшение весеннего склонового стока $\Delta y_п$ (%) под влиянием агротехнических мероприятий

Средне-годовой сток по карте, л/(с·км²)	Почво-грунты	Уклоны склонов										
		5	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
Лесная зона												
<10	сп	—	33	17	14	12	11	11	10	8	6	
	сг	—	20	11	10	8	8	7	7	6	6	4
>10	сп	—	30	16	14	11	10	9	9	6	4	
	сг	—	17	9	8	6	6	6	5	4	4	2
Лесостепная зона												
<3	сг	—	32	26	23	21	19	18	18	16	12	10
>3	сг	—	26	22	19	18	17	17	16	15	11	9
Степная зона европейской части СССР												
<1	сг	—	48	39	38	36	33	31	28	26	22	19
>1	сг	—	40	33	30	28	26	25	23	20	20	
Степная зона Западной Сибири и Северного Казахстана												
<0,5	сп	49		41	31	29	27	24	24			
	сг	72		59	46	44	43	42	41			
>0,5	сп	40		27	25	22	21	19	17			
	сг	66		42	40	39	37	36	35			

Примечания: 1. Для склонов с глубиной вспашки $\geqslant$25 см необходимо вычисленное значение $\Delta y_п$ умножить на коэффициент 1,5 для суглинистых почвогрунтов и на 1,2 — для супесчаных. 2. Для склонов с глубиной вспашки 25 см и более в сочетании с противоэрозионными мероприятиями коэффициенты соответственно равны 1,7 и 1,4. 3. В степной зоне европейской части СССР для супесчаных почвогрунтов значение изменения стока принимается равным изменению стока в степной зоне Северного Казахстана.

Приложение 33

Уменьшение среднего весеннего стока рек $\Delta y_п$ под влиянием агротехнических мероприятий (реки с постоянным стоком, сплошная распаханность водосбора на глубину $\geqslant$25 см) % объема половодья

Среднегодовой сток по карте л/(с·км²)	Уклон склонов, ‰	Глубина залегания грунтовых вод, см		
		⩽200	500	⩾1000
Лесная зона, супесчаные почвогрунты				
>10 / <10	<50	7/8	7/8	8/10
	>50	7/8	8/10	10/12
Суглинистые почвогрунты				
>10 / <10	<50	3/5	7/8	13/17
	>50	5/5	8/10	17/20
Лесостепная зона, суглинистые почвогрунты				
>3 / <3	<50	9/10	14/16	14/17
	>50	13/16	17/21	19/23
Степная зона европейской части СССР, суглинистые почвогрунты				
>1 / <1	<50	19/21	26/29	[39/44]
	>50	20/22	29/32	[39/44]
Степная зона Западной Сибири и Северного Казахстана, супесчаные почвогрунты				
>0,5 / <0,5	<50	9/10	11/17	[11/19]
	>50	10/11	13/19	[17/22]

Среднегодовой сток по карте л/(с·км²)	Уклон склонов, ‰	Глубина залегания грунтовых вод, см		
		⩽200	500	⩾1000
Преобладающие суглинистые почвогрунты				
$\frac{>0,5}{<0,5}$	<50	$\frac{23}{24}$	$\frac{24}{30}$	$\left[\frac{34}{39}\right]$
	>50	$\frac{26}{29}$	$\frac{28}{32}$	$\left[\frac{37}{41}\right]$

Примечания: 1. В числителе — для средних значений весеннего стока, в знаменателе — для значений весеннего стока ниже средних зональных в пределах природной зоны. 2. Квадратные скобки свидетельствуют об исчезающе малом грунтовом питании рек. 3. Значение уменьшения стока приведено в процентах значения стока за период весеннего половодья.

Приложение 34

Средние данные по распаханности, залесенности, глубине залегания грунтовых вод и механическому составу почвогрунтов на водосборах малых рек европейской части СССР

№ района (по [100])	Зона	Распаханность, %	Залесенность, %	Глубина залегания грунтовых вод, м	Почвогрунты
4	Лесная	<1	70	3	сп
5	„	<1	70	1	сп
6	„	<1	70	2	сп
11	„	17	59	15	сп/сг
12	„	10	63	8	сп/сг
13	„	25	25	5	сп
14	„	<5	82	10	сп
15	„	<5	80	3	сп
16	„	20	53	3	сп
17	„	20	54	2	сп
18	„	26	42	2	сп
19	„	20	41	3	сп
20	„	12	34	7	сп
21	„	20	49	7	сп
22	„	23	31	6	сп
23	„	20	68	10	сп
24	„	47	19	2	сп
25	„	24	56	5	сп
26	„	39	23	6	сп
27	„	43	20	7	сп

№ района по [100]	Зона	Распаханность, %	Залесенность, %	Глубина залегания грунтовых вод, м	Почвогрунты
28	Лесная	41	29	7	сп
29	„	34	49	10	сп
30	„	20	45	7	сг
31	„	23	46	6	сг
32	„	30	53	5	сг
33	„	23	50	15	сг
34	Лесная/лесостепная	58	27	15	сг
41	Степная	65	<5	15	сг
42	Лесостепная	60	<5	15	сг
43	Лесостепная/степная	71	<5	15	сг
44	Степная	50	<5	15	сг
45	Лесная/лесостепная	47	24	10	сг
46	Лесостепная	35	52	7	сг
47	„	55	26	15	сг
48	„	47	28	15	сг
49	„	72	<5	12	сг
50	„	69	10	15	сп
51	„	69	10	12	сг
52	Лесная/лесостепная	69	9	20	сг
53	Лесостепная/лесная	58	21	8	сп
54	Лесостепная/степная	80	<5	5	сг
55	„	59	6	12	сг
56	Степная/лесостепная	61	6	12	сп/сг
57	Лесостепная	66	7	15	сг
58	Лесная	42	33	5	сп
59	Лесостепная/лесная	38	15	>20	сп
60	Лесостепная	60	14	>20	сп
61	„	57	14	>20	сп
62	„	42	22	12	сг
66	„	70	7	>20	сг
67	Лесостепная/степная	70	11	>20	сг
68	Степная	67	<5	>20	сг
69	„	71	<5	>20	сг
70	„	67	<5	>20	сг
71	„	70	<5	>20	сг
72	„	60	<5	15	сг
73	„	70	<5	15	сг
74	„	71	<5	10	сг
75	„	77	<5	17	сг
76	„	65	<5	7	сг
77	„	65	<5	7	сг
78	„	60	<5	15	сг

Примечания: 1. сп — супесчаные почвогрунты, сг — суглинистые почвогрунты. 2. В районах 34, 43, 45, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 67 указаны переходные зоны.

Список литературы

1. Аверьянов С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель.— М.: Изд-во АН СССР, 1959.— 84 с.

2. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 363 с.

3. Алибеков Х. А., Буруменский В. С. О расчете стокорегулирующей эффективности лесных полос.— Водные ресурсы, 1981, № 6, с. 62—69.

4. Алпатьев А. М. Влагооборот культурных растений.— Л.: Гидрометеоиздат, 1954.— 248 с.

5. Алпатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования.— Труды ГГИ, 1974, вып. 221, с. 259—266.

6. Аткарская Т. Н., Шиммельмильц И. Я. Влияние орошаемого земледелия на водные ресурсы и водный баланс Сырдарьи.— Водные ресурсы, 1973, № 6, с. 49—72.

7. Бабкин В. И., Вуглинский В. С. Водный баланс речных бассейнов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1982.— 191 с.

8. Баранов А. Т. Исследования влияния различных способов обработки почв на поверхностный сток с пашни на серых лесных почвах центральной лесостепи.— В кн.: Сборник работ по гидрологии. Л., 1977, № 12, с. 114—119.

9. Бессонова Е. В. Наступление фаз развития основных сельскохозяйственных культур на территории СССР. Географический сборник.— М.: Изд-во АН СССР, 1957, вып. 4, с. 24—37.

10. Борец В. П. Влияние агротехнических приемов на уменьшение стока талых вод и смыва светлокаштановой почвы.— В кн.: Сборник работ по гидрологии. Л., 1977, № 12, с. 120—125.

11. Борсук О. Н. Искусственная зарегулированность стока малых рек Европейской части СССР.— Труды ГГИ, 1957, вып. 62, с. 3—23.

12. Бочков А. П. О влиянии агротехнических и лесомелиоративных мероприятий на сток рек лесостепных и степных районов.— Труды ГГИ, 1965, вып. 127, с. 10—81.

13. Будыко М. И. и др. Изменение климата в связи с планом преобразования природы в засушливых районах СССР.— М.; Л.: Гидрометеоиздат, 1952.

14. Булавко А. Г. Водный баланс речных бассейнов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 304 с.

15. Булавко А. Г. Состояние и перспектива исследований по оценке влияния осушения болот на водные ресурсы Белоруссии.— Труды ГГИ, 1973, вып. 208, с. 161—167.

16. Булавко А. Г., Ревера О. З., Лалыкин Н. В. Тенденция антропогенных изменений ресурсов поверхностных вод Белоруссии, Украины и Молдавии.— В кн.: Сборник работ по гидрологии, Л., 1982, № 17, с. 33—43.

17. Вендров С. Л. Об изменении режима речного стока в связи с хозяйственной деятельностью на водосборах.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1959, № 2, с. 105—111.

18. Вершинин А. П. Методика оценки допустимых случайных погрешностей определения составляющих водного баланса при экспериментальных исследованиях на мелиорируемых землях.— Труды ГГИ, 1981, вып. 284, с. 32—44.

19. Виноградов Ю. Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых реках Средней Азии и Южного Казахстана.— Труды КазНИИ, 1967, вып. 28, с. 261.

20. Владимиров А. М. Сток рек в маловодный период года.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976.— 295 с.

21. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1967.— 199 с.

22. Водные ресурсы Нечерноземной зоны РСФСР/Под ред. А. А. Соколова и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1980.— 214 с.

23. Водогрецкий В. Е. Оценка питания грунтовых вод атмосферными осадками и расчеты изменений запасов влаги в почвогрунтах на водосборах в зоне недостаточного увлажнения.— Труды ГГИ, 1966, вып. 135, с. 27—51.

24. Водогрецкий В. Е. Метод оценки питания грунтовых вод атмосферными осадками при отсутствии наблюдений за режимом грунтовых вод.— Труды ГГИ, 1970, вып. 182, с. 98—112.

25. Водогрецкий В. Е. Расчет питания грунтовых вод и оценка влияния на него агролесомелиоративных мероприятий.— Труды ГГИ, 1973, вып. 206, с. 52—91.

26. Водогрецкий В. Е. Влияние агролесомелиораций на годовой сток: методика исследований и расчеты.— Л.: Гидрометеоиздат, 1979.— 184 с.

27. Водогрецкий В. Е. Методика расчета слоя весеннего стока малых водотоков.— Метеорология и гидрология, 1980, № 9, с. 86—91.

28. Водогрецкий В. Е. Оценка влияния агротехнических мероприятий на сезонный сток рек.— Труды ГГИ, 1981, вып. 273, с. 3—8.

29. Водогрецкий В. Е. Эмпирико-математическая модель учета преобразований годового стока под влиянием агротехнических мероприятий и леса.— В кн.: Проблемы рационального использования и охраны малых рек. Красноярск, 1982, с. 39—52.

30. Водогрецкий В. Е. Принципиальная структура модели учета преобразований стока на водосборах под влиянием агролесомелиораций.— Труды ГГИ, 1983, вып. 303, с. 79—90.

31. Водогрецкий В. Е., Голофаст Г. В. Оценка влияния агролесомелиоративных мероприятий на минимальный сток равнинных рек.— Труды ГГИ, 1978, вып. 255, с. 69—76.

32. Водогрецкий В. Е., Голофаст Г. В. Учет влияния малых искусственных водоемов на весенний сток.— Труды ГГИ, 1986, вып. 324, с. 52—58.

33. Водогрецкий В. Е., Зайцева Э. А. Результаты дополнительных исследований о влиянии леса на максимальные расходы воды весеннего половодья.— Труды ГГИ, 1978, вып. 255, с. 122—133.

34. Воейков А. И. Климаты земного шара, в особенности России.— Избранные сочинения. Т. 1. М., 1948.— 280 с.

35. Воропаев Г. В. Резервы ирригации, связанные с оптимизацией использования водных ресурсов.— В кн.: Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М., 1973, с. 151—178.

36. Воскресенский К. П. Норма изменчивости годового стока рек СССР.— Л.:. Гидрометеоиздат, 1962.— 545 с.

37. Гидрологические расчеты при осушении болот и заболоченных земель./Под ред. К. Е. Иванова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1963.— 447 с.

38. Глушков В. Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 180 с.

39. Григорьев В. Ю. О расчете динамики элементов водного режима мелиорированного массива на примере ВБУ «Старая Русса».— В кн.: Сборник трудов по гидрологии, 1982, вып. 17, с. 121—134.

40. Доброумов Б. М., Устюжанин Б. С. Преобразование водных ресурсов и режима рек Центра ЕТС.— Л.: Гидрометеоиздат, 1980.— 220 с.

41. Дрозд В. В. Анализ однородности рядов речного стока. (Рекомендации).— Минск: Изд. ЦНИИКИВРа, 1985.— 40 с.

42. Дунин-Барковский Л. В. О водном балансе орошаемых территорий.— Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1956, № 5, с. 61—73.

43. Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы ирригации.— М.: Изд-во АН СССР, 1976.— 167 с.

44. Железняк И. А., Манукало В. А. Определение гидрографов расчетных половодий на основе типовых графиков водоотдачи и функций влияния.— Труды УкрНИИ, 1982, вып. 197, с. 3—19.

45. Железняк И. А. Регулирование паводочного стока.— Л.: Гидрометеоиздат, 1965.— 386 с.

46. Заводчиков А. Б. Сток и водный баланс склонов в зоне недостаточного увлажнения.— Труды ГГИ, 1966, вып. 134, с. 191—205.

47. Иванов К. Е. и др. Некоторые основные положения методики исследования влияния осушительных мелиораций на водные ресурсы и водный режим территории.— Труды ГГИ, 1973, вып. 208, с. 153—160.

48. Иванов К. Е. О методах расчета стока с мелиорируемых болот и влияние мелиорации на сток.— Вестник ЛГУ, 1976, № 18, вып. 3, с. 82—89.
49. Идзон П. Ф., Пименова Г. С. Влияние леса на сток рек.— М.: Наука, 1975.— 110 с.
50. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния окружающей среды.— Л.: Гидрометеоиздат, 1984.— 560 с.
51. Инструкция по почвенным изысканиям для мелиоративного и водохозяйственного строительства. ВСН-П-3-75.— М., Изд. Минводхоза СССР, 1975.— 132 с.
52. Инструкция по определению потерь воды в открытых каналах и КПД систем.— М.: Изд. Минводхоза СССР, 1976.— 80 с.
53. Инструкция по проектированию лиманного орошения. ВСН-П-24-75. М.: Изд. Минводхоза СССР, 1975.— 97 с.
54. Инструкция по проектированию рисовых оросительных систем ВСН-П-25-75.— М.: Изд. Минводхоза СССР, Минсельхоза СССР, 1975.— 49 с.
55. Исследование влагопереноса в зоне аэрации при решении гидрогеологических задач: Методические рекомендации.— М.: Недра, 1972.— 70 с.
56. Карагодин В. Л., Молоков М. В. Отвод поверхностных вод с городской территории.— М.: Стройиздат, 1974.— 212 с.
57. Караушев А. В. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981.— 150 с.
58. Кац Д. М. Контроль режима подземных вод на орошаемых землях.— М.: Колос, 1967.— 183 с.
59. Клюева К. А. Влияние осушительной мелиорации на гидрогеологический режим ряда рек Белоруссии.— Труды ГГИ, 1973, вып. 208, с. 187—211.
60. Константинов А. Р. и др. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 125 с.
61. Коронкевич Н. И. Преобразование водного баланса.— М.: Наука, 1973.— 116 с.
62. Костычев Н. А. О борьбе с засухой в Черноземной области посредством обработки полей и накопления в них снега.— Спб, 1893.
63. Костяков А. Н. Основы мелиораций.— М.: Сельхозгиз, 1960.— 622 с.
64. Крестовский О. И. Хозяйственная деятельность и водность таежных рек ЕТС и Сибири.— В кн.: Водные ресурсы тайги. Иркутск, 1984, с. 79—94.
65. Кубышкин Г. П. Влияние осушения болот на сток рек УССР.— В кн.: Водное хозяйство и мелиорация. Киев, 1970, с. 60—65.
66. Кубышкин Г. П. Оценка влияния осушения пойменных болот на годовой и максимальный сток малых рек УССР (бас. Днепра).— Труды ГГИ, 1973, вып. 208, с. 213—221.
67. Кубышкин Г. П. О влиянии осушительных мелиораций на сток половодья малых мелиорируемых рек УССР.— Мелиорация и водное хозяйство, 1973, вып. 24, с. 70—77.
68. Кузник И. А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв.— Л.: Гидрометеоиздат, 1962.— 220 с.
69. Куприянов В. В. Гидрологические аспекты урбанизации.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 184 с.
70. Курдов А. Г. О влиянии прудов и водохранилищ на сток рек.— В кн.: Материалы региональной конференции «Антропогенные ландшафты Центрально-Черноземных областей и прилегающих территорий». Воронеж, 1972, с. 95—97.
71. Кутовой С. С., Апостолов Б. В. Влияние прудов и водохранилищ на сток бассейна Десны.— Мелиорация и водное хозяйство, 1972, вып. 22, с. 57—61.
72. Леонов Е. А. Об оценке влияния оросительных мелиораций на сток с орошаемых территорий.— Труды ГГИ, 1974, вып. 221, с. 195—214.
73. Леонов Е. А., Леонов В. Е. Применение метода линейного тренда для оценки и прогноза изменения годового стока под влиянием орошения.— Изв. Всесоюз. геогр. об-ва, 1981, т. 113, с. 403—409.
74. Леонов Е. А., Леонов В. Е. Статистический метод оценки и восстановления стока р. Терек.— Труды ГГИ, 1984, вып. 291, с. 81—90.

75. Львович М. И. Водный баланс СССР и его преобразование.— М.: Наука, 1969.— 337 с.

76. Львович М. И. Вода и жизнь.—М.: Мысль, 1986.— 253 с.

77. Малые реки. В кн.: Вопросы географии. М., 1980. Вып. 118.— 221 с.

78. Мезенцев В. С. Метод гидроклиматических расчетов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности.— Труды Омского СХИ, 1957, т. 27.

79. Методические рекомендации по определению водоотведения в орошаемом земледелии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981.— 24 с.

80. Методические рекомендации по оценке и учету влияния агролесомелиоративных мероприятий на годовой сток в гидрологических расчетах.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976.— 88 с.

81. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования.— Л.: Гидрометеоиздат, 1986.

82. Методические указания и алгоритмы расчета оптимальных параметров при поверхностных способах полива.— М.: Изд. Союзводпроекта, 1979.— 108 с.

83. Методическое руководство по прогнозу уровней подземных вод на орошаемых землях.— М.: Изд. Союзводпроекта, 1977.— 51 с.

84. Миронова Е. А. Опыт морфометрической характеристики эрозионного рельефа.— В кн.: Сельскохозяйственная эрозия и новые методы ее изучения. М., 1958, с. 193—212.

85. Мосиенко Н. А. Агрогидрологические основы орошения.— Л.: Гидрометеоиздат, 1984.— 214 с.

86. Назаров Г. В. Изменение стока рек Украины под влиянием земледелия.—Изв. АН СССР, Сер. геогр., 1966, № 1, с. 82—88.

87. Назаров Г. В. Гидрологическая роль почвы.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981 — 216 с.

88. Новиков С. М. Влияние осушительной мелиорации на водные ресурсы и водный режим осваиваемых территорий.— В кн.: Влияние орошения и мелиорации на сток. М., 1973, с. 16—26.

89. Новиков С. М., Гончарова Ж. С. Прогноз изменений водных ресурсов крупных рек СССР под влиянием осушительных мелиораций.— Труды ГГИ, 1978, вып. 255, с. 54—68.

90. Нормативы водопотребления основных сельскохозяйственных культур для лет различной обеспеченности сезонного дефицита водопотребления и наиболее вероятные нормы орошения на Украине. НТД 33.02.001-82.— Киев: Изд. УкрНИИГиМа и Укргипроводхоза, 1982.— 90 с.

91. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83. Государственный комитет СССР по делам строительства.— М.: Стройиздат, 1983.— 97 с.

92. Оценка изменений гидрологических условий под влиянием производственной деятельности.— М.: Недра, 1978.— 178 с.

93. Оценка подземного притока в реки и естественных ресурсов подземных вод в условиях нарушения режима речного стока. Методические рекомендации.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974.— 53 с.

94. Пашковский И. С. Методы определения инфильтрации питания по расчетам влагопереноса в зоне аэрации.— М.: Изд-во МГУ, 1973.— 119 с.

95. Перехрест В. С. Влияние водохранилищ на водный баланс р. Днепра.— В кн.: Труды 4-го Всесоюз. гидрол. съезда. 1976, т. 4, с. 170—177.

96. Перехрест С. М. Влияние осушительной мелиорации на речной сток.— В кн.: Труды 4-го Всесоюз. гидрол. съезда, 1976, т. 4, с. 149—161.

97. Петров Г. Н. Проблемы изучения и картирования местных водных ресурсов на примере малых рек среднего Поволжья (зоны неустойчивого увлажнения).— Пермь, 1975.— 54 с.

98. Подольский А. С. Фенологический прогноз.— М.: Колос, 1974.— 287 с.

99. Подражанский В. А. Гидрогеологические условия орошения земель в Молдавии.— Кишинев: Штиинца, 1975.— 120 с.

100. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.— Л.: Гидрометеоиздат, 1984.— 447 с.
101. Пустовойт С. П. Вплыв осушения на стик.— В кн.: Наукова записка. Киев, 1957, с. 57—67.
102. Разумихин Н. В. Урбанизация — охрана окружающей среды в СССР.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1977.— 50 с.
103. Рахманов В. В. Речной сток и агротехника.— Труды Гидрометцентра СССР, 1973, вып. 114, с. 199.
104. Рахманов В. В. Влияние лесов на водность в бассейне верхней Волги — Труды Гидрометцентра СССР, 1971, вып. 88, с. 174.
105. Режим влагообеспеченности и условия гидромелиорации степного края.— М.: Колос, 1974.— 240 с.
106. Рекомендации по определению объемов стока оросительных и возвратных вод с орошаемых земель.— М.: Изд. Союзводпроект, 1987.— 26 с.
107. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду.— Л.: Гидрометеоиздат, 1979.— 64 с.
108. Рекомендации по производству изысканий для обоснования размещения объектов наблюдений воднобалансовых станций на мелиорируемых землях.— Л.: Изд. ГГИ, 1983.— 20 с.
109. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976.— 95 с.
110. Романов В. В. Гидрофизика болот.— Л.: Гидрометеоиздат, 1961.— 307 с.
111. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Долгосрочные прогнозы стока равнинных рек.— Л.: Гидрометеоиздат, 1963. 279 с.
112. Руководство по контролю актинометрических наблюдений.— Л.: Гидрометеоиздат, 1962.— 149 с.
113. Руководство по проектированию внутрихозяйственной оросительной сети для дождевальных машин «Фрегат», «Волжанка» и «Днепр».— М.: Изд. Минводхоза СССР, 1979.— 104 с.
114. Рутковский В. И. Обоснование лесохозяйственных мероприятий по усилению защитных и водоохранных свойств леса.— М.— Л.: Госбумиздат, 1948.— 42 с.
115. Рябчиков А. М. Структура и динамика геосферы, ее естественное развитие и изменение человеком.— М.: Изд-во МГУ, 1974.
116. Серякова Л. П. Методика расчета суммарного испарения с орошаемых полей.— Труды ЛГМИ, 1977, вып. 62, с. 97—105.
117. Соколов А. А. О нормах потерь стока, связанных с созданием водохранилищ в различных географических условиях.— Метеорология и гидрология, 1958, № 1, с. 17—22.
118. Соколов А. А., Вуглинский В. С. Состояние исследований по оценке влияния мелиоративных мероприятий на водные ресурсы территорий и перспективы их развития.— Труды ГГИ, 1973, вып. 208, с. 3—8.
119. Солопов А. В. Механизм влияния оросительных мероприятий на водные ресурсы и водный баланс.— Труды ГГИ, 1973, вып. 208, с. 48—59.
120. Справочник агролесомелиоратора.— М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 300 с.
121. Строительные нормы и правила. СНиП 11-32-74.— М.: Изд. Союзводпроекта, 1975.— 88 с.
122. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод (по экспериментальным данным).— М.: Гидрометеоиздат, 1966.— 374 с.
123. Сумарокова В. В., Циценко К. В. Изменение стока рек Средней Азии под влиянием развития орошения.— В кн.: Преобразование водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности. Л., 1976, с. 53—55.
124. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976.— 253 с.
125. Сухарев И. П. Влияние обработки почв на сток талых и ливневых вод.— Почвоведение, 1955, № 4, с. 48—55.
126. Указания по опытно-фильтрационным работам при изысканиях для мелиоративного строительства.— М.: Изд. Союзводпроекта, 1977.— 165 с.
127. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969.— 83 с.

128. Указания по расчету недостатков водопотребления сельскохозяйственных культур.— Л.: Изд. ГГИ, 1974.— 96 с.

129. Федоров С. Ф. Элементы водного баланса в лесной зоне ЕТС.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 264 с.

130. Харченко С. И. Оценка влияния орошения на водные ресурсы и водный баланс речных бассейнов.— В кн.: Влияние орошения и мелиорации на сток. Л., 1973, с. 34—50.

131. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.— 246 с.

132. Харченко С. И., Канн И. А., Левченко Г. П. Водно-солевой баланс орошаемых земель Южного Казахстана.— Труды ГГИ, 1972, вып. 199, с. 68—105.

133. Черногаева Г. М. Водный баланс территории города и его влияние на окружающую среду.— В кн.: Гидрологические аспекты урбанизации. М., 1978, с. 15—20.

134. Шебеко В. Ф. Влияние орошения низинных болот на режим стока весеннего половодья и летних паводков.— Метеорология и гидрология, 1970, № 12, с. 52—58.

135. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий.— Минск: Урожай, 1970.— 299 с.

136. Шебеко В. Ф. Влияние осушительных мелиораций на водный режим территорий.— Минск; Урожай, 1983.— 200 с.

137. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек.— Л.: Гидрометеоиздат, 1979.— 302 с.

138. Шикломанов И. А., Веретенникова Г. М. Оценка изменений годового стока рек СССР под влиянием водохранилищ.— Труды ГГИ, 1978, вып. 239, с. 65—80.

139. Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов.— Киев: Наукова думка, 1968.— 281 с.

140. Штепа Б. Г. Рациональная система орошения кукурузы.— В кн.: Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. М., 1965, с. 78—85.

141. Шумаков Б. Б. Гидромелиоративные основы лиманного орошения.— Л.: Гидрометеоиздат, 1979.— 215 с.

142. Юнусов Г. Р. К методике расчета водного баланса в связи с хозяйственной деятельностью на водосборе.— Труды ГГИ, 1965, вып. 127, с. 101—123.

Оглавление

Предисловие 3

1. Малые реки и их хозяйственное использование 5

1.1. Водные ресурсы малых рек 11
1.2. Методы оценки влияния хозяйственной деятельности на сток и его характеристики 14

2. Оценка влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы (годовой и сезонный сток) малых рек 21

2.1. Принципиальные основы методов дифференцированной оценки влияния хозяйственной деятельности на сток . . . . . —
2.2. Агролесомелиоративные и лесохозяйственные мероприятия 27
2.3. Орошение сельскохозяйственных угодий 41
2.4. Осушительные мелиорации 47
2.5. Урбанизированная территория 51
2.6. Пруды и водохранилища 53

3. Учет влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек в практических расчетах 59

3.1. Принципиальная схема учета влияния хозяйственной деятельности на годовой и сезонный сток . . . . . —
3.2. Учет влияния агротехнических мероприятий и полезащитного лесоразведения на годовой и сезонный сток в районах с устойчивым и неустойчивым снежным покровом 60
3.3. Учет влияния лесохозяйственных мероприятий на годовой и сезонный сток рек в районах с устойчивым и неустойчивым снежным покровом 70
3.4. Учет влияния орошения на годовой и весенний сток 73
3.5. Учет влияния осушительных мелиораций на годовой и сезонный сток 83
3.6. Учет влияния урбанизированных территорий (УТ) на годовой и сезонный сток 87
3.7. Учет влияния прудов и водохранилищ на годовой и сезонный сток рек 90
3.8. Учет влияния на сток малых рек всех видов хозяйственной деятельности 93

4. Исследование влияния хозяйственной деятельности на максимальный и минимальный сток 95

4.1. Оценка и учет влияния агротехнических и лесохозяйственных мероприятий на максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков . . . . . —
4.2. Оценка и учет влияния агротехнических и лесохозяйственных мероприятий на минимальный сток 110
4.3. Влияние оросительно-осушительной мелиорации на максимальный дождевой сток 117
4.4. Влияние урбанизированных территорий (УТ) на максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков 119
4.5. Влияние прудов и водохранилищ на максимальные расходы воды 130

5. Рационализация водопользования с учетом влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек — охрана природных вод от истощения 135

Приложения 143

Список литературы 169

Монография

Валентин Евтихиевич Водогрецкий

АНТРОПОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА МАЛЫХ РЕК

Редактор А. Б. Иванова. Художник И. Г. Архипов. Художественный редактор Б. А. Бураков. Технический редактор Н. В. Морозова. Корректор Л. А. Сандлер.

ИБ № 2001

Сдано в набор 17.01.90. Подписано в печать 19.06.90. М-19592. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 11,0. Кр.-отт. 11,26. Уч.-изд. л. 13,05. Тираж 2260 экз. Индекс ГЛ-138. Заказ № 16. Цена 2 р. 20 к.
Гидрометеоиздат. 199226. Ленинград, ул. Беринга, 38.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Государственного комитета СССР по печати.
190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6.