

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

**И.А. Каледа, Н.А. Денисова**

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Рекомендовано Редсоветом университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство»

Под общей редакцией доктора технических наук,  
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2013

УДК 627.824.001.63(075.8)

ББК 38.772-022я73

К17

*Учебное пособие подготовлено в рамках проекта  
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки  
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»  
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –  
«Кадры для регионов»)*

Рецензенты: кафедра инженерной экологии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства (зав. кафедрой доктор технических наук, профессор В.С. Демьянова); директор ФГБУ «Сурский гидроузел» В.К. Парамонов

**Каледа И.А.**

К17 Эксплуатация водных объектов: учеб. пособие / И.А. Каледа, Н.А. Денисова; под общ ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 104 с.

Изложены основы эксплуатации водных объектов. Проанализированы причины их загрязнения, засорения и истощения. Приведены пути решения водохозяйственных задач и защиты водных объектов участниками водохозяйственного комплекса России. Показаны требования к качеству поверхностных вод и условия сброса очищенных сточных вод в водотоки при приоритетном решении проблем водоснабжения населённых мест. Дана характеристика эффективности создания водоохраных зон, методов интенсификации самоочищения вод и регулирования речных русел.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» и базовой кафедре ПГУАС при МУП «Пензгорстройзаказчик» и предназначено для самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство» по дисциплинам экологической направленности, для проведения изысканий по оценке состояния природных и природно-техногенных объектов, определения исходных данных для проектирования объектов, патентных исследований, подготовки заданий на проектирование и в рамках других профессиональных компетенций.

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014  
© Каледа И.А., Денисова Н.А., 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебные планы подготовки магистров по профессионально-образовательным программам «Водоснабжение населённых пунктов и промышленных предприятий», «Водоотведение населённых пунктов и промышленных предприятий» и «Речные и подземные гидротехнические сооружения», разработанные в Пензенском ГУАС по направлению 08.04.01 «Строительство», насыщены дисциплинами, в которых рассматриваются вопросы рационального использования и охраны водных ресурсов: «Мониторинг состояния водной среды и экологический аудит», «Инженерные основы рационального природопользования», «Эксплуатация водных объектов», «Экологические аспекты охраны окружающей среды», «Регуляционные сооружения на реках» и «Водохранилища и их влияние на окружающую среду».

Для эффективного освоения этих дисциплин при небольшом количестве аудиторных часов особое значение приобретает самостоятельная работа магистрантов, которая требует чёткой организации и обеспеченности литературой. Настоящее учебное пособие предназначено для самостоятельной работы обучающихся в магистратуре по направлению «Строительство» по дисциплинам экологической направленности.

В пособии рассмотрены вопросы взаимодействия различных отраслей народного хозяйства в деле рационального использования водных ресурсов, оздоровления природных источников воды при комплексном их использовании. В известной литературе, посвящённой подобной проблематике, основное внимание уделяется снижению сброса неочищенных сточных вод в водные объекты. Бесспорно, это очень актуальная проблема современности. В то же время существуют пути решения экологических проблем водотоков и водоёмов на основе интенсификации процессов самоочищения вод в природной среде, а также на основе торможения процессов эрозии бассейна и русла водных объектов. В связи с этим особая роль в пособии отведена решению проблем получения из поверхностных источников природных вод хорошего качества на фоне проведения гидротехнических и мелиоративных мероприятий.

Учебное пособие включает:

- оценку качества природных вод, используемых для целей водоснабжения;
- мероприятия по защите природных вод от засорения, загрязнения и истощения;

- мероприятия по интенсификации процессов самоочищения в водных объектах;
- методы и сооружения по защите водных объектов от эрозии склонов и русел;
- схемы, чертежи, графики и другие иллюстрации;
- вопросы для самопроверки по главам пособия;
- библиографический список и список рекомендуемой литературы.

Авторы пособия приносят благодарность рецензентам за высказанные замечания и предложения, повлиявшие на качество пособия и его содержание.

Отзывы и пожелания просим направлять авторам на кафедру «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» ПГУАС.

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим природным феноменом, без которого невозможна биологическая жизнь на Земле, является вода. Во все времена поселения людей и размещение промышленных и сельскохозяйственных объектов реализовывались в непосредственной близости от пресных водоёмов и рек, используемых для питьевых, культурно-бытовых, гигиенических, сельскохозяйственных и производственных целей.

В то же время пресная вода в процессе использования человеком превращается в потоки сточных вод, содержащих загрязнения, и практически всегда становится опасной в санитарном отношении как для здоровья людей, так и для состояния окружающей природной среды.

Весь период своего развития человек использовал водотоки для транспортирования мусора и других продуктов жизнедеятельности. Для отведения сточных вод в естественные проточные водоёмы строились специальные сооружения, о которых свидетельствуют археологические раскопки древних поселений Вавилонии, Ассирии, Финикии, Египта, Греции и Рима. Литературные источники свидетельствуют о существовании каналов для отведения дождевых и сточных вод в Индии и Китае около 5-6 тыс. лет назад.

С ростом городов и промышленного производства загрязнение природных вод продуктами жизнедеятельности людей во всём мире стало приводить к печальным последствиям – во всех странах Западной Европы в средние века свирепствовали эпидемии чумы, проказы, оспы и тифа. После страшной эпидемии холеры в Англии в 1831 г. стало ясно, что без оздоровления природных водных объектов человечеству не выжить. В последующие годы в этой стране усилиями парламента открытые водоотводящие каналы были заменены подземными, организована очистка бытовых сточных вод, а в 1876 г. были установлены нормы очистки сточных вод при сбросе их в реку. Эту дату можно считать отправной точкой цивилизованного отношения человечества к рациональному использованию водных ресурсов Земли.

Следует отметить, что проблема сохранения чистоты природных вод не стала менее актуальной в XX веке. С развитием промышленного производства, ростом городов объём сточных вод стремительно растёт. В них продолжает появляться большое количество новых видов загрязняющих веществ, которые не извлекаются или трудно извлекаются в процессе очистки сточных вод. Так, настоящим бичом крупных рек Европы и Америки в середине прошлого столетия стали поверхностно-активные вещества (детергенты). Пена от них стояла у берегов Рейна,

Темзы, Великих Озёр. Справиться с катастрофической ситуацией в развитых странах Западной Европы и Северной Америки в течение примерно 30 лет помог комплекс мер технологического, экономического и юридического характера.

В проблеме охраны вод от загрязнений всегда присутствуют три взаимосвязанных составляющих – экологическая, экономическая и нравственно-правовая. В настоящее время имеется явная необходимость в разработке новых водосберегающих мероприятий и стимулирующих экономических методик, направленных на защиту, экономию и рациональное использование водных ресурсов. Требуется совершенствование и правовая основа международного, внутригосударственного экологического сотрудничества. Подтверждением этому служат экологические катастрофы в районах Приморья России как следствие аварийных сбросов в реки нефтесодержащих и химически загрязнённых сточных вод в Китае. Остро стоят проблемы экологического состояния Дуная, несущего свои воды через семь государств Европы.

В России 80 % речного стока приходится на малонаселённую территорию, а 20 % – на территорию, где сосредоточено около 70 % производственных мощностей и соответствующее количество населения. Водообеспечение в этих регионах встречает значительные трудности. В связи с дефицитом пресной воды в России возникла задача эффективного её использования во всех отраслях народного хозяйства.

В зависимости от того, каким образом используют водные ресурсы, все отрасли народного хозяйства России подразделяют на две категории:

1) водопользователи – это отрасли, которые используют водоемы для различных целей, но безвозвратный водозабор не ведут. К ним относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство, местные органы, использующие воду для целей и нужд населения, т.е. службы хозяйственно-питьевого потребления.

2) водопотребители – это отрасли, которые берут воду из водоемов, причем часть ее используется безвозвратно. Крупнейшими водопотребителями являются теплоэнергетика (особенно АЭС), сельское хозяйство, а из промышленности – химическая и металлургическая.

На конец XX века водный баланс России по водопотреблению, водоотведению и использованию пресной воды по отраслям составлял соответственно:

- для сельского хозяйства – 227, 38 и 190 км<sup>3</sup>/год;
- для промышленности – 93, 80 и 13 км<sup>3</sup>/год;
- для жилищно-коммунального хозяйства – 24, 15 и 9 км<sup>3</sup>/год.

В промышленности пресная вода применяется в качестве технологических растворов, теплоносителя, для переноса твердых масс в промышленных процессах (гидротранспорт). Пресная вода используется в качестве (или для получения) питьевой воды в санитарно-бытовых и производственных целях, обеспечивая высокую степень благоустройства жилищ населения.

В настоящее время просматривается явная необходимость в разработке новых высокоэффективных ресурсосберегающих водных технологий; стимулирующих экономических методик к сбросу в водные источники очищенных сточных вод высокого качества и к забору из водного источника минимального количества свежей воды. Очевидно, что экономические методики могут реализовываться через плату за воду. Недостаток ранее действующих методик заключается в том, что цена на воду слишком была занижена. В настоящее время действует зависимость относительной стоимости воды от коэффициента её качества.

В Пензенской области проблемы водного хозяйства находятся в центре внимания как властных структур, так и специалистов. В соответствии с постановлением Правительства Пензенской области от 28.02.2008 № 135-пП «Об утверждении порядков принятия решений о разработке долгосрочных целевых программ Пензенской области, их формирования и реализации, подготовки материалов по федеральным целевым программам, в реализации которых участвует Правительство Пензенской области, а также проведения оценки эффективности их реализации» была утверждена долгосрочная целевая программа «Экология и природные ресурсы Пензенской области на 2009-2011 годы», которая способствовала решению ряда актуальных вопросов охраны водных ресурсов области.

В этой программе в разделе «Водные ресурсы» сказано, что проблема качества воды занимает особое место в системе охраны природы и здоровья населения. Обеспеченность водными ресурсами во многом определяет и промышленный потенциал области, так как вода широко используется в большинстве технологических процессов.

Для территории Пензенской области характерна густая разветвленная речная сеть, которая почти полностью формируется в ее пределах.

Реки Пензенской области относятся к бассейнам двух крупных рек европейской территории Российской Федерации – Волжскому (72 процента водосборной площади, или 31,2 тыс. кв. км) и Донскому (28 процентов водосборной площади, или 12,1 тыс. кв. км). Речная сеть Пензенской области представлена бассейнами рек Суры, Мокши, Выши, Хопра и Вороны.

С учетом гидрологических особенностей рек существующая антропогенная нагрузка на водные экосистемы Пензенской области становится для них критической, что требует реализации комплекса взаимоувязанных водоохранных и водохозяйственных мероприятий.

По результатам мониторинга 2012 г. качество воды водных объектов Пензенской области соответствует 3–4 классу качества («умеренно загрязненная» – «загрязненная»). Наиболее загрязненной является р. Сура, испытывающая наибольшую антропогенную нагрузку. Она принимает 96,6 процента всех стоков Пензенской области.

Решение проблемы охраны поверхностных водных объектов требует проведения мероприятий по защите их от загрязнения поверхностным стоком, поступающим с водосборной площади территории.

Вклад в загрязнение водосборной площади оказывают отходы производства и потребления. Всего в 2007 году в Пензенской области образовалось 1374 тыс. тонн отходов (в том числе отходы 1-ого класса опасности (ртутьсодержащие) – 0,003 %). В связи с недостатком оборудованных мест для складирования и захоронения отходов на территориях Пензенской области распространена практика вывоза их в места неорганизованного хранения, что способствует дополнительному загрязнению поверхностных и подземных вод.

Кроме того, как правило, наиболее привлекательными для отдыха населения являются берега водных объектов, поэтому такие места в большей степени подвержены загрязнению бытовыми и прочими отходами, а следовательно, нуждаются в очистке.

Водоохранные зоны являются одним из видов экологических зон, создаваемых для предупреждения воздействия хозяйственной деятельности на водные объекты. Установление границ водоохранных зон направлено на обеспечение предотвращения засорения, загрязнения, заиления и истощения водных объектов.



# 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

## 1.1. Цель и задачи эксплуатации водных объектов

*Водным объектом называют* сосредоточение вод на поверхности суши в формах её рельефа либо в недрах, имеющее границы, объём и черты водного режима [9].

Комплекс водных объектов и гидротехнических сооружений, предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов, представляет собой *водохозяйственную систему*. *Водное хозяйство* — деятельность в сфере изучения, использования, охраны водных объектов, а также предотвращения и ликвидации негативного воздействия вод.

Под *эксплуатацией водных объектов* понимают [12] комплекс организационно-хозяйственных, агролесомелиоративных, агротехнических, лугомелиоративных, гидротехнических мероприятий, направленных на создание технических условий использования водного объекта участниками водохозяйственного комплекса и на поддержание экологического равновесия в его водоохранной зоне и акватории (*акватория* — водное пространство в пределах естественных, искусственных или условных границ).

Настоящее учебное пособие направлено на знакомство читателей с теоретическими основами, техническими средствами и мероприятиями, позволяющими осуществлять эксплуатацию и охрану водных объектов различного вида и назначения (*охрана водных объектов* — система мероприятий, направленных на сохранение, восстановление водных объектов и улучшение состояния природных запасов воды [9, 12]).

Эксплуатация и охрана водных объектов возложена на органы исполнительной власти субъектов РФ, бассейновые и другие территориальные органы управления использованием и охраной водного фонда Министерства природных ресурсов РФ, специально уполномоченные государственные органы в области охраны окружающей природной среды, государственные органы управления использованием и охраной земель и специально уполномоченные органы управления лесным хозяйством в пределах их полномочий.

Эксплуатация и охрана водных объектов, на которых имеются гидроузлы, осуществляется дирекцией (владельцем) гидроузла. На гидроузлах I-III классов предусмотрена служба эксплуатации, которая занимается и вопросами эксплуатации водного объекта. Служба экс-

плуатации водного объекта разрабатывает долгосрочные и оперативные мероприятия, направленные на поддержание экологического равновесия в зоне расположения водного объекта, защиту его от загрязнения, засорения и истощения.

Под *загрязнением* понимают такое изменение состава или свойств воды под прямым или косвенным влиянием людей, при котором вода становится частично или полностью непригодной для какого-либо вида водопользования.

Под *засорением* понимают поступление в водные источники посторонних нерастворимых предметов, практически не изменяющих качество воды (древесина, шлак, металлолом, строительный мусор). В результате засорения возникает угроза накопления мусора на дне, берегах или транспортирования его с потоком, что приводит к ухудшению общего состояния водного объекта.

*Истощение вод* – сокращение количества воды в водном источнике, происходящее под влиянием человеческой деятельности и носящей устойчивый характер.

Загрязнения поступают в водные объекты в результате смыва со склонов бассейна продуктов эрозии почв и хозяйственной деятельности человека, а также в результате сброса очищенных, а порой неочищенных, сточных вод. Приток загрязнений от поверхностного стока наиболее активно происходит в период таяния снегов на территории водосборного бассейна и в период интенсивного выпадения дождей.

На судоходных реках в результате потери грузов (особенно при лесосплаве) и обслуживании судов (сброс балластных или сточных вод, мусора) в воду попадают не только загрязнения и мелкий мусор, но и крупный мусор. Часто в период таяния снегов и во время ледохода на реках в водные объекты попадают сломанные льдом деревья, разрушенные временные постройки, складированный ранее по берегам бытовой и строительный мусор и прочее. В результате с годами на дне могут накапливаться предметы, создающие сложности при рыболовстве, при создании зон отдыха. Мусор на дне водоёмов при коррозии материалов может стать источником вторичного загрязнения вод.

Водный поток нередко приносит ущерб народному хозяйству при наводнениях и затоплениях в период паводков, вследствие обрушения берегов, блуждания речного русла, обильных отложений наносов, засыпающих песком, илом и камнями культурные земли, строения. Защиты от наносов требуют водозаборы поверхностных вод. Защита от размыва необходима выпуклым берегам рек. В зависимости от направления ветра от волнового воздействия следует защищать отдельные

участки озёр и водохранилищ. Воздействия вод на дно и берега водных объектов, приводящие к размыву или переформированию русел, отрицательно сказываются на качестве воды.

В первые годы существования водохранилища большое значение в формировании качества воды имеют выполненные санитарно-технические мероприятия по подготовке ложа к затоплению (вырубка леса, уборка мусора, обеззараживание нечистот и захоронений, снятие торфяников). До настоящего времени среди специалистов нет единого мнения по поводу сводки древесно-кустарниковой растительности в зоне будущего водохранилища.

В большинстве европейских стран, где нет крупных водохранилищ, производится сплошная лесочистка ложа и некоторых участков берегов, т.к. считается, что осложнения, вызванные невырубленной и плавающей древесиной, обходятся впоследствии дороже, чем стоимость лесочистки.

Неполная лесочистка водохранилищ имела место на многих водохранилищах в Канаде, в США, в России. Например, при подготовке ложа водохранилища Норрис в бассейне реки Теннесси лесочистка проводилась лишь в зоне сработки, ниже осуществлялась только срезка деревьев, выступающих над водой при УМО. На ряде водохранилищ США вырубаемая древесина даже не вывозилась, а оставлялась на месте.

Вместе с тем опыт эксплуатации ряда сибирских и канадских водохранилищ показал, что влияние древесины, оставленной без вырубки на больших площадях, сказалось на качестве воды значительно меньше, чем предполагалось. Под действием ледовых, гидродинамических, гидрохимических процессов невырубленная лесная растительность постепенно разрушается, разлагается, всплывает, частично выбрасывается на берег, особенно во время сработки водохранилищ, частично заиливается на дне. Кое-где затопленный лес сдерживает разрушение берегов и перемещение наносов, создает особые безопасные условия для размножения рыб, птиц, водоплавающих животных.

На Братском водохранилище было затоплено 12 млн м<sup>3</sup> леса, на Усть-Илимском – 5,4 млн м<sup>3</sup>. Большие площади нетоварного леса были затоплены при создании водохранилища на Курейской ГЭС. Плавающие поля древесины причиняют неудобства и трудности в работе водного транспорта, затрудняют условия подхода судов и катеров к берегу, снижают эстетическое впечатление и рекреационную ценность водохранилища.

На Саяно-Шушенском водохранилище была проведена частичная лесочистка, из 3,7 млн м<sup>3</sup> древесины в зоне затопления осталось

2.2 млн м<sup>3</sup>, из них 1 млн м<sup>3</sup> остались в зоне ежегодной сработки. С момента начала наполнения водохранилища в 1978 году и до сегодняшнего дня на его акватории происходит образование плавника. По данным аэрофотосъемки в 1989 г. было выявлено на плаву около 1 млн м<sup>3</sup> древесины, что составляет 0.2 % от полного объема водохранилища. Образование плавника происходит за счет всплытия валежника и сухостойной древесины, от вывала и срезки деревьев в результате ледовых явлений при ежегодных зимних сработках на 30-80 м при толщине льда 100-130 см.

Для очистки водохранилища от плавающей древесины были установлены запаны, организован сбор плавника в кошелю и доставка их к месту складирования. Однако проблема переработки плавающей древесины до сих пор не решена. Лес теряет свою ценность, оседая на берегах водохранилища, увеличивает пожароопасность. Непрерывные работы по локализации и сбору плавника требуют людских ресурсов, а собранные, более 300 тыс. м<sup>3</sup> плавника не находят до сих пор своего применения.

Исследовательские работы, выполненные в 1985-1996 гг. на биологическом факультете Красноярского университета, показали, что процессы химического и биологического разрушения древесины в суровых климатических условиях с низкими среднегодовыми температурами воздуха и воды протекают крайне медленно и не отражаются на удовлетворительном качестве воды, которая в основном объеме водохранилища характеризуется как «достаточно чистая».

В настоящее время действующие санитарные нормы, регламентирующие требования к подготовке зон водохранилищ [16], допускают возможность затопления части древесно-кустарниковой растительности в зоне мертвого объема (ниже УМО) на водохранилищах с объемом более 10 млн м<sup>3</sup> и с водообменом более 6.

Российское законодательство [12] предоставляет приоритет использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения перед иными целями их использования. Предоставление их в пользование для иных целей допускается только при наличии достаточных водных ресурсов. Качество воды в водных объектах, которые используются для целей водоснабжения, существенно влияет на состав очистных сооружений системы водоснабжения. Это сказывается на себестоимости воды. В ряде случаев, когда в природной воде в опасных для человека количествах имеются загрязнения, которые не могут быть удалены на очистных сооружениях водопровода (или их удаление экономически не целесообразно), приходится отказаться от использования этого источника [2, 5, 8, 19].

Для оценки водного объекта как источника составляется его санитарная характеристика на основании санитарно-топографического обследования. При этом учитываются также санитарные условия водообеспечения населенных мест. На основании таких обследований составлены показатели качества воды источников водопользования. Они разделяются на два класса (табл. 1.1).

Т а б л и ц а 1 . 1

Определяемые показатели	Показатели качества воды по классам		
	1-й	2-й	3-й
<i>I. Подземные источники</i>			
Мутность, мг/л	1,5	1,5	10
Цветность, град	20	20	50
Водородный показатель рН	6-9	6-9	6-9
Железо, мг/л	0,3	10	20
Марганец, мг/л	0,1	1	2
Сероводород, мг/л	0	3	10
Фтор, мг/л	1,5-0,7	1,5-0,7	5
Окисляемость перманганатная, мг/л O <sub>2</sub>	2	5	15
Число бактерий группы кишечной палочки (БГКП), количество в 1 л	3	100	1000
<i>II. Поверхностные источники</i>			
Мутность, мг/л	20	1500	10000
Цветность, град	35	120	200'
Запах, балл	2	3	4
Водородный показатель рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Железо, мг/л	1	3	5
Марганец, мг/л	0,1	1	2
Фитопланктон, мг/л	I	5	50
Клостридии, количество в 1 см <sup>3</sup>	1000	100000	100000
Окисляемость перманганатная, мг/л O <sub>2</sub>	7	15	20
БПК полн, мг/л	3	5	7
Число лактозо-положительных кишечных палочек (ЛКП), количество	1000	10000	50

Разделение водных источников по классам показывает большой их разброс по качеству и количеству воды. Показатели качества воды изменяются в зависимости от гидрогеологических условий объекта, его географического положения, а также от наличия промышленных предприятий (они могут сбрасывать сточные воды в водоем).

По своему назначению водные источники делятся на рыбохозяйственные, хозяйственно-бытовые и культурно-бытовые. Рыбохозяйственные объекты, в свою очередь, подразделяются на две категории. К первой относят объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных пород рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду. Ко второй – все водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

*Водное хозяйство* — деятельность в сфере изучения, использования, охраны водных объектов, а также предотвращения и ликвидации негативного воздействия вод [12]. Наиболее активными участниками водохозяйственного комплекса страны являются [7] водоснабжение, водоотведение, теплоэнергетика, гидроэнергетика, водный транспорт, рыболовство, рыбоводство, мелиорация (орошение и обводнение), водный спорт и туризм и т.д. В интересах всего водного хозяйства необходимо поддерживать экологическое равновесие в зоне расположения водного объекта.

К мероприятиям, направленным на поддержание экологического равновесия, относятся:

- снижение любого сброса в водные объекты, в том числе сточных вод и (или) дренажных вод;
- защита водных объектов от загрязнённого поверхностного стока путем создания и содержания прибрежных водоохранных зон, санитарных зон и прибрежных полос;
- интенсификация процессов самоочищения воды при использовании высшей водной растительности и искусственной аэрации;
- очистка от донных отложений;
- защита вод от загрязнения сине-зелёными водорослями;
- защита вод от тепловых загрязнений;
- защита вод от загрязнения нефтепродуктами;
- защита вод от загрязнения через атмосферу.

## 1.2. Виды водных объектов

*Водные объекты суши* – скопления природных вод на земной поверхности и в верхних слоях земной коры, обладающих определённым гидрологическим режимом [9, 12]. Выделяют три группы водных объектов – водотоки, водоёмы и особые водные объекты [6].

К *водотокам* относятся водные объекты на земной поверхности с движением воды в руслах в направлении уклона (естественные: реки, ручьи; искусственные: каналы). *Водоёмы* – это водные объекты, сосредоточенные в понижениях земной поверхности, с замедленным

движением воды (естественные: океаны, моря, озёра, болота; искусственные: водохранилища, пруды). Группу водных объектов, не укладывающихся в понятия «водоёмы» и «водотоки», составляют **особые водные объекты** – ледники, подземные водоносные горизонты.

Водоток, в русле которого движение воды происходит в течение всего года или большей его части, называется **постоянным водотоком**. Считается, что небольшие периоды пересыхания русла не оказывают большого влияния на водность, и русло сохраняет, в общем, свое положение. Водотоки, в руслах которых движение воды происходит меньшую часть года, называют **временными водотоками**. В руслах таких водотоков могут появиться устойчивый травяной покров и даже мелкие кустарники, увеличивающие шероховатость таких русел. Русла временных водотоков не всегда отчетливо выражены.

Реки в зависимости от их протяженности принято разделять на малые (протяжённостью 10...100 км), средние (протяжённостью 100...500 км) и крупные (протяжённостью более 500 км) реки. Водотоки протяженностью до 10 км, имеющие неустойчивый режим, принято называть ручьями.

Речной сток формируется за счёт поступления в реки вод атмосферного происхождения, однако пути поступления вод в реки могут быть различными. Выделяют следующие виды питания рек: дождевое, снеговое, ледниковое и подземное.

*Дождевое питание* имеет преобладающее значение в тропических областях земного шара и в других районах с мягким тёплым климатом. Сток крупнейших рек мира (Амазонка, Ганг, Меконг) формируется в основном за счёт дождевых вод. Этот вид питания в глобальном масштабе является главнейшим. Вторым по важности является *снеговое питание*. Его роль велика в питании рек в условиях умеренного климата, когда зимой накапливаются значительные запасы снега. Третье место по объёму поступающих в реки вод занимает *подземное питание*. Именно подземные воды обуславливают постоянство или большую продолжительность стока реки в течение года. Около 1 % рек мира имеют *ледниковое питание*. Это, как правило, реки, берущие начало в горных районах.

В настоящее время более распространена классификация рек по источникам питания М.И.Львовича. Для определения степени преобладания того или иного вида питания приняты три градации:

1. Если один из видов питания даёт более 80 % годового стока реки, то говорят об *исключительном* значении этого вида питания (для ледникового питания – 50 %). Другие виды питания не учитывают.

2. Если на долю данного вида питания приходится 50...80 % стока, то вид питания называют *преимущественным* (для ледникового питания – 25... 50 %). Другие виды питания учитывают, если на их долю приходится более 10 % стока.

3. Если же ни один вид питания не даёт более 50 % стока, то этот вид питания считают *смешанным*.

Большая часть рек территории бывшего СССР имеет преобладающее снеговое питание. Почти исключительно снеговое питание имеют реки Северного Кавказа и Заволжья. Реки дождевого питания характерны для южной части территории к востоку от Байкала; для Черноморского побережья Кавказа и Крыма; для бассейнов Яны и Индигирки. Ледниковое питание имеют реки на Кавказе и в Средней Азии.

Объём годового стока реки может изменяться от года к году, но характерные периоды (фазы) режима в основном сохраняются. *Под фазами водного режима рек понимают характерные состояния водного режима реки, повторяющиеся в определённые гидрологические сезоны в связи с изменением условий питания.* Основными фазами водного режима реки являются половодье, паводок и межень.

*Половодьем* называют фазу водного режима реки, ежегодно повторяющуюся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующуюся наибольшей водностью, высоким и длительным подъёмом уровня воды и вызываемую снеготаянием или совместным таянием снега и ледников. Для внутриконтинентальных территорий половодье связывают со снеготаянием, но правильнее было бы его связывать с главным источником питания. Например, в муссонных и тропических зонах половодье обусловлено летними дождями.

*Паводок* – фаза водного режима реки, которая может многократно повторяться в различные сезоны года, характеризуется интенсивным, кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей.

*Меженью* называют фазу водного режима реки, ежегодно повторяющуюся в одни и те же сезоны, характеризующуюся малой водностью, длительным стоянием низкого уровня и возникающую вследствие уменьшения питания реки. Различают летнюю и зимнюю межень.

## Вопросы для самопроверки

1. Что называют водным объектом ?

1. Как называют деятельность в сфере использования, охраны водных объектов и предотвращения и ликвидации негативного воздействия вод?



2. Что представляет собой водохозяйственная система?
3. Что понимают под эксплуатацией водных объектов?
4. На кого возложена эксплуатация и охрана водных объектов?
5. Кто осуществляет эксплуатацию и охрану водных объектов, на которых имеются гидроузлы?
6. Что понимают под засорением природных водных объектов?
7. Как называют сокращение количества воды в источнике под влиянием деятельности человека и носящее устойчивый характер?
8. Что понимают под загрязнением природных вод?
9. На какие виды делятся водные источники по своему назначению?
10. Какие мероприятия относятся к мероприятиям, направленным на поддержание экологического равновесия в зоне расположения водного объекта?
11. Какие три группы выделяют среди водных объектов?
12. Какие водные объекты относятся к водотокам?
13. Что представляют собой водоёмы?
14. Как называют реки в зависимости от их протяженности? Чем от рек отличаются ручьи?
15. Какие выделяют виды питания рек?
16. При каких условиях вид питания водного объекта считают смешанным?
17. Как называют характерные состояния водного режима реки, повторяющиеся в определённые гидрологические сезоны в связи с изменением условий питания?
18. Как называют фазу водного режима реки, ежегодно повторяющуюся в одни и те же сезоны, характеризующуюся малой водностью, длительным стоянием низкого уровня и возникающую вследствие уменьшения питания реки?

## 2. ПРИБРЕЖНЫЕ ВОДООХРАННЫЕ ЗОНЫ

### 2.1. Назначение водоохраных зон.

#### Режим хозяйствования

Водоохранные зоны являются одним из видов экологических зон, создаваемых для предупреждения вредного воздействия хозяйственной деятельности на водные объекты.

Водоохранная зона представляет собой территорию, примыкающую к акваториям рек, озёр, водохранилищ и других поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. В пределах водоохраных зон выделяются прибрежные защитные полосы с более строгим охранительным режимом, на которых вводятся дополнительные ограничения природопользования.

Прибрежные водоохранные зоны представляют собой систему лесных полос в сочетании с простейшими гидротехническими устройствами и сооружениями.

Соблюдение специального режима на территории водоохраных зон является составной частью комплекса природоохранных мер по улучшению гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, санитарного и экологического состояния водных объектов и благоустройству их прибрежных территорий.

Поддержание в надлежащем состоянии водоохраных зон, прибрежных защитных полос и водоохраных знаков возлагается на водопользователей. Собственники земель, землевладельцы и землепользователи, на землях которых находятся водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, обязаны соблюдать установленный режим использования этих зон и полос.

Государственный контроль за соблюдением порядка установления размеров и границ, а также режима хозяйственной и иной деятельности в пределах водоохраных зон и прибрежных защитных полос возложен на органы исполнительной власти субъектов РФ, бассейновые и другие территориальные органы управления использованием и охраной водного фонда Министерства природных ресурсов РФ, специально уполномоченные государственные органы в области охраны окружающей природной среды, государственные органы управления использо-

ванием и охраной земель и специально уполномоченные органы управления лесным хозяйством в пределах их полномочий.

В 2009 г. подписано Постановление правительства РФ об утверждении правил установления на местности границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов. В тексте документа было отмечено, что установление границ направлено «на информирование граждан и юридических лиц о специальном режиме осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления водных объектов сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира в границах водоохранных зон и о дополнительных ограничениях хозяйственной и иной деятельности в границах прибрежных защитных полос».

В Постановлении отмечается также, что органы государственной власти должны обеспечить размещение специальных информационных знаков на всем протяжении границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов. «Собственники земель, землевладельцы и землепользователи земельных участков, на землях которых находятся водоохранные зоны, должны обеспечить беспрепятственный доступ представителей органов власти» в целях размещения соответствующих информационных знаков и поддержания этих территории в надлежащем состоянии.

В соответствии со статьёй 65 Водного кодекса РФ [12] ширина водоохраной зоны морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и ширина их прибрежной защитной полосы за пределами территорий городов и других поселений устанавливаются от соответствующей береговой линии. При наличии ливневой канализации и набережных границы прибрежных защитных полос этих водных объектов совпадают с парапетами набережных, ширина водоохраной зоны на таких территориях устанавливается от парапета набережной.

Ширина водоохраной зоны *рек или ручьев* устанавливается от их истока для рек или ручьев в зависимости от их протяжённости:

- 1) до десяти километров — в размере пятидесяти метров;
- 2) от десяти до пятидесяти километров — в размере ста метров;
- 3) от пятидесяти километров и более — в размере двухсот метров.

Для реки, ручья протяженностью менее десяти километров от истока до устья водоохранная зона совпадает с прибрежной защитной полосой.

*Радиус* водоохраной зоны для истоков реки, ручья устанавливается в размере пятидесяти метров.

Ширина водоохраной зоны *озера, водохранилища*, за исключением озера, расположенного внутри болота, или озера, водохранилища с акваторией менее 0,5 квадратного километра, устанавливается в размере пятидесяти метров.

Ширина водоохраной зоны озера Байкал устанавливается Федеральным законом от 1 мая 1999 года № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал».

Ширина водоохраной зоны *моря* составляет пятьсот метров.

Водоохранные зоны *магистральных или межхозяйственных каналов* совпадают по ширине с полосами отводов таких каналов.

Водоохранные зоны *рек, их частей, помещенных в закрытые коллекторы*, не устанавливаются.

*В границах водоохраных зон запрещаются* [12]:

- 1) использование сточных вод для удобрения почв;
- 2) размещение кладбищ, скотомогильников, мест захоронения отходов производства и потребления, радиоактивных, химических, взрывчатых, токсичных, отравляющих и ядовитых веществ;
- 3) осуществление авиационных мер по борьбе с вредителями и болезнями растений;
- 4) движение и стоянка транспортных средств (кроме специальных транспортных средств), за исключением их движения по дорогам и стоянки на дорогах и в специально оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

*В границах водоохраных зон допускаются* проектирование, размещение, строительство, реконструкция, ввод в эксплуатацию и эксплуатация хозяйственных и иных объектов при условии оборудования таких объектов сооружениями, обеспечивающими охрану водных объектов от загрязнения, засорения и истощения вод в соответствии с водным законодательством и законодательством в области охраны окружающей среды.

В границах водоохраных зон могут находиться такие природные объекты, как леса. Проведение в них промышленной вырубке леса не допускается (рубке главного пользования). Рубки промежуточного пользования проводятся в древостоях различных возрастов. Это рубки ухода за лесом: санитарные рубки и рубки-реконструкции, связанные с рубкой малоценных лесных насаждений, а также теряющих защитные, водоохраные и другие природоохранные функции.

В целях охраны водных объектов, используемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также содержащих природные лечебные ресурсы, устанавливаются зоны и округа санитарной

охраны в соответствии с законодательством Российской Федерации (статья 115 Водного кодекса РФ [12]).

*Зона санитарной охраны источников водоснабжения* и водопроводов делится на три пояса [13], в каждом из которых устанавливается особый режим.

*Первый пояс* (зона строгого режима) организуется для охраны мест забора воды из источника и прилегающих к нему участков, а также головных сооружений водопроводов. Эта территория ограждается, благоустраивается, охраняется. Здесь запрещено проживание и временное нахождение лиц, непосредственно не связанных с работой на водопроводных сооружениях, а также строительство, не связанное с техническими нуждами самого водопровода.

*Второй пояс* (зона ограничений) включает территорию, непосредственно окружающую источники водоснабжения и их притоки. Во втором поясе запрещается такое использование территории или источников водоснабжения, которое может вызвать качественное или количественное их ухудшение. В пределах второго пояса строительство, уничтожение насаждений, проведение железнодорожных и автотранспортных путей, использование земельных участков и водоемов для сельскохозяйственных нужд, мероприятия по физкультуре, купание и т.п. допускается только с особого разрешения органов санитарного надзора.

*Третий пояс* (зона наблюдений) охватывает смежную со вторым поясом территорию, неблагоприятное состояние которой может вызвать распространение инфекционных заболеваний через водопровод. В третьем поясе органы санитарного надзора производят специальный учет инфекционных заболеваний, которые могут распространяться через водопровод и проводят эпидемиологическое обследование каждого отдельного случая таких заболеваний.

Водоохранная зона источника питьевого водоснабжения является особо охраняемой территорией. Ее границы определяются на карте, а границы первого пояса отмечаются в натуре соответствующими знаками (столбы с надписями). Местная администрация обязана оповестить население о границах зоны санитарной охраны и ее режиме.

## 2.2. Прибрежные лесозащитные полосы

### 2.2.1. Назначение, размеры, дополнительные ограничения хозяйственной деятельности

В пределах водоохранных зон устанавливаются *прибрежные лесозащитные полосы*, на территории которых вводятся дополнительные ограничения природопользования.

Число и вид лесных полос (лесные мелиорации) определяются климатическими, топографическими, гидрогеологическими и гидрологическими условиями. Лесозащитные полосы:

- позволяют максимально перевести поверхностный сток в подземный;
- способствуют более равномерному питанию водного объекта подземными водами в течение года;
- защищают водное зеркало от перегрева, ветров и солнечной радиации;
- снижает испарение до 50 %;
- укрепляют берега;
- частично извлекают минеральные соли и химические препараты;
- задерживают эрозирование почвы.

Ширина прибрежной защитной полосы устанавливается в зависимости от уклона берега водного объекта и составляет тридцать метров для обратного или нулевого уклона, сорок метров для уклона до трех градусов и пятьдесят метров для уклона три и более градуса.

Для расположенных в границах болот проточных и сточных озер и соответствующих водотоков ширина прибрежной защитной полосы устанавливается в размере пятидесяти метров.

Ширина прибрежной защитной полосы озера, водохранилища, имеющих особо ценное рыбохозяйственное значение (места нереста, нагула, зимовки рыб и других водных биологических ресурсов), устанавливается в размере двухсот метров независимо от уклона прилегающих земель.

На территориях поселений при наличии ливневой канализации и набережных границы прибрежных защитных полос совпадают с парапетами набережных. Ширина водоохраной зоны на таких территориях устанавливается от парапета набережной. При отсутствии набережной ширина водоохраной зоны, прибрежной защитной полосы измеряется от береговой линии.

В границах прибрежных защитных полос наряду с установленными ограничениями для водоохранных зон запрещаются:

- 1) распашка земель;
- 2) размещение отвалов размываемых грунтов;
- 3) выпас сельскохозяйственных животных и организация для них летних лагерей, ванн.

Закрепление на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос специальными информационными знаками осуществляется в соответствии с земельным законодательством.

В границах водоохранных зон и в бассейнах водных объектов могут располагаться естественные леса. Важнейшая *водоохранная функция лесов* связана с их сглаживающим влиянием на внутригодовое распределение стока. Лес обеспечивает перевод части склонового стока в почвенный и грунтовый, что связано с очисткой воды от загрязняющих веществ в ходе фильтрации. Снежный покров на лесных территориях формируется со значительно большими запасами воды, чем на открытых пространствах, причем наиболее мощный – в лиственных лесах. От мощности снежного покрова зависят глубина промерзания почвы и интенсивность ее оттаивания. Сильно промерзшие почвы (безлесье) характеризуются замедленным оттаиванием, во время снеготаяния их водопроницаемость минимальна, что ведет к увеличению кратковременного поводного стока с большим объемом продуктов эрозии берегов.

### 2.2.2. Лесомелиорация рек

Лесомелиорацию рек и речных долин осуществляют для истоков, малых, средних и крупных рек.

*Лесомелиорация истоков и истоковых частей рек* длиной до 10 км защищает от сильного заиления и испарения, способствует пополнению воды за счёт осадков и инфильтрации поверхностного стока. Для этого необходимо сплошное *облесение истока* на расстояние 200 м вверх, 50 м – вниз и 40...45 м в боковые стороны. Вдоль рек устраивают *прирусловые полосы* шириной 15 м, состоящие из бровки и кустарниковых прутьевидных ив, затем 2...4-рядной ленты древесных пород и кустарников. На прилегающих *поймах* предусматриваются ветроломные полосы продуваемой структуры в 2...3 ряда, располагаемые поперёк поймы через 100...400 м.

У *малых рек* (протяжённостью 10...100 км) прирусловые полосы (шириной около 20 м) устраивают одновременно с грунтоукрепляющими насаждениями с мощной корневой системой. Размываемые и подмываемые берега обсаживают растениями с густыми стеблями и

мощными корнями или укрепляют ивовыми плетнями. Поймы рек используют под луг или посевы сельскохозяйственных культур. Для предотвращения воздействия ветров и песчаных отложений поперёк поймы размещают ветроломно-кольматирующие полосы шириной около 20 м.

Лесомелиоративные сооружения на поймах занимают 22 %, под лугами и другими видами сельскохозяйственного использования занято 75 % территории и водной поверхностью – 3 %.

На *средних реках* (протяжённостью 100...500 км) могут быть размещены комплексные гидроузлы с крупными водозаборами, а водное пространство использовано для судоходства и разведения рыбы. Долины таких рек хорошо выработаны, ширина русла колеблется от 30 до 400 м, поймы – от 300 м до нескольких километров. На этих реках процессы руслообразования более выражены. Подмывы берегов и образование песчаных пляжей происходят более интенсивно. Наблюдается заболачивание пойм или их занесение песком. Паводковые затопления более продолжительны. По этим причинам здесь требуется более интенсивное лесомелиоративное воздействие.

Ширина древоствольных прирусловых полос в начале участка равна 20 м, в конце – около 100 м. На стабильных берегах в прирусловой полосе непосредственно от бровки высаживают кустарниковые ивы в полосе шириной 5 м для кольматации песка. За кольматирующей лентой должна быть струенаправляющая 3...4-рядная опушка из особых пород ветлы, тополя и кустарников для направления паводкового потока воды и льда. Подмываемые берега укрепляют лесными насаждениями по тому же принципу, что и на малых реках.

В *поймах рек* (в местах слабого смыва и кольматажа песчаных выносов) устраивают полосы в виде густого подлеска шириной 10 м и 60 м – в местах сильного их проявления. Эти полосы размещают через 500...700 м под углом к оси поймы навстречу течению. Между кольматирующими полосами предусматривают ветроломные 2...3-рядные полосы через 100...200 м на луговых участках и через 300...400 м – на участках сельскохозяйственного использования. Берега речных долин обносят лесом в виде прибалочных полос.

*Лесомелиорация территории речных долин при средней ширине долины 1,8 км* включает: насаждения – 34 %, луга и с/х угодья – 58 %, водная поверхность – 8 % территории.

К неблагоприятным процессам, происходящим в долинах крупных рек с судоходством, рыболовством, каскадами ГЭС, относится поступление с вышерасположенных участков твёрдых выносов, заносающих русло и с/х угодья на пойме. Для предупреждения



поступления твёрдых выносов предусматривают прирусловые полосы. Кустарниковая прирвовочная часть полосы шириной 30...70 м из устойчивых к затоплению ив играет кольматирующую роль. Примыкающая к кустарниковой ленте древоствольная часть полосы шириной 100...130 м имеет мощную струенаправляющую опушку из трёх рядов пирамидального тополя или осокоря.

В пойме рек устраивают поперечные кольматирующие и ветроломные полосы, а берега долин укрепляют соответствующими лесными насаждениями или бунами.

В долине рек со средней шириной 5 км лесомелиоративные насаждения составляют 20 %, луга и другие с/х угодья – 74 %, водная поверхность – 6 % от общей площади территории.

### 2.2.3. Лесомелиорации полевых прудов

Лесные мелиорации полевых прудов создают в балках, лощинах, суходолах. В прудах, заполняющихся водами поверхностного стока и подверженных быстрому заилению от поступающих наносов, по периметру устраивают полосу шириной 20...80 м. Ниже делают залуженную полосу шириной 15...20 м для аккумуляции мелких фракций наносов и древесного опада (листвы, ветрей). В вершине пруда за лесной полосой создают илоуловитель из густопосаженной кустарниковой ивы и поперечных плетней.

### 2.2.4. Лесомелиорации водохранилищ

В условиях водохранилищ, создаваемых подпором больших рек, основным фактором, определяющим процесс формирования береговой области, является ветровое волнение. Скорости течения, определяемые транзитными расходами воды, в больших водохранилищах малы для создания значительных размывов берегов.

При движениях воды, связанных с действием ветра, в том числе и сгонно-нагонных, так или иначе связанных с волнением, создаются скорости, способные размывать берега и дно, перемещать большие массы грунта (рис. 2.1).

Под действием указанных причин первоначальный берег, линия профиля которого *abc*, разрушается. Продукты разрушения отлагаются вниз по откосу в виде подводной береговой отмели или береговой платформы. Рост береговой отмели и разрушение берега продолжают, постепенно затухая, до тех пор, пока отмель не образует надежную защитную полосу, выполненную на поверхности из достаточно крупных частиц грунта, в пределах которой волны теряют значи-

тельную часть своей энергии и перестают действовать разрушающе на берега.

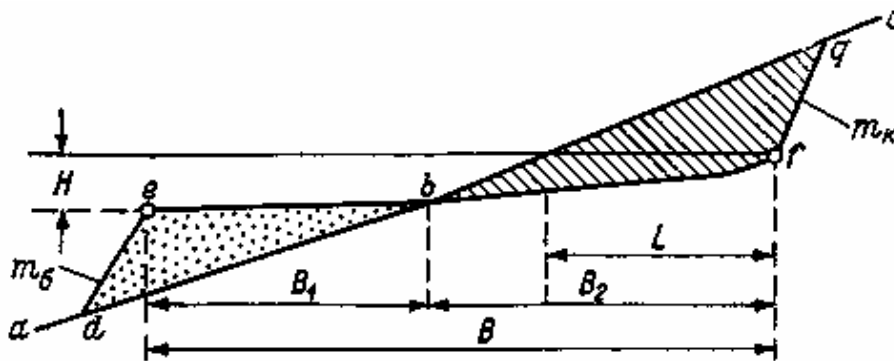


Рис. 2.1. Схема образования береговой отмели водохранилища:  
*abc* – первоначальный берег; *H* – глубина на внешнем крае береговой  
отмели; *m<sub>б</sub>* – подводный склон береговой отмели;  
*m<sub>к</sub>* – склон подводного берега; *deb* – призма отложений;  
*bfq* – призма размыва

Водоохранилища на реках подвержены заилению в результате эрозии берегов как самого водоёма, так и притоков, а также действию ветров, усиливающих испарение. Лесомелиорация здесь должна быть направлена на уменьшение эрозионных процессов путём создания кольматирующих лесных полос шириной 100 м через 300 м на затопленных поймах и лесных полос по берегам русл и долин. Между полосами культивируются луга с хорошо развитым травостоем.

Прибрежные лесонасаждения ослабляют скорость ветра в зоне 1 км и таким образом снижают высоту и ударную силу волн, уменьшают на 20...30 % испарение, улучшают микроклимат и санитарно-гигиенические условия для населения.

Для уменьшения негативных послесловий переработки берегов по сформировавшимся пляжам создают волноломные насаждения. Лен-точное размещение аэрогидрофитных культур оказывает волногасящее влияние и устраняет эрозию берегов. Например, дальневосточный рис создаёт благоприятные условия для разведения рыбы, тростник усиливает аэрацию воды и почвы, а все растения в совокупности кольматируют наносы в пределах их размещения и способствуют отложению их на нижерасположенном подводном откосе.

## Вопросы для самопроверки

1. Как называют территорию, примыкающую к акваториям поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной деятельности в целях предотвращения загряз-

нения, засорения, заиления и истощения вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира?

2. На основании какого документа устанавливают размеры (ширину) водоохраной зоны водных объектов и ширину их прибрежной защитной полосы за пределами территорий городов и поселений ?

3. В зависимости от каких характеристик рек или ручьев устанавливается ширина водоохраной зоны?

4. Какова величина радиуса водоохраной зоны для истоков рек?

5. Какова ширина водоохраной зоны озера или водохранилища?

6. Какие ограничения хозяйственной деятельности действуют в границах водоохраных зон?

7. Что влияет на выбор числа и вида лесных полос в прирусловых полосах, которые устраивают вдоль рек?

8. В чём состоит механизм воздействия на окружающую среду прирусловых лесных полос?

9. На каких водных объектах устраивают прирусловые полосы шириной 15 м, состоящие из бровки и кустарниковых прутьевидных ив, затем 2...4-рядной ленты древесных пород и кустарников?

10. С какой целью на *поймах* предусматриваются ветроломные полосы продуваемой структуры в 2...3 ряда, располагаемые поперёк поймы через 100...400 м?

## 3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАНЕНИЮ И ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЧИСТОТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

### 3.1. Нормирование качества природных вод

Для оценки качества природной воды в системе Общегосударственной службы наблюдения и контроля (ОГСНК) используется нормирование предельной допустимой концентрации (ПДК) в воде более 950 химических соединений, представляющих опасность для человека и гидробионтов. Нормирование может быть как дифференциальным по отдельным свойствам, так и комплексным, отражающим качество воды экосистемы в целом, и направлено на обеспечение качества, определяемого характером водопользования (питьевое водоснабжение, орошение, рыбное хозяйство и т.д.). Сообразно с этим в мировой практике используются системы контроля с различным набором показателей и различные значения ПДК. Однако практически все системы контроля включают следующие физические и химические показатели: температуру, *pH*, количество растворенного в воде кислорода или % насыщения воды кислородом, химическую и биологическую поглощаемость кислорода (ХПК, БПК), общее количество взвешенных веществ, жесткость воды и ионный состав.

При использовании воды из водоема для санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных целей обязательно нормируется допустимое количество биогенных элементов (С, N, P, Si), а также ряд наиболее распространенных и устойчивых в окружающей среде элементов, аккумулируемых гидробионтами, и органические загрязнители (нефтепродукты, СПАВ, фенолы и др.).

В случае комплексного использования водоема предпочтение отдают системе рыбохозяйственных ПДК, допускающей повышенное содержание биогенных элементов, являющихся пищей для гидробионтов.

Загрязнение водоемов характеризуется также следующими признаками [2, 3, 5]: появление плавающих веществ на поверхности воды и отложение на дне осадка; изменение физических свойств воды, как-то: прозрачности и цветности, появление запахов и привкусов; изменение видов и количества бактерий и появление болезнетворных бактерий за счет поступления их со сточными водами.

Положение осложняется тем, что за последние годы в составе сточных вод резко увеличилось содержание биологически активных и стойких примесей, таких, как новые виды моющих средств, продуктов органического синтеза, радиоактивных веществ и др.

При выпуске очищенных сточных вод в водоем необходимо учитывать категорию водного объекта и предельно-допустимую концентрацию (ПДК) вредных загрязнений. Условия спуска сточных вод в водоемы регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами» и гигиеническими нормативами [2, 3]. Этими нормативными документами установлены нормативы качества воды: для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях. Для этих категорий отличаются требования по взаимному расположению выпусков очищенных сточных вод и водозаборов: водозаборы для водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования могут располагаться на расстоянии 500 м ниже выпусков; для водных объектов культурно-бытового водопользования – на расстоянии 1000 м.

В соответствии с правилами запрещается спуск в водоемы сточных вод, которые могут быть устранены путем перехода на безводное производство или путем повторного и оборотного использования.

Правила устанавливают нормативы качества воды водоемов по категориям водопользования: к первой категории относятся участки водоемов, используемые в качестве источников для централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второй – участки водоемов, используемых для спорта и отдыха населения.

Приведенные в правилах нормативы качества воды в водоемах относятся к створам, расположенным на проточных участках на 1 км выше ближайшего пункта водопользования, на непроточных участках и водохранилищах – к створам в 1 км в обе стороны от пункта водопользования. Уточнение категории водоемов или их участков производится органами санитарно-эпидемиологической службы и рыбохозяйственных организаций. Общие требования к составу и свойствам воды в водоемах и водотоках соответствующих категорий после выпуска в них сточных вод, подвергшихся необходимой очистке, приведены в табл. 3.1.

Требования к выпуску сточных вод в море соответствуют нормативам приема очищенных сточных вод во внутренние водотоки и водоемы. Однако, имеются и некоторые особенности. Согласно «Правилам санитарной охраны прибрежных вод морей», при разработке соответствующих проектов учитываются границы района морского водопользования по береговой линии. В сторону моря она принимается не менее 2 км от береговой линии, далее на 10 км в обе стороны от границ района водопользования по берегу и в сторону моря. Предусматривается первый пояс санитарной охраны. В границах района

водопользования сброс очищенных промышленных и бытовых сточных вод, включая судовые, запрещается.

Т а б л и ц а 3.1

Допустимые изменения состава воды в водоемах и водотоках  
после выпуска в них очищенных сточных вод

Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод	Требования к составу и свойствам воды в водоеме			
	Категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Категории рыбохозяйственного назначения	
	I	II	I	II
1	2	3	4	5
Содержание взвешенных веществ	Допускается увеличение не более чем на			
	0,25 мг/л	0,75 мг/л	0,25 мг/л	0,75 мг/л
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания на 5% (взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются)			
Пленки нефтепродуктов, масел, жиров и других плавающих примесей	Не допускаются			
Запахи, привкусы и окраска	Допускаются запахи и привкусы интенсивностью не более 2 баллов (непосредственно или после хлорирования воды). Окраска не должна обнаруживаться в столбике воды высотой		Посторонние запахи, привкусы и окраска воды, влияющие на мясо рыб, не допускаются	
	20 см	10 см		
Температура воды	Допускается повышение не более чем на 3 °С по отношению к среднемесячной температуре самого жаркого месяца		Допускается повышение не более чем на 5 °С к естественной температуре воды (при наличии холодно-водных рыб – лососевые, сиговые – общая температура воды не должна превышать 20 °С летом и 5 °С зимой; в остальных случаях – 28 °С и 8 °С)	
Водородный показатель	Не должен выходить за пределы 6,5-8,5			
Минеральный состав воды	Сухой остаток должен быть не более 1000 мг/л (в том числе хлориды до 300 и сульфаты до 100 мг/л)		Не нормируется	

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5
Наличие растворенного кислорода	Должно быть не менее 4 мг/л		Должно быть не менее 6 мг/л	Зимой под льдом должно быть не менее 4 мг/л, летом – не менее 6 мг/л
Биохимическая потребность в кислороде – БПК <sub>полн</sub> при температуре 20 °С	Не должна превышать			
	3 мг/л	6 мг/л	3 мг/л (если в зимний период содержание кислорода в воде снижается для водоемов I категории до 6 мг/л, II категории до 4 мг/л, то разрешается только сброс воды, не влияющий на БПК)	
Возбудители заболеваний	Не допускаются (после обеззараживания биологически очищенных вод коли-индекс не должен превышать 1000 при содержании остаточного хлора 1,5 мг/л)		—	
Токсичные вещества	Не допускаются в концентрациях, которые могут оказать прямо или косвенно вредное воздействие на живые организмы			

Спуск сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, в хозяйственно-бытовую систему водоотведения регламентируется «Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений».

Для неидентифицированной смеси радиоактивных веществ, содержащих  $\alpha$ ,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, ПДК составляет  $3 \cdot 10^{11}$  кюри/л.

Радиоизотопы являются биологически активными в микроколичествах. Они способны избирательно накапливаться на различных субстратах животного и растительного происхождения. Поэтому запрещается спуск сточных вод, содержащих радиоактивные элементы, в водоемы, предназначенные для разведения рыбы и водоплавающей птицы.

Спуск сточных вод в непроточные водоемы, моря или водохранилища в последнее время стал чаще встречаться в санитарной практике. Этот вопрос недостаточно изучен в отношении разбавления и самоочищения. При спуске сточных вод в непроточные водоемы из-за ограниченности их объема нельзя рассчитывать только на разбавление,

не выяснив степень стабильности веществ в сточных водах. Для возможности выпуска сточных вод в такие водоемы необходимо научное обоснование условий спуска сточных вод.

Условия спуска сточных вод в водоемы, изложенные в «Правилах», распространяются на все объекты водоотведения независимо от их ведомственной принадлежности, при обязательном согласовании с органами государственного санитарного надзора и рыбоохраны.

Вода обладает чрезвычайно ценным свойством непрерывного самообновления под влиянием солнечной радиации и самоочищения. Оно заключается в перемешивании загрязненной воды со всей ее массой и в дальнейшем процессе минерализации органических веществ и отмирания внесенных бактерий. Агентами самоочищения являются бактерии, грибы и водоросли. Установлено, что в ходе бактериального самоочищения через 24 ч остается не более 50 % бактерий, через 96 ч – 0,5 %. Процесс бактериального самоочищения сильно замедляется зимой, так что через 150 часов сохраняются еще до 20 % бактерий.

Для сохранения чистоты водных объектов проводят различные мероприятия:

- обеспечение полной биологической очистки хозяйственно-бытовых и производственных стоков;
- совершенствование технологии промышленного производства с целью снижения количества сточных вод и загрязнений в них;
- разработка и внедрение маловодных и безводных технологий производства;
- внедрение оборотного водоснабжения и расширение повторного использования очищенных сточных вод;
- рациональное использование удобрений и пестицидов;
- реализация планов водоохраных мероприятий с учётом перспективного размещения производительных сил.

Перечисленные мероприятия проводятся различными участниками водохозяйственного комплекса под контролем Комитетов природных ресурсов. Например, агрослужбы обеспечивают рациональное использование удобрений и пестицидов; водоканал – необходимую степень очистки сточных вод.

Для *предотвращения попадания удобрений* в водные объекты необходимо:

- соблюдение соответствия норм и сроков внесения удобрений с учетом биохимических особенностей почвы;
- дробное внесение удобрений в период вегетации (особенно для почв лёгкого механического состава);



- внесение удобрений с поливной водой, что уменьшает их дозу (внесение азотных удобрений при дождевании снижает дозу вдвое);
- применение концентрированных и медленно действующих удобрений (в виде гранул с защитной оболочкой или трудно растворимых удобрений типа конденсатов мочевины), отдающих питательные вещества постепенно, устойчивых к вымыванию;
- исключение хранения удобрений под открытым небом.

Для *ограничения поступления пестицидов* в водные объекты предусматривают следующие мероприятия:

- совершенствование методов их применения и ограничение использования стойких препаратов (только при сильном заражении вредителями);
- уменьшение рассеивания пестицидов в окружающей среде (применение очаговой, ленточной или краевой обработки, вместо сплошной – расход пестицидов при этом снижается в несколько раз);
- замена пестицидов биологическими методами защиты растений.

*Необходимую степень очистки сточных вод перед сбросом* в водный источник по взвешенным веществам,  $\mathcal{E}_в$  в %, определяют по формуле

$$\mathcal{E}_в = 100(C - m) / C, \quad (3.1)$$

где  $C$  – количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м<sup>3</sup>;  $m$  – допустимое содержание взвешенных веществ в спускаемых в водоем сточных водах:

$$m = p(aQ / q + 1) + b, \quad (3.2)$$

где  $b$  – содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $p$  – допустимое по санитарным правилам увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м<sup>3</sup>;  $Q, q$  – расходы соответственно речных и сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Во избежание отложения взвешенных веществ в водоеме их гидравлическая крупность не должна превышать 0,4 мм/с при выпуске в реку и 0,2 мм/с – в водохранилище. Если в сточной воде концентрация взвешенных веществ не удовлетворяет этому требованию, то перед сбросом в водоем ее необходимо отстаивать для осаждения взвешенных частиц указанной гидравлической крупности.

При сбросе стоков, содержащих токсичные вещества, необходимо произвести оценку качества сбрасываемой воды по предельно допустимой концентрации по формуле

$$C_{ст.нр} = (n - 1)(C_{нр} - C_{ф}) + C_{нр}, \quad (3.3)$$

где  $n$  – коэффициент разбавления

$$n = (q + aQ)/q;$$

$C_{\text{нр}}$  = ПДК, если в воде присутствует один вид загрязнений.

При наличии в воде веществ, потребляющих большое количество растворенного в воде водоема кислорода, возможность их сброса устанавливается специальным расчетом – по потреблению растворенного кислорода.

Необходимая степень очистки по БПК  $\mathcal{E}_B$ , %, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_B = 100(L_a - L_{\text{ст}}) / L_a, \quad (3.4)$$

где  $L_{\text{ст}}$  – БПК<sub>полн</sub> сточной жидкости, которая должна быть достигнута в процессе очистки, г/м<sup>3</sup>;  $L_a$  – БПК<sub>полн</sub> речной воды до места выпуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>.

При определении необходимой степени очистки по растворенному кислороду допустимую максимальную величину БПК спускаемых в водоем сточных вод определяют по требованиям санитарных правил. При этом минимальное содержание растворенного кислорода должно быть 4 или 6 мг/л после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования). Расчеты производятся для величины БПК<sub>полн</sub>. Кислородный режим в водоемах определяют для летнего и зимнего периода. В качестве расчетного принимается наиболее неблагоприятный.

Окисление органических веществ в водоеме происходит за счет растворенного кислорода и реаэрации. Кроме того, в нем участвует кислород фотосинтеза.

Существует ряд способов определения допустимой нагрузки сточных вод на водоем по содержанию кислорода. Наиболее простой основан на учете поглощения сточными водами только того растворенного кислорода, который подходит с речной водой к месту спуска сточных вод. При этом считают, что если концентрация в речной воде растворенного кислорода не станет ниже 4 мг/л в течение двух суток, то это снижение не произойдет и в дальнейшем.

В результате концентрация растворенного кислорода в общей смеси должна быть равна или 4, или 6 мг/л. Полная биологическая потребность в кислороде сбрасываемых сточных вод при этом условии будет равна

$$L_{\text{ст}} = (2,5aQ / q) \cdot (O_p - 0,4L_p) - 10, \quad (3.5)$$

где  $O_p$  – содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  – расчетный расход речной воды в м<sup>3</sup>/с, участвующий в смешении;  $q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $L_p$  и  $L_{\text{ст}}$  –

БПК<sub>полн</sub> соответственно речной и сточной воды, г/м<sup>3</sup>; 0,4 – коэффициент для пересчета БПК<sub>полн</sub> в двухсуточное.

Расчет необходимой степени очистки по температуре воды производится в соответствии с санитарными требованиями [1, 15], ограничивающими повышение летней температуры воды за счет поступающих в водоем сточных вод по уравнению

$$T_{ст} = (aQ/q + 1)T_{д} + T_{р}, \quad (3.6)$$

где  $T_{ст}$  – температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования;  $T_{р}$  – максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время;  $T_{д}$  – допустимое повышение (не более чем на 3 °С) температуры воды водоема.

В тех случаях, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах сточных вод исчезают, достаточно сравнение величины разбавления, которое возможно у расчетного створа. Это необходимо для того, чтобы решить вопрос о необходимости очистки сточных вод в отношении запаха и окраски перед их спуском в водоем.

При определении необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептическому показателям вредности пользуются уравнением материального баланса. При этом установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) на вещества и показатели. Полученное по этой формуле значение  $C_{ст.нр}$  характеризует концентрацию загрязнения сточных вод, которая должна быть достигнута в процессе очистки воды. Эти расчеты позволяют определить необходимую степень очистки сточных вод, разработать технологическую схему процесса обезвреживания и установить предельно допустимый сброс (ПДС) загрязнений при спуске сточных вод в водоем.

Избыточное поступление биогенных элементов в водоемы, в особенности нитратов и фосфатов, служащих источником питания для фотосинтезирующих водорослей, замедленный водообмен и теплые воды – факторы, способствующие бурному развитию отдельных видов фитопланктона – «цветению» водоемов. При этом затраты кислорода на биохимическое разложение отмершей биомассы вместе с ночным снижением кислорода за счет дыхания растений могут привести к тому, что в условиях нехватки кислорода типичное водное сообщество деградирует. Такой процесс носит название *эвтрофизацией водоемов*.

С питательностью водоемов связан термин «трофность» (*евтрофос* в переводе с греческого – тучность). В рамках «Единых критериев качества вод», принятых СЭВ в 1982 г. с учетом уровня трофности установлено 6 классов качества воды (табл. 3.2).

Т а б л и ц а 3.2

Классификация водоёмов по уровню трофности

Класс качества воды	Характеристика воды	Уровень трофности водоёма
1	2	3
1	очень чистая	олиготрофный
2	чистая	мезотрофный
3	очень незначительные загрязнения	слабоевтрофный
4	незначительно загрязненная	сильноевтрофный
5	сильно загрязненная	политрофный
6	очень загрязненная	гипертрофный

Нормирование с учетом класса трофности проводится с экологических позиций, в смысле безвредности ее использования – с учетом класса (табл. 3.2-3.5).

Т а б л и ц а 3.3.

Общие показатели органических веществ

Показатель	Ед. изм.	Класс качества					
		1	2	3	4	5	6
ХПК (ПО)	мгО <sub>2</sub> /л	<5	10	20	30	40	>40
ХПК (БО)	"-	<15	25	50	70	100	>100
БПК <sub>5</sub>	"-	<2	4	8	15	25	>25
Органический С		<3	5	8	12	20	>20
Экстрагируемые вещества	"-	<0.2	0.5	1.0	3.0	5.0	>5.0

Т а б л и ц а 3.4

Показатели промышленных органических загрязнений

Показатель	Ед. изм.	Класс качества					
		1	2	3	4	5	6
Нионоактивные детергенты	мг/л	0,0	<0.5	1.0	2.0	3.0	>3.0
Фенолы летучие	"-	<0.002	0.01	0.05	0.1	1.0	>1.0
Производные нефти	"-	0.00	<0.05	0.1	0.3	1.0	>1.0

Таблица 3.5

Показатели неорганических промышленных загрязнений

Показатель	Ед. изм.	Класс качества					
		1	2	3	4	5	6
Ртуть	мкг	<0.1	0.2	0.5	1	5	>5
Кадмий	"-	<3	5	10	20	30	>30
Свинец	"-	<10	20	50	100	200	>200
Мышьяк	"-	<10	20	50	100	200	>200
Медь	"-	<20	50	100	200	500	>500
Хром, общий	"-	<0	20	20	50	100	>100
Кобальт	"-	<10	20	50	100	500	>500
Никель	"-	<20	50	100	200	500	>500
Цинк	"-	<0.2	1.0	2.0	5.0	10.0	>10.0
Общее количество цианидов	мг/л	0.0	0.0	<0.5	1.0	2.0	>2.0
Свободный хлор	"-	0.0	0.0	0.0	<0.05	0.1	>0.1
Сульфиды	"-	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02	>0.02

Из многих систем показателей качества воды, предлагаемых в литературе [17, 18] для санитарно-гигиенического нормирования, учитывающего неблагоприятные последствия летнего цветения воды (развитие патогенных микроорганизмов), полезно использование более полной (9 классов) системы, учитывающей, кроме общих физических и химических показателей, структурные гидробиологические показатели: состав и биомассу фитопланктона и нитчатых водорослей, уровень продукции и деструкции органического вещества (индекс самоочищения), присутствие в воде микроорганизмов, индикаторов чистой воды [5]. Например, присутствие в воде пиридиниевых водорослей служит показателем чистоты воды, а эвгленовых – загрязненности органическими веществами.

В Пензенской области наиболее важным водным объектом является Пензенское водохранилище на реке Сура, эксплуатируемое с 1978 г. При оценке качества воды этого водохранилища большое значение имеет выявление неблагоприятных показателей, способствующих «цветению» и вызванных цветением, а также поиск способов управления качеством воды для предотвращения цветения воды. Далее рассмотрим причины, вызывающие это явление.

### 3.2. Явление цветения воды и евтрофирование водоемов

Известно [7, 11, 19], что цветение воды наблюдалось на 80 % всех созданных водохранилищ, в основном на 3-4-й год после их создания. Основными причинами его являются: недостаточная сбалансированность экосистемы, наличие повышенной концентрации биогенных элементов, слабый водообмен и повышенный прогрев.

Водорослевый состав фитопланктона индивидуален для каждого водоема и определяется многими факторами. «Цветение» может вызываться различными видами пресноводных водорослей:

- диатомовыми (*Cyclotelles*, *Melosira* и др.) преобладающими в течение всего периода вегетации, особенно весной и осенью в условиях водообмена,

- сине-зелеными (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*), преобладающими в пик летнего цветения,

- зелеными (*Scenedesmus*, *Pandorina*) и динофитовыми (красными) – в период всей вегетации [17].

По негативным экологическим последствиям для формирования качества воды наибольшую опасность представляет «цветение» воды сине-зелеными водорослями.

Благодаря наличию газовых вакуолей при штилевой погоде сине-зеленые водоросли всплывают в поверхностные горизонты воды, образуя пятна цветения. Биомасса водорослей в этих пятнах достигает несколько килограммов на 1 м<sup>3</sup>. Доминированию сине-зеленых водорослей и интенсификации их развития способствует уменьшение проточности воды и ее прогревание, загрязнение водоема биогенными элементами, снижение уровня насыщения воды кислородом, наличие придонных слоев воды в восстановленном состоянии и уменьшение содержания железа и других металлов в результате их осаждения при увеличении рН воды выше 7-8.

Из биологических факторов наиболее значимыми для цветения сине-зеленых являются следующие: высокий коэффициент размножения сине-зеленых водорослей; их устойчивость к отсутствию света, колебаниям температуры, химическим загрязняющим веществам; способность замедлять рост других водорослей и, что очень важно, – этот вид водорослей практически «несъедобен».

Интенсивность цветения водохранилищ, по многолетним наблюдениям (на каскаде Днепровских водохранилищ), может сильно меняться. По уровню колебаний и ритмичности, определяемому главным образом гидрометеорологическими факторами и степенью загрязнения воды, она напоминает синусоиду с периодом в 2 года. Это связано, по-

видимому, с периодичностью в развитии жизненной активности водорослей [17]. Важно отметить, что интенсивность цветения воды в водохранилищах по мере их развития и зарастания высшими водными растениями снижается. С учетом положительной роли водорослей как очистителей воды и первопродуцентов органического вещества, обеспечивающего биологическую продуктивность водоемов (питательность), – это нежелательная тенденция, приводящая в итоге к появлению биологически мертвых водоемов. Таким образом, цветение, хотя и является сигналом экологического неблагополучия водоема, одновременно служит определенным индикатором его функционирования.

На начальной стадии развития водорослей (биомасса 100 мг/л) происходит интенсивное поглощение биогенных элементов из воды. Одновременно выделяется кислород, концентрация которого в воде может увеличиваться до 50 мг O<sub>2</sub>/литр. При накоплении биомассы 200-500 мг/л за счет поступления в воду продуктов жизнедеятельности и продуктов разложения водорослей, качество воды может резко ухудшаться. Так как накопление органического вещества приводит к повышенному расходу кислорода на окисление, в толще воды может развиваться дефицит по кислороду, приводящий к нарушению всех процессов.

Критическая концентрация водорослей в водоеме может легко изменяться из-за ветровых нагонов, течения и других факторов, приводящих к значительным скоплениям водорослей в ограниченном объеме, при этом процессы саморегулирования в экосистеме нарушаются. Этому способствует выделение в водоем большого количества метаболитов сине-зеленых водорослей. В прижизненных выделениях водорослей обнаруживают органические кислоты, аминокислоты, пептиды, полисахариды, эфирные масла, карбонильные соединения, эндотоксин и другие биологически активные вещества. После гибели при распаде водорослей выделяются фенолы, меркаптаны и другие соединения, присутствие которых придает воде неприятный запах и делает ее непригодной для питьевого водоснабжения и существования гидробионтов. Показано, что метаболиты, выделяемые сине-зелеными водорослями (*Anabaena*) в период активного роста (до 10 часов) стимулируют рост кишечной палочки и золотистого стафилококка, а в стационарной фазе развития метаболиты фенольной и липидной природы тормозят развитие различных гидробионтов. Сведения о свойствах токсинов и их предположительном химическом строении приводятся во многих работах [1, 6, 17, 19].

Различная токсичность обнаружена у близкородственных штаммов *Microcystis aeruginosa*: 19 исследованных штаммов *Microcystis*

aeruginosa 8 продуцировали ПДТ (токсин быстрой смерти); из 7 штаммов Anabaena flos aqua – 5 продуцировали VFDT (токсин очень быстрой смерти). Arphanizomenon – саксотоксин. Причина различий в продуцировании токсинов не выяснена. Важно отметить, что выделение токсинов водорослями в количествах, представляющих опасность для гидробионтов и теплокровных, происходит только при образовании высокой плотности фитопланктона, определяемом уровнем антропогенного евтрофирования водоема.

Различают три стадии антропогенного евтрофирования водоемов (по Россолимо Л.Л.):

1 стадия характеризуется некоторым увеличением обилия фитопланктона, прозрачность и содержание  $O_2$  по глубине меняется незначительно;

2 стадия – развитие водорослей достигает стадии цветения с преобладанием сине-зеленых, при этом значительно уменьшается прозрачность воды. Постойное уменьшение концентрации кислорода и дефицит кислорода в глубинных слоях с анаэробным обменом и накоплением восстановленных соединений:  $NH_4$ ,  $N_2$  и  $H_2S$ . Глубинные слои обогащаются железом. Особенности этой стадии – возникновение между водой и донными отложениями микрозоны, а также исчезновение некоторых видов кислородолюбивых пород рыб и бентических (донных) беспозвоночных. Разные виды промысловых рыб выживают и погибают при разном содержании кислорода (мг/л) в воде (табл. 3.6);

3 стадия – резкое уменьшение кислорода с глубиной, отсутствие кислорода в придонном слое. Донные отложения приобретают черты сапропеля (выделение газа из донных отложений, запах сероводорода). Наблюдается резкое уменьшение  $P_{мин}$  в придонном слое, отсутствие  $NO_3$  (весь азот в виде  $NH_4^+$ ) развитие бактериальной флоры, сапробных и полисапробных гидробионтов, способных жить в загрязненных органическими остатками полосах прибрежных мелководий.

Т а б л и ц а 3.6

Вид рыб	Угнетенное состояние	Гибель
	Содержание кислорода, мг/л	
Стерлядь	7,0-7,5	3,5
Нельма	6,0-7,0	4,0-4,5
Муксун	4,0-4,5	1,5-2,0
Песядь	3,5-4,0	1,0-1,5
Лещ	2,0-2,5	0,4-0,5
Судак	1,5-2,0	0,5-0,8
Щука	2,0-3,0	0,3-0,6
Карп	1,5-2,0	0,2-0,3
Карась	1,0-2,0	0,1



Количество хлорофилла достаточно хорошо отражает нагрузки водоемов биогенными элементами, особенно фосфором и азотом. Получена линейная зависимость накопления биомассы фитопланктона (по хлорофиллу) от содержания в воде фосфора  $P$  на примере Великих озер Америки, озер Швеции и Финляндии.

Индекс самоочищения определяется как отношение валовой продукции органического вещества в процессах фотосинтеза к суммарной деструкции планктона за сутки. Значение индекса самоочищения  $>1$  свидетельствует об интенсивно идущих процессах переработки поступающих в водоем загрязнений. Если индекс самоочищения постоянно  $>1$ , это является свидетельством интенсивного развития фитопланктона. Значения индекса самоочищения  $< 1$  сигнализируют о превышении потребления кислорода над его продуцированием, т.е. кислородном режиме, неблагоприятном для переработки загрязнений. При достижении определенной плотности популяции или под действием экстремальных факторов функциональная активность водорослевых клеток снижается.

### 3.2.1. Роль биогенных химических элементов в евтрофировании водоемов

Повышенное содержание в воде биогенных элементов (углерода  $C$ , азота  $N$ , фосфора  $P$ ) возникает за счёт поступления в водоем с паводковыми и ливневыми стоками (основное количество фосфор  $P$ , до 70 %), с бытовыми сточными водами, промышленными стоками, а также из атмосферы ( $C$ ,  $N_2$ , дожди) и донных отложений.

Согласно теоретическим расчетам, потери с полей, удобренных навозом, составляют 10-20 % для нитратов и от 1 до 5 % для фосфатов.

На основании изучения элементарного состава сухих водорослей установлена потребность в основных биогенных элементах для роста водорослей  $C : N : P = 102 : 2 : 1$ , ( $Si$  – необходим только для развития диатомовых водорослей).

Оказалось, что для сохранения видового состава фитопланктона в водоеме оптимальное соотношение нитратов и фосфатов ( $N:P$ ) находится в пределах (30:1) – (2:1). Превышение содержания фосфатов  $P$  по отношению к нитратам  $N$  приводит к доминированию сине-зеленых водорослей (фиксируют азот). Показано, то что основными лимитирующими элементами для пресноводных водорослей могут быть фосфор  $P$ , железо  $Fe$ , кобальт  $Co$  (1: 0,55 : 0,003) – в этой пропорции или меньше. Все остальные элементы могут быть в избытке. Азот и углерод водоросли могут получать из атмосферных газов  $CO_2$  и  $N_2$  в процессе фотосинтеза и азотофиксации.

## Фосфор

В состав определяемого в воде общего фосфора  $P_{\text{общ}}$  входят: растворимый минеральный фосфор  $P_{\text{мин}}$  и органический фосфор, а также фосфор минеральных и органических взвесей.

Фосфор, входящий в состав взвешенных веществ (небольшой %  $P_{\text{общ}}$ ), весной и осенью сорбирован на гидроокиси железа – гелиевый фосфор. Эта фракция в аэробных условиях усваивается микроорганизмами. Средняя концентрация  $P_{\text{мин}}$  в пресных водах РФ составляет примерно 0,04 мг/л. По данным измерений, проведенных в 1966-1975 гг. для системы волжских водохранилищ, средние величины  $P_{\text{мин}}$  составляли от 0,006 до 0,066 мг P/л, а  $P_{\text{общ}}$  – от 0,043 до 0,106 мг P/л, т.е.  $P_{\text{общ}}$  менялось в 2,5 раза, а  $P_{\text{мин}}$  в 10 раз. Показано, что чем выше проточность воды, тем меньше величина  $P_{\text{мин}}$  и, следовательно, меньше вероятность цветения воды.

Наблюдаемая сезонная динамика  $P_{\text{мин}}$ -  $P_{\text{общ}}$ , в основном контролируется продукционно-деструкционными процессами (рост-гибель планктона). В период вегетации 80 %  $P_{\text{общ}}$  находятся в форме  $P_{\text{мин}}$ .

Для Рыбинского водохранилища был установлен широкий диапазон скорости оборота  $P_{\text{мин}}$  – от 2 минут до 16 суток, причем в начале июня  $\tau = 55$  минут (период спада развития диатомовых водорослей) и середине августа  $\tau=2$  мин (во время цветения сине-зеленых водорослей) были максимумы оборота  $P$ .

Нужно отметить, что в глубоководных водоемах (> 15-20 метров) обычно наблюдается отсутствие перемешивания слоев воды по глубине. При этом различают три слоя: верхний – эпилимнион, средний – металимнион, где наблюдается резкий скачок изменения температуры, и гиполимнион, для которого характерно незначительное изменение температуры в течение года. Гиполимнион богат биогенными элементами и концентрация P в нем может быть в сотни раз выше, чем у поверхности воды. Именно здесь происходит развитие фитопланктона. Однако обычно в летние месяцы при явлениях цветения воды в водоемах глубиной до 10-15 метров перемешивания слоев воды по глубине отсутствует.

## Азот

Нельзя говорить о лимитировании развития фитопланктона азотом, так как он может фиксироваться азотфиксирующими водорослями и бактериями. Известно более 160 видов азотфиксаторов. Наиболее распространены в Европейской части СССР виды азотфиксирующих

водорослей: (*Anabaena flos aqua*, *aphanizomenon flos aqua*). Важно, что при недостатке в воде азота в сообществе водорослей происходит замена зеленых видов водорослей на сине-зеленые, т.е. явление, приводящее к неприятным последствиям.

Присутствие в водоеме разных химических форм азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) связано с реакциями кислорода:

- форма  $\text{NH}_4^+$  преобладает в придонном слое,
- $\text{NO}_2^-$  при недостатке кислорода,
- $\text{NO}_3^-$  в хорошо аэрированных верхних слоях воды.

Однако содержание  $\text{NO}_3^-$  летом, из-за поглощения фитопланктоном, резко уменьшается, а осенью и весной увеличивается. Большое количество  $\text{NO}_3^-$  могут давать промышленные стоки, особенно после биологической очистки (до 50 мг/л), и стоки с полей.

Амплитуда сезонных колебаний  $\text{NO}_3^-$  служит показателем уровня евтрофирования. Если сброс сточных вод с  $\text{NO}_3^-$  происходит при дефиците кислорода, может происходить денитрификация  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$ . Летом часто наблюдают повышенное содержание  $\text{NO}_2^-$ , указывающее на усиление разложения вещества в условиях дефицита кислорода. Таким образом,  $\text{NO}_2^-$  является важным показателем. Потребность в азоте для диатомовых водорослей меньше, чем для сине-зеленых. Максимальный прирост последних наблюдается при  $\text{NO}_3^-$  от 0,6 до 2,0 мг/л и  $\text{NH}_4^+ = 0.06 - 0.2$  мг/л. В отсутствие кислорода, под действием верифицирующих бактерий,  $\text{NO}_3^-$  восстанавливается до газообразных форм азота. Этот процесс происходит в придонных слоях воды и донных отложениях, где нет перемешивания слоев, и приводит к потере азота водоемом.

### Азот и фосфор донных отложений

Оценивая биогенную нагрузку на водоем, важно также учесть поток биогенных элементов из донных отложений (N и P). Известно, что обмен N между водой и донными отложениями происходит быстрее, чем P, за счет меньшей растворимости в воде химических форм P, особенно в карбонатных водоемах. Известно также, что большая часть антропогенного P, поступающего в водоем в половодье, входит в состав органоминерального гумусового комплекса и продуктов эрозии почв и оседает в виде донных отложений. Кроме того, растворенный в воде P,

осаждается карбонатами и сорбируется железом  $Fe^{3+}$  в аэробных (содержащих кислород) илах, образуя особую форму Р. Только эта форма фосфора, образующаяся в анаэробных илах, возвращается из ила в воду, т.е. выход Р из ила зависит от рН воды и концентрации кислорода в придонном слое. Эти условия могут меняться сезонно, и скорость выхода Р может меняться от 0,3 до 4,0 мг Р/м<sup>2</sup> в день (оз. Балатон). Таким образом, несмотря на связывание Р, возможны значительные скорости поступления Р из донных отложений – вторичное загрязнение вод.

При учете влияния обмена «вода – донные отложения» для азота и фосфора нужно учитывать интенсивность продуционно-деструкционных процессов. Повышение трофности водоема, вызванное ростом внешней биогенной нагрузки, сопровождается ускорением седиментации соединений азота и фосфора, при этом поток азота со дна растет пропорционально увеличению внешней нагрузки, а поток фосфора ускоряется.

Критерием значимости донных отложений, как фактора евтрофирования, может служить относительный вклад годового потока фосфора со дна в воду с учетом водообмена. Его критическая величина составляет 20-30 %.

Если водоем стал эвтрофным, то простого прекращения новых поступлений в него фосфатов недостаточно. Фосфаты, попавшие в донный ил, могут оставаться там годами. Пути решения этой проблемы связаны с изъятием, захоронением, разложением или нейтрализацией этих соединений.

### Другие химические элементы

Есть сведения, что как железо Fe, так и марганец Mn могут лимитировать развитие фитопланктона. Действительно, оба эти элемента входят в состав водорослей, а, главное, выполняют в водоеме исключительно важные функции. Марганец является активатором ферментных процессов и служит регулятором активности железа, переводя  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . Его максимальные концентрации в воде наблюдают весной (до 0,180 мг/л) в среднем за год от 0,005 до 0,130 мг/л. Оптимальное для развития, водорослей соотношение Fe:Mn = 50:1, если марганца больше железа, то вода становится токсичной.

Потребность в железе у разных форм фитопланктона колеблется от 0,2 до 1 мг/л. Наиболее требовательны к железу диатомовые водоросли. Для сине-зеленых водорослей отмечена также потребность в натрии Na. Основная роль железа и марганца в водоеме – участие в

окислительно-восстановительных процессах, т.е. в процессах переноса электрона.

В основе механизма вышерассмотренных гидрохимических процессов изменения форм и содержания биогенных элементов N и P в воде, утилизации их водорослями, продукции и деструкции органических веществ, лежат окислительно-восстановительные реакции. Поэтому основным гидрохимическим показателем для воды является содержание в ней кислорода. Обычно измеряют содержание в воде кислорода в мг  $O_2$ /л, и вычисляют степень насыщения воды кислородом в % при данной температуре и атмосферном давлении. Показателем активности кислорода в воде может служить величина Eh – окислительно-восстановительный потенциал. Уменьшение величины Eh свидетельствует о наличии в воде восстановителей, например,  $Fe^{2+}$ ,  $H_2S$ . Обычно Eh уменьшается от поверхности водоема ко дну. В толще донных отложений Eh всегда имеет отрицательные значения.

К сожалению, измерение величины Eh не дает возможности оценить состояние водоема с точки зрения активности протекания процессов самоочищения, определяющих направления изменения качества воды.

На протяжении последних лет в прудах и водохранилищах Пензенской области наблюдается ухудшение качества воды, вызванное массовым развитием водорослей. Возникла задача по детоксикации вод, используемых для питьевого водоснабжения и регулированию качества воды, сбрасываемой в нижний бьеф. Эта задача комплексная, включающая проведение научных исследований и разработку инженерных методов управления качеством воды в водном объекте.

Качество воды в водоёме определяется многими факторами, без анализа которых применительно к данному водному объекту, невозможна выдача рекомендаций. Из многих систем показателей качества воды, предлагаемых в литературе для санитарно-гигиенического нормирования, учитывающего неблагоприятные последствия летнего цветения воды (развитие патогенных микроорганизмов), будем использовать систему, учитывающую, кроме общих физических и химических показателей, структурные гидробиологические показатели: состав и биомассу фитопланктона и нитчатых водорослей; уровень продукции и деструкции органического вещества (индекс самоочищения); присутствие в воде микроорганизмов-индикаторов чистой воды. Например, присутствие в воде пиридиниевых водорослей служит показателем чистоты воды, а эвгленовых – загрязненности органическими веществами.

Особенностью питания водорослей является то, что они способны усваивать из водной среды растворенные минеральные элементы и использовать их при синтезе аминокислот, белков, витаминов, фитогормонов. Некоторые виды водорослей способствуют расщеплению высокомолекулярных органических соединений на органические составляющие, быстро разрушаемые далее бактериями. Они связывают в комплексы некоторые металлы, такие, как ртуть и свинец, что уменьшает их подвижность и ускоряет процесс осаждения.

Бактерицидная активность водорослей проявляется в выделении ими биологически активных веществ – фитогормонов, которые подавляют жизнедеятельность патогенной микрофауны, что также способствует оздоровлению водоемов.

Количество кислорода, выделяемого различными видами водорослей, изменяется под влиянием многих факторов – интенсивности освещения, времени года, температуры воды, численности, видового состава.

Управление качеством природных вод может позволить оказать влияние на процесс цветения водоёмов. При этом возможно как усиление положительного влияния биологических процессов на самоочищение воды в водоёме, так и снижение негативного воздействия цветения на качество природных вод.

### 3.2.2. Методы борьбы с «цветением» воды

Анализируя факторы, способствующие цветению водоёмов, разрабатывают методы борьбы с ним. Наибольшее внимание уделяют развитию сине-зелёных водорослей, т.к. негативное влияние на качество воды в водоёме оказывают именно они. Поэтому в дальнейшем, говоря о борьбе с цветением водоёмов, будем подразумевать борьбу с сине-зелёными водорослями.

Интересно отметить, что среди всех прочих видов водной растительности *сине-зеленые водоросли* выделяются абсолютной простотой своего клеточного строения. Это одноклеточные растения, не имеющие оформленного ядра, за что их часто объединяют с классом бактерий. Подобно азотфиксирующим бактериям у сине-зеленых водорослей существует способность связывать атмосферный азот и синтезировать на его основе азотистые вещества своего тела. Поэтому бурное размножение сине-зеленых водорослей не связано с присутствием в воде нитратов, как у других растений, для них – лимитирующим фактором являются фосфаты. Кроме того, при нехватке солнечного света (в пещерах, на глубине), в их клетках происходят изменения пигментного состава, и они переходят к гетеротрофному питанию, т.е. используют

присутствующие в водоемах органические вещества в качестве источника питания. Сине-зеленые водоросли – старейшая группа автотрофных растений, приспособившаяся к жизни в самых неблагоприятных условиях.

В настоящее время рекомендуются следующие меры борьбы с цветением воды, но не с евтрофированием [22]:

1. Ограничение поступления биогенных элементов в водоем (1 кг поступающего фосфора дает 1000 кг водорослей; 1 кг азота – 100 кг водорослей);

2. Удаление нагона водорослей (сбор водорослей с верхнего слоя воды);

3. Продувание толщи воды воздухом;

4. Вселение растительноядных пород рыб;

5. Применение химических средств борьбы (альгицида);

6. Перевод фосфора в нерастворимую химическую форму.

Процесс антропогенного евтрофирования обратим только при прекращении или резком сокращении попадания биогенных элементов в водоем. Такое наблюдалось в девяностые годы в большинстве водных объектов области из-за спада промышленного и сельскохозяйственного производства, повлекшего снижение объёма сброса сточных вод.

Сбор водорослей с верхнего слоя воды с последующей их утилизацией пытались проводить на целом ряде водоёмов СССР в восьмидесятые годы прошлого века. Определённые успехи здесь были достигнуты. Для локализации мест скопления водорослей использовались как гидравлические, так и механические устройства. Смесь воды и водорослей насосами подавалась на сетчатые устройства, на которых задерживалось до 40-45 % водорослей. В зависимости от видового состава водорослей их использовали на корм скота и птицы или для производства органических красок. Однако из-за низкого КПД и сложности очистки сетчатых конструкций от водорослей метод оказался дорогостоящим и трудно реализуемым. Чаще применяется просто сгон водорослей от водозаборов гидравлическими и механическими устройствами или расположение водоприёмных отверстий с учётом направления ветрового нагона в период массового цветения водорослей.

Накоплен большой опыт использования специализированных видов рыб для борьбы с избыточным развитием в водоемах растительности и существенным оздоровлением их экосистемы [21]. Однако вполне справедливо высказывание Кудерского Л.А. [22], что «использование растительноядных рыб в мелиоративных целях пока не получило должного развития». Растительноядные рыбы не могут быть

эффективными по отношению к некоторым видам сине-зеленых водорослей, так как размеры колоний, например *Aphanizomenon flos-aquae* настолько велики, что они их не могут использовать в пищу. Такая же картина наблюдается и с представителями родов *Anabaena*, *Oscillatoria*, большие размеры колоний этих водорослей не используются растительноядными рыбами. Цветение воды в Пензенском водохранилище чаще всего вызывает *Aphanizomenon flos-aquae*, на втором месте представители рода *Anabaena* и реже *Microcystis*. Следовательно, использование растительноядных рыб для мелиорации водоема, когда он цветет колониальными формами крупных размеров, неэффективно.

Искусственная аэрация водной толщи осуществляется с помощью барботажный аэраторов, а также механических поверхностных и глубинных аэраторов, эффективность которых оценивают приростом содержания кислорода на 1 кВт ч затраченной энергии.

Опыт использования искусственной аэрации для борьбы с сине-зелеными водорослями на водоёмах Пензенской области отсутствует.

Увеличение проточности, аэрирование лишь временно улучшают ситуацию на отдельных участках водоема, но не меняют систему в целом.

Применяется борьба с цветением водорослей с помощью различных химических веществ – альгицидов ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{KMnO}_4$ , гербициды), проводимая для уничтожения нагона водорослей, которая увеличивает экологический разбаланс водоема [22].

Использование марганцовокислого калия  $\text{KMnO}_4$ , обладающего сильным окислительным действием, в качестве альгицида эффективно тогда, когда вид водорослей неизвестен или в воде присутствует несколько видов водорослей. Одним из преимуществ  $\text{KMnO}_4$  является то, что он реагирует с образованием двуокиси марганца, биологически инертного вещества, поэтому после обработки вода не приобретает токсичности.

Другим сильным окислителем, легко разлагающимся в воде, является перекись водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), которую используют для обработки сточных вод, удаления запахов, сульфидов, органических веществ и нитей бактерий. Обычно используют дозы перекиси водорода  $1-5 \cdot 10^{-5}$  моль/л в зависимости от плотности культуры. Выявлена более высокая чувствительность к действию перекиси водорода для сине-зеленых водорослей по сравнению с зелеными. Имеются патенты на применение препаратов на её основе для борьбы с цветением воды сине-зелеными водорослями. С учетом ПДК для перекиси водорода в питье-



вой воде ( $0.1 \text{ мг/л}$ ) –  $3 \cdot 10^{-5}$  моль/л можно утверждать, что применение перекиси водорода для борьбы с цветением является безопасным.

Пензенский НИИ сельского хозяйства (п. Лунино) занимался изучением цветения Сурского водохранилища в девяностые годы. Им было исследовано влияние на цветение структурной перестройки фитопланктона сообщества водоема. Проведенными экспериментами было доказано, что в роли антогониста сине-зеленых водорослей выступают зеленые. Преобладающее развитие последних сдерживает массовое развитие сине-зеленых, не доводя водоем до цветения. Аборигенные виды зеленых водорослей не могут в достаточной мере защитить водоем от цветения сине-зелеными водорослями, поэтому проводилась альголизация водоема представителем одноклеточной зеленой водоросли – хлореллой. Обладая хорошо выраженными планктонными свойствами, хлорелла проявляет антагонистические свойства к сине-зеленым водорослям – представителям родов *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*. В лабораторных экспериментах был достигнут полный лизис колоний сине-зеленых водорослей. В условиях Пензенского водохранилища наблюдался эффект аналогичный лабораторным экспериментам. Так, после альголизации водоема в 2001 году цветение воды в нем не отмечалось, хотя в водохранилище поступали сине-зеленые водоросли из прилегающих водоемов.

Таким образом, наиболее эффективным способом борьбы с цветением водоёмов сине-зелеными водорослями в условиях Пензенской области является альголизация водоема представителями зеленых водорослей, например, хлореллой, а для усиления эффекта альголизации проводится зарыбление водоема растительноядными рыбами.

### 3.3. Мероприятия по предотвращению заиления и занесения водохранилищ

Хозяйственное использование рек и водосборных площадей приводит к загрязнению и заилению речных русел. Тогда помимо воды речное русло содержит твёрдые фракции ила.

Водный сток определяют грунтовые, снеговые и дождевые воды, а твёрдый сток – взвешенные наносы, появляющиеся в результате:

- эрозии грунтов на водосборной площади, образовавшиеся в результате распашки значительных площадей, вырубки лесов, лесонасаждений, нарушением водоохраных зон;
- выпадения органических веществ, образовавшихся в результате самоочищения вод;

- поступления в водные объекты со сточными водами, поверхностным стоком с территории населённых мест, промышленных площадок.

Водный сток определяет транспортирующую способность реки, в результате которой поток перемещает взвеси без осаждения на значительные расстояния. Нарушение транспортирующей способности водотока приводит к заилению его русла. Сокращение расхода воды на 25 % приводит к снижению транспортирующей способности потока в два раза.

Комплекс эксплуатационных мероприятий по предотвращению заиления и занесения водохранилищ предусматривается в проекте и отражается в специальном разделе инструкции по эксплуатации водохранилищ. С накоплением опыта, с учётом местных условий эксплуатации намеченные проектом мероприятия могут изменяться, дополняться и уточняться. Все изменения в проводимых мероприятиях должны согласовываться с вышестоящей организацией.

К возможным мероприятиям по предотвращению заиления и занесения водохранилищ относятся [4]:

- пропуск в паводок наиболее мутных вод в обход водохранилища;
- пропуск нерегулируемой водохранилищем части стока при пониженных уровнях воды;
- периодическая промывка водохранилищ от отложений наносов путём сброса воды через водовыпуски или водоспуски;
- регулирование сосредоточенных попусков из водохранилища;
- аккумуляция твёрдого стока на притоках, доля которых в суммарном твёрдом стоке наиболее существенна;
- проведение регулировочных работ по равномерному распределению наносов по чаше водохранилища;
- противоэрозионные лесо- и лугомелиоративные мероприятия в зоне влияния водохранилища;
- создание и поддержание в рабочем состоянии лесозащитных полос и илофильтров (илоуловителей);
- механическая очистка водохранилищ от отложений.

Выбор того или иного мероприятия по поддержанию регулирующей ёмкости водохранилища должен производиться на основе технико-экономического сравнения вариантов с учётом конкретных условий эксплуатации.

*Пропуск паводка при пониженных уровнях воды в водохранилище эффективен в том случае, когда имеется возможность в этих условиях создавать в верхнем бьефе скорости течения не ниже 0,8...1,0 м/с, но способные размывать и транспортировать отложения наносов. Это*

мероприятие желательно проводить регулярно в первые годы эксплуатации водохранилища при наличии благоприятного прогноза по водности года, опорожняющий регулирующий объём водоёма к началу паводка.

Скорость течения зависит от расхода и уровня воды в реке. При использовании реки для судоходства или при создании ГТС увеличивается глубина и снижается скорость, а, следовательно, падает транспортирующая способность потока. Это приводит к заилению водотока на значительном протяжении. Для поддержания русла в санитарном состоянии производят его очистку. Очистка дна от донных наносов входит в систему водоохраных мероприятий. Необходимость в очистке русел устанавливается по данным натурных изысканий по выявлению мест скопления загрязнений.

Параметры процессов очистки русел устанавливаются с учетом физических особенностей донных отложений, факторов размыва, транспорта и осаждения взвесей, а также гидравлического сопротивления речного русла. Технологическая схема работ по очистке русла включает технические решения и эксплуатационные мероприятия, предотвращающие повторные заиления и занесения наносами очищенных участков. В связи с большим объемом и высокой стоимостью работ проводят гидравлическое моделирование разрабатываемых мероприятий.

Очистка русла от донных отложений производится землечерпательными и землесосными снарядами, а также струйными взмучивающими устройствами с водоструйными насосами. Первоочередной является очистка притоков и верховых участков русла.

Технологическая схема очистки землечерпательным снарядом включает [10]:

- разработку грунта землечерпательницей с погрузкой его в шаланды;
- транспортирование грунта;
- разгрузку грунта в районе складирования или вторичной переработки;
- вторичную переработку грунта землесосными снарядами с подачей на специальные карты.

Иловые осадки, отделенные от песчаных фракций, можно использовать для удобрений сельхозугодий под злаковые культуры.

Использование землесосных снарядов включает следующие операции:

- разработку грунта с подачей пульпы в разделитель песчаных и илистых фракций;

- отгрузку песчаных фракций для использования в производственных целях;
- перекачку илистых фракций на карты намыва или сельхозугодья;
- снижение мутности возвратных вод.

Очистка струйными устройствами производится в период паводка или специального попуска (при наличии регулирующих сооружений) и предусматривает взмучивание загрязненных донных отложений струями [11]. Илистые фракции из взмученных отложений транспортируются речными потоками, выносятся за пределы сильно загрязненных участков, распределяются тонким слоем в затопленных участках пойм и в русле реки, активно перерабатываются и очищаются в этих зонах под действием природных факторов. Крупные фракции осаждаются на дно вблизи места взмучивания и экранируют русло чистым песком. В качестве взмучивающих устройств используют плавучие насосные установки с коллектором, имеющим цилиндрические насадки. Такая установка помимо взмучивания ила дает возможность аэрировать речную воду и перемешивания его с водой.

При очистке русла предусматривают мероприятия по охране речных вод от загрязнения в период производства работ. Технологический цикл должен исключать разрыхление грунта в воде, утечку илистых фракций при погрузке и транспортировании; недостаточное осветление возвратных вод, разлив топлива при заправке и утечку смазочных материалов. Для промывки загрязненного в предыдущие годы русла рек осуществляют весной залповые попуски большими расходами. Это положительно сказывается на качестве воды в реке. При осуществлении промывных работ в нижнем течении реки устраивают временные отстойники в пойме реки, старице или выработанных карьерах.

### 3.4. Мероприятия по акватории

#### 3.4.1. Борьба с мелководьями

*Роль мелководий* на водоемах огромна. Это те части акватории водохранилищ, где происходит размножение рыб, инкубация икры, вырост личинок и молоди, нагул части воспроизводителей. Имеющийся пока небольшой опыт показывает, что на мелководных участках с глубинами до 2-х метров и колебаниями уровней воды 0,5-1,0 метр создаются наиболее благоприятные условия для получения высоких и устойчивых, не зависящих от погоды, урожаев кормовых трав. Мелководья водохранилищ используются также для искусственного разведения рыбы, раков, водоплавающей птицы, нутрии и ондатры.

Определенный успех в плане разработки конкретных мероприятий по защите мелководий имеется в европейских странах, в США. Так, на водохранилищах р. Миссисипи были отсыпаны из крупногабаритных камней искусственные острова, защищающие мелководья от ветра, создающие специфические места обитания по типу «искусственные рифы». Они доказали свою эффективность в улучшении структуры рыбного сообщества.

В России разработаны проекты по экологической реконструкции Рыбинского и Куйбышевского водохранилищ. В них предусмотрены мероприятия по искусственному изменению рельефа дна, прибрежных зон, в рекреационных целях использования акватории, обвалование мелководий для получения дополнительной сельскохозяйственной продукции, создание прудовых комплексов, рыбоводных ферм, искусственных рифов и нерестилищ и т.п.

Превращение водохранилищ с глубокой сработкой в полисекционные водоемы с выделением водоохраных, мелководных секций и главной – регулируемой емкости, позволит поддерживать постоянным уровень воды на мелководьях и защитит главную часть водохранилища как источника питьевого и технического водоснабжения от излишнего загрязнения и эвтрофикации.

В то же время мелководья являются зоной интенсивного образования значительных объёмов биомассы водной растительности, нитчатых водорослей и фитобентоса, «цветения» и ухудшения паразитологической ситуации водохранилища [4, 19]. Площадь таких мелководий должна быть минимальной. Оптимальная доля мелководий в общей площади акватории водохранилищ составляет 10-15 %.

Комплекс инженерно-технических мероприятий включает в себя, прежде всего, мероприятия по отчленению части мелководий от открытой акватории и обустройству защищенных мелководий, а также работы по дноуглублению, отсыпке подводных рифов и островных массивов. Ликвидировать мелководья можно путём обваловывания. Из замкнутых понижений следует отводить воду путём устройства прорезей при понижении горизонтов.

Если обваловывание мелководий экономически не оправдывается, то их площади могут использоваться под нерестилища – до 15...20 % площади, защитные насаждения тростника – до 10 %, а остальная территория – для посадки цицании широколистной (дальневосточный дикий рис).

### 3.4.2. Поддержание проточности водохранилищ

Наиболее действенным мероприятием для поддержания надлежащего качества воды в водохранилищах является создание достаточной его проточности с годовым водообменом не менее 10 раз.

Летняя периодическая сработка уровней воды в водоёме на 1...2 м улучшает паразитологическую ситуацию, усиливает водообмен в водоёме и уменьшает вероятность цветения.

При опорожнении водохранилищ мелководные участки необходимо подвергать санитарной обработке. Категорически запрещается водопой и выпас скота в пределах опорожненной чаши.

## 3.5. Интенсификация процессов самоочищения природных вод

### 3.5.1. Интенсификация процессов самоочищения в водохранилищах

Накопление наносов в водохранилищах нередко связано и с накоплением загрязнений. Твердые наносы, осаждающиеся в водохранилище, адсорбируют на себе мельчайшие частицы любой взвеси, в том числе и органику, содержащую загрязняющие вещества. В ходе жизнедеятельности мельчайших организмов-редуцентов (бактерий, грибов, водорослей) органические соединения подвергаются деградации, происходит изменение их свойств. Трансформация веществ, вместе с процессом механического вымывания загрязнений, являются сутью процессов «самоочищения» вод в водохранилищах.

Натурные наблюдения на водохранилищах Волжского каскада, выполненные ИВП РАН в 1982 г., показали, что в придонных слоях застойных и слабопроточных зон приплотинных частей водохранилищ формируются тонкодисперсные осадки с консистенцией геля в виде довольно значительных по площади ареалов с толщиной слоя от сантиметров до 2-х метров. Гелеобразные массы с концентрацией загрязняющих веществ в них на порядок превышающей ПДК, обладают большой подвижностью.

Одним из способов предотвращения вторичного загрязнения водоема может быть путь засыпки очагов донных загрязнений чистым песком русловой части водохранилища. Отсыпка может вестись слоем в несколько сантиметров по специально разработанной для этого технологии, учитывающей недопущение размыва самой засыпки.

*Факторы самоочищения водоема* условно можно разделить на три группы: физические, химические, биологические. Среди *физических факторов* первостепенное значение имеют разбавление, растворение, перемешивание и перенос поступающих загрязнений, при малых ско-

ростях течений – оседание на дно нерастворимых осадков и отстаивание. Под влиянием ультрафиолетового солнечного излучения происходит разрушение части белковых коллоидных соединений, вода обеззараживается.

*К химическим факторам* самоочищения относятся процессы окисления органических и неорганических веществ. Интенсивность окислительных процессов зависит от количества растворенного в воде кислорода. Кислород в воду поступает в ходе жизнедеятельности фотосинтезирующих растений, но главным образом из атмосферы, чему способствует волновое перемешивание водных масс.

Максимальная насыщающая концентрация кислорода в холодной воде составляет около 9 мг/л. В глубоких и малопроточных водохранилищах развиты явления температурной и кислородной стратификации, проявляющиеся в том, что концентрация кислорода в нижних слоях падает до 3-5 % максимального насыщения. Кроме того, если содержание органических веществ в водоеме велико, то для их окисления бактериями и простейшими может израсходоваться почти весь имеющийся запас кислорода, и в водоеме наступают *анаэробные условия*. Немногие виды живых организмов способны выжить в подобных условиях, хотя анаэробные формы жизни достаточно широко распространены на планете. Вместо кислорода анаэробные бактерии могут использовать серу, содержащуюся в органических отходах. Их жизнедеятельность сопровождается образованием сероводорода и метана. На некоторых крупных тропических водохранилищах, где не были в должном объеме проведены мероприятия по очистке ложа от растительности, разложение огромной растительной биомассы вызвало появление обширных сероводородных зон.

*К биологическим факторам* самоочищения относятся механизмы, выработанные самой природой. Водные сообщества растений, животных, ихтиофауна, бактерии, грибки, донный бентос являются звеньями пищевых цепей водоемов и обеспечивают круговорот веществ в экосистеме.

Биологические методы интенсификации самоочищения относятся к группе методов, предусматривающих изменение типа и количества различных организмов, населяющих водоем, с тем, чтобы контролировать процесс эвтрофикации. Такие методы могут включать изменение значения рН воды в водоёме с тем, чтобы благоприятствовать росту зеленых, а не сине-зеленых водорослей, с этой же целью в «цветущие» зоны водохранилищ может подкачиваться холодная вода подземных источников. Воды водохранилищ следует заселять растительными породами рыб.

Наиболее ярко выраженным недостатком водного режима водохранилищ являются неизбежные при регулировании стока колебания уровней воды, приводящие в фазе сработки к *осушению больших пространств акватории*, чаще всего в верховьях долинных водохранилищ. При этом на берегах остаются разлагающиеся водные растения и животные. На осушенной части происходит гибель донного бентоса. На мелководных и заболоченных участках создаются благоприятные условия для размножения насекомых и т.п. *Экологически негативные последствия глубокой сработки* водохранилищ проявляются в снижении самоочищающей способности водоемов, в сокращении нерестовых площадей, в ухудшении условий зимовки рыбного стада в период ледостава.

### 3.5.2. Использование высшей водной растительности

Природные воды обладают важным свойством – способностью к самоочищению. Процессы самоочищения природных вод происходят под влиянием солнечной радиации, деятельности микроорганизмов и водной растительности, других факторов. Наиболее интенсивно они протекают летом.

Самоочищение загрязнённых природных вод происходит при многократном их разбавлении чистой водой – 1:7...1:12. Эти процессы в замкнутых водоёмах протекают медленно. Полное самоочищение воды Мирового океана произойдёт только через 2 600 лет, а подземных – через 5 000 лет.

Процессы самоочищения воды протекают в результате её насыщения кислородом. Под влиянием растворённого кислорода происходит окисление органических веществ и выпадение их дно водоёмов в виде минерального осадка. Наиболее интенсивно вода насыщается кислородом воздуха на реках с быстрым течением и в водоёмах при сильном ветровом волнении. Этому способствует жизнедеятельность высших водных растений, насыщающих воду кислородом в результате фотохимических процессов под влиянием солнечной радиации. Наряду с этим качество воды улучшают водные растения за счёт поглощения ряда растворённых и диспергированных веществ.

Значительную роль в оздоровлении водоемов играет *высшая водная растительность (макрофиты)*. Основная роль в процессах очищения вод макрофитами принадлежит их симбиозу с нефтеокисляющими бактериями, в котором высшие водные растения играют роль активного субстрата. В народе тростник называют хранителем «живой» воды. Для очистки поверхностных вод от углеводов на мелководьях весьма эффективны камыш озерный, тростник обыкновенный,



рогоз, роголистник темно-зеленый, *рдест плавающий*, *роголистник и ряска*.

*Тростник обыкновенный* – крупное многолетнее растение, которое растет в затопливаемых поймах и по берегам водоёмов, даже если его корни скрыты двухметровым слоем воды. Тростник способен расти в водах солёных лиманов, вблизи серных источников, в сильно загрязнённых стоками водоёмах, на полях фильтрации и даже в шламо-накопителях промышленных предприятий.

Под влиянием жизнедеятельности этого растения качество воды заметно улучшается благодаря непрерывному обогащению водно-почвенной среды кислородом. В нижних, покрытых водой побегах развиваются водно-воздушные корни, с их помощью задерживаются находящиеся в воде волокна, жировые и нефтяные эмульсии, хлопья коллоидов и т.д. Эти корни поглощают из воды питательные для тростника, но балластные и даже токсичные для водоёмов вещества и соли. Один гектар тростника за сезон поглощает до 5...6 т солей. Многие токсичные вещества (аммиак, фенол, азотнокислые свинец и ртуть, сернокислая медь, хлористый кобальт, азотнокислый хром) не оказывают вредного воздействия на тростник.

Заросли тростника, затеняя поверхность водоёма и понижая температуру воды, поглощая биогенные вещества, угнетают развитие сине-зелёных водорослей. Прибрежные заросли тростника гасят волны и таким образом защищают берега.

Заросли тростника – прекрасная среда для обитания многих пушных зверей, диких животных, водоплавающих птиц; для нагула ценных промысловых рыб. Для повышения защитного эффекта тростника рекомендуется ежегодное его скашивание на определённой высоте, не повреждая корней.

*Камыш и рогоз* – обладают теми же положительными свойствами, что и тростник, но в меньшей степени. *Роголистник и рдест* являются эффективными помощниками в борьбе с сине-зелёными водорослями и цветением водоёмов.

*Ряска* – плавающее на поверхности воды растение, покрывающее водное зеркало. Ряска энергично поглощает углекислоту, обильно выделяет кислород и очищает воду от многих вредных веществ.

*Харовые водоросли* (хара, нителла, томпелла), обитающие на глубине, играют большую роль в очищении вод, содержащих фенольные соединения.

Заросли растительности на мелководье ежегодно осенью следует выкашивать и удалять, в противном случае возможно вторичное загрязнение водохранилища опадом растений.

На самоочищение воды в водных источниках положительно влияют многочисленные живые организмы – ракообразные, моллюски, черви. Поселения этих организмов, расположенных на одном квадратном метре, фильтруют более 200 м<sup>2</sup>/сут воды, освобождая её от загрязнений.

### 3.5.3. Искусственная аэрация

Уже несколько лет на некоторых эвтрофированных озерах и водохранилищах Европы и США используется метод непосредственной подачи кислорода в донные слои воды. Такая принудительная аэрация активизирует окислительные процессы и препятствует высвобождению фосфора из озерного ила.

Искусственная аэрация позволяет интенсифицировать самоочищение воды. При дефиците в воде растворённого кислорода процессы самоочищения резко сокращаются. Возникает необходимость искусственной аэрации, которую осуществляют [7]:

- специальными аэраторами,
- пропуском воды через водосливные плотины,
- впуском воздуха в отсасывающие трубы работающих турбин.

При любом способе аэрации требуется затрата или потеря энергии. Эффективность искусственной аэрации оценивают приростом содержания кислорода на 1 кВт ч затраченной энергии.

*Барботажный аэратор* представляет собой воздуходувку с горизонтальной трубой на глубине до 1 м с отверстиями диаметром 1,5 мм. Выходящий через отверстия воздух при движении к поверхности отдаёт часть кислорода воде. Эффективность такого аэратора – около 1 кг кислорода на 1 кВт ч.

*Механический глубинный аэратор* представляет собой систему располагаемых на понтонах вращающихся труб, которая заглублена под уровень воды до 1 м. Его эффективность – 1,14 кг кислорода на 1 кВт·ч.

*Механические поверхностные аэраторы*, разбрызгивающие воду в воздушном пространстве, также используют для интенсификации процессов самоочищения вод.

Достаточную эффективность даёт *водослив через плотину*, представляющий собой свободно падающий поток с сопряжением бьефов по типу затопленного прыжка. Эффективность аэрации в этом случае составляет 1,48 кг кислорода на 1 кВт·ч. На плотине Яузы (Москва), высотой 4 м и при удельном расходе 250 л/с прирост содержания кислорода в летние дни доходил до 0,57 кг на 1 кВт·ч. При увеличении высоты плотины эффективность насыщения воды кислородом повы-

шается, но в расчёте на единицу высоты плотины (на 1кВт·ч) – падает. Для целей искусственной аэрации целесообразно строительство водосливов высотой до 1 м.

Искусственная аэрация создаётся *при впуске воздуха в зону разрежения отсасывающих труб гидротурбины*. На пропеллерной гидротурбине увеличение растворённого кислорода снижает её мощность на 5...8 %. Эффективность аэрации в этом случае составляет 2,6 кг кислорода на 1 кВт·ч.

### Вопросы для самопроверки

1. Какими признаками характеризуется загрязнение водоемов?
2. Допустимое количество каких биогенных элементов обязательно нормируется в водоеме при использовании воды для санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных целей?
3. Какие документы регламентируют условия спуска сточных вод в водоемы?
4. По каким основным показателям отличаются нормативы качества воды для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях?
5. Для каких категорий водных объектов водозаборы могут располагаться на расстоянии 500 м ниже выпусков сточных вод?
6. Участки водоемов, используемые в качестве источников для каких видов водопользования, относятся к первой категории?
7. Какие мероприятия проводят для сохранения чистоты водных объектов?
8. Что понимают под самоочищением природных вод?
9. По каким показателям определяют необходимую степень очистки сточных вод перед сбросом в водные объекты? Что лежит в основе определения необходимой степени очистки сточных вод?
10. Какие экологические последствия имеет распространённость в водных объектах различных видов водорослей? Когда говорят о зарастании водоёмов?
11. Какие водоросли представляют наибольшую опасность для формирования качества воды?
12. Какие меры борьбы с цветением сине-зелёных водорослей рекомендуются в настоящее время?
13. Какие мероприятия проводятся по предотвращению заиления и занесения водохранилищ ?

14. В чём состоит положительная, а в чём отрицательная роль мелководий?

15. Какова оптимальная доля мелководий в общей площади акватории водохранилищ?

16. Какие меры борьбы с мелководьями вы знаете?

17. Для чего следует поддерживать проточность водохранилищ?

18. На какие группы можно разделить факторы самоочищения водоема?

19. Какие процессы относятся к химическим факторам самоочищения?

20. К какой группе факторов интенсификации самоочищения водоема относятся изменение типа и количества различных организмов, населяющих водоем, с тем, чтобы контролировать процесс эвтрофикации?

21. В чём состоит механизм процесса самоочищения под влиянием растворённого кислорода?

22. Какие виды высшей водной растительности эффективны для очистки поверхностных вод на мелководьях от углеводов?

23. Каким образом осуществляют искусственную аэрацию вод?

## 4. МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

### 4.1. Общие понятия о регулировании речных русел

#### 4.1.1. Задачи и виды регулирования (выправления рек)

Речной поток в его естественном состоянии не всегда может быть использован для водохозяйственных целей. Этот же поток нередко приносит ущерб народному хозяйству при наводнениях и затоплениях в период паводков вследствие обрушения берегов, блуждания речного русла (ухода от населенных пунктов), обильных отложений наносов, засыпающих песком, илом и камнями культурные земли, строения.

Искусственное изменение потока в нужном для народного хозяйства направлении и борьба с отрицательными проявлениями его режима проводятся путем так называемого регулирования (выправления) потоков. Режим реки определяется условиями водного стока и эрозионной деятельностью воды в речном русле и на склонах бассейна, поэтому и мероприятия по регулированию рек касаются режимов водного стока и эрозии (русловых процессов).

Мероприятия, изменяющие режим водного стока, т. е. приводящие к регулированию стока, осуществляются путем возведения гидроузлов и создания водохранилищ. Мероприятия, связанные с воздействиями на процессы эрозии русел, не изменяющие режима стока, осуществляются с помощью регуляционных или выправительных сооружений и относятся к регулированию (выправлению) речных русел (эрозионной деятельности реки).

#### 4.1.2. Некоторые данные по теории эрозии

Эрозионные явления представляют весьма сложный процесс, не поддающийся пока надежному анализу. Их описывают лишь приближенными зависимостями. Воздействие равномерно движущегося потока на его русло может быть оценено простейшим образом, так называемой силой влечения  $S$ , являющейся по существу касательным напряжением в плоскости дна:

$$S = \rho g h I, \quad (4.1)$$

где  $\rho$  – плотность воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – глубина потока;  $I$  – уклон водной поверхности.

Соппротивление сдвигу, оказываемое  $1 \text{ м}^2$  верхнего слоя несвязного однородного грунта толщиной  $d_1$ , равной диаметру частиц, и плотностью  $\rho$ , выражается величиной  $R$ , равной

$$R = d_1 g (\rho_1 - \rho) (f + i), \quad (4.2)$$

где  $f$  – коэффициент внутреннего трения несвязного грунта;  $i$  – уклон дна потока.

Условие устойчивости будет соблюдаться при выполнении неравенства  $R > S$ , откуда следует, что диаметр однородных несвязных частиц грунта дна реки, которые не смываются потоком, должен удовлетворять уравнению

$$d_1 > \frac{\rho}{(\rho_1 - \rho)(f \pm i)} hI = AhI. \quad (4.3)$$

Если на ровном дне потока находится отдельная частица, например, в форме кубика со сторонами  $d_2$ , превышающими по размерам частицы дна  $d_1$ , то гидродинамическое давление потока на эту частицу равно

$$p = k\rho v_1^2 d_2^2 / 2,$$

где  $k$  – коэффициент обтекания частицы (учитывающий и подъемную силу);  $v_1$  – средняя скорость набегания потока на частицу:

$$v_1 - \alpha v = \alpha C \sqrt{hI};$$

здесь  $a$  – коэффициент;  $v$  – средняя скорость, вычисленная по всей глубине потока;  $C$  – коэффициент Шези.

Условие устойчивости такой частицы имеет вид

$$gd_2^3 (\rho_1 - \rho) (f \pm i) > k\rho v_1^2 d_2^2 / 2. \quad (4.4)$$

Отсюда можно определить размер частицы, которая не будет сдвинута потоком

$$d_2 > \frac{k\rho v_1^2}{2g(\rho_1 - \rho)(f \pm i)} = \frac{k\rho a^2 C^2}{2g(\rho_1 - \rho)(f \pm i)} hI = BhI. \quad (4.5)$$

Сопоставляя значения  $A$  из формулы (4.3) и  $B$  из формулы (4.5), можно видеть, что  $B$  в  $ka^2 C^2 / 2g \approx 0,05 C^2$  раз больше (практически в десятки и сотни раз). Следовательно, одиночные крупные частицы (например, галька) могут двигаться в потоке, дно которого сложено из значительно более мелких частиц (например, песка), остающихся в покое.

В реальных условиях явление размыва русла и движения наносов представляет собой очень сложный процесс. Частицы песка имеют

различные размеры и передвигаются в форме песчаных волн, перемещающихся по дну, при этом частицы перекатываются и скользят по дну или переходят во взвешенное состояние. Движение придонных частиц разных размеров в одном и том же потоке происходит в разных формах, подчиняясь закономерности, которая весьма приближенно может быть выражена в следующем виде:

$$d < \varphi hI \text{ или } d < \phi v^2, \quad (4.6)$$

где  $\varphi$  или  $\phi$  – коэффициенты, зависящие от формы, размеров частицы и ее положения в общей массе частиц.

Существует много формул для определения средней неразмывающей скорости потока  $v_{\text{св}}$ , при которой начинается движение донных наносов. При уменьшении скорости течения потока частицы соответствующей крупности, согласно закону, выраженному зависимостью (4.6), осядут на дно, при увеличении скорости  $v$ , наоборот, по дну начнут двигаться еще более крупные частицы. В руслах, сложенных из связных грунтов, процессы эрозии аналогичны, но в сопротивлении грунта размыву участвуют и силы сцепления, которые в плотных грунтах могут быть значительными, поэтому связные грунты труднее размываются.

Количество передвигаемых рекой донных наносов (расход) может быть определено лишь весьма приближенно различными эмпирическими формулами (например, В.Н. Гончарова, И.И. Леви и др.).

### 4.1.3. Формирование речных русел

Формирование речного русла происходит при взаимодействии сил потока и сопротивления грунта ложа размыву. В естественных руслах в потоке развиваются поперечные циркуляции струй, и русло из прямолинейного неизбежно превращается в криволинейное в плане с неравномерным распределением глубин, как по поперечному сечению, так и по продольному профилю. Помимо эрозии дна (или глубинной эрозии), в результате поперечной циркуляции и действия центробежных сил на криволинейных участках развивается боковая эрозия, что приводит к постоянным перемещениям русла среди наносных отложений речной долины, блужданию русла, разрушению берегов, образованию отмелей, кос.

Процессы эрозии особенно сильны в период паводков, в частности ливневых. В руслах они проявляются там, где происходит изменение скоростей течения: при искривлении русла, делении на рукава, впадении притоков и т. п.

Если рассматривать бассейн реки в целом (рис. 4.1), то можно отметить, что продольные уклоны в верхнем течении реки являются

наибольшими и уменьшаются вниз по течению, приближаясь к нулю в устье. Поэтому в верховьях реки преобладает глубинная эрозия. Река постепенно врезается в грунт дна. Русло понижается. Продукты размыва (наносы) перемещаются потоком вниз по течению.

В нижнем течении, где уклоны и скорости уменьшаются, происходит преимущественно аккумуляция (отложение) наносов, принесенных сверху, повышение дна реки, удлинение и искривление русла в плане.

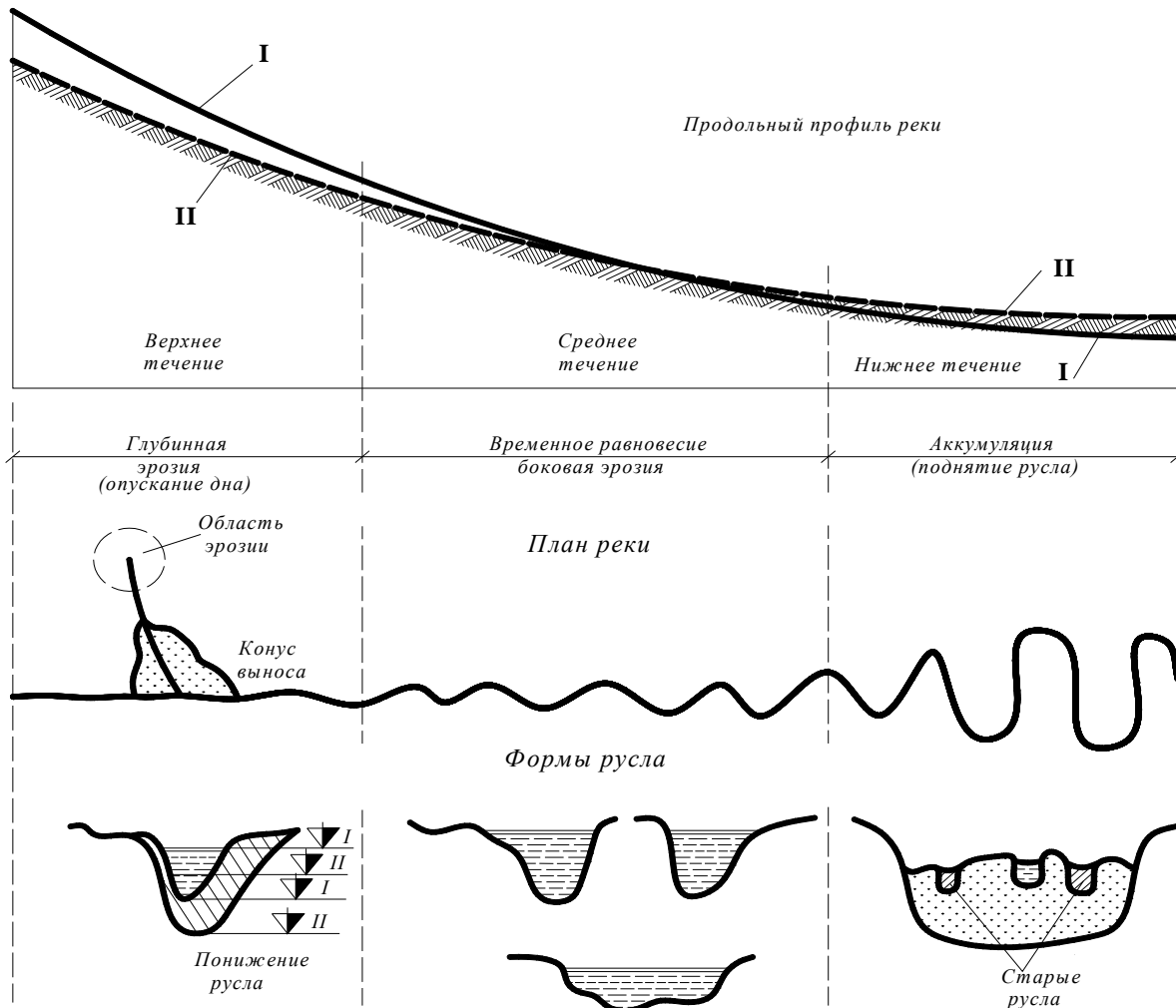


Рис.4.1. Схемы эрозионных процессов в реке

В среднем течении наблюдаются и глубинная эрозия, и аккумуляция; наносы приносятся сверху и сносятся вниз. Наблюдается как бы временное объемное равновесие между отложением и размывом. Боковая эрозия особенно развивается под действием циркуляционных течений.



#### 4.1.4. Основные направления воздействия на эрозионные процессы

Регулирование русел в верхнем течении должно быть направлено главным образом на борьбу с глубинной эрозией (понижением дна реки), в среднем — на борьбу с боковой эрозией (блужданиями русла) и в нижнем — на борьбу с отложением наносов и повышением дна реки. Мероприятия, проводимые в верхнем течении по борьбе с эрозией, отражаются на условиях эксплуатации нижних участков из-за уменьшения объема приносимых сверху наносов. Регулирование любого участка русла оказывает значительное влияние на гидрологический режим лежащих ниже участков. В период паводков, когда в реке наблюдаются самые большие расходы и скорости течения воды, воздействия потока на русло наиболее сильны и резки, поэтому регулирование стока, снижающее высоту и объем паводков, благотворно влияет и на регулирование эрозионной деятельности потока.

## 4.2. Регулирование верховьев рек и потоков

### 4.2.1. Борьба с размывом склонов бассейна и лавинами

Процесс эрозии реки начинается с размыва склонов бассейна, происходящего под действием стекающей по нему атмосферной воды. Борьба с разрушениями склонов приводит к уменьшению поступления наносов в реку и обеспечивает возможность использования самих склонов, особенно горных, для культурно-хозяйственных целей. Соответствующие меры заключаются, прежде всего, в повышении сопротивляемости склонов размыву путем создания и поддержания на них травяной и древесной растительности, ведения правильного лесного хозяйства, сохраняющего лес и почву склонов, и принятия мер против вытаптывания растительности пасущимся скотом. Однако эффект указанных мероприятий может проявиться лишь через несколько лет, в течение которых скорость смыва почвы может иметь катастрофические последствия. В этих случаях принимают меры к уменьшению размывающей силы поверхностного стока путем устройства валиков, террас и канав (рис. 4.2), задерживающих сток.

Валики делают примерно по горизонталям склона, накопившаяся за ними вода частично просачивается в грунт, что благоприятствует развитию вдоль валиков растительности, а частично стекает по особым деревянным или бетонным лоткам 2. Это ведет к уменьшению глубины слоя стекающей воды  $A$ , а следовательно, и влекущей силы  $S$  (4.1). Полезно также устройство палисадов, плетней и заборов, задерживаю-

щих размывыте и движущиеся вниз частицы грунта, образующие затем терраски (см. рис. 4.2).

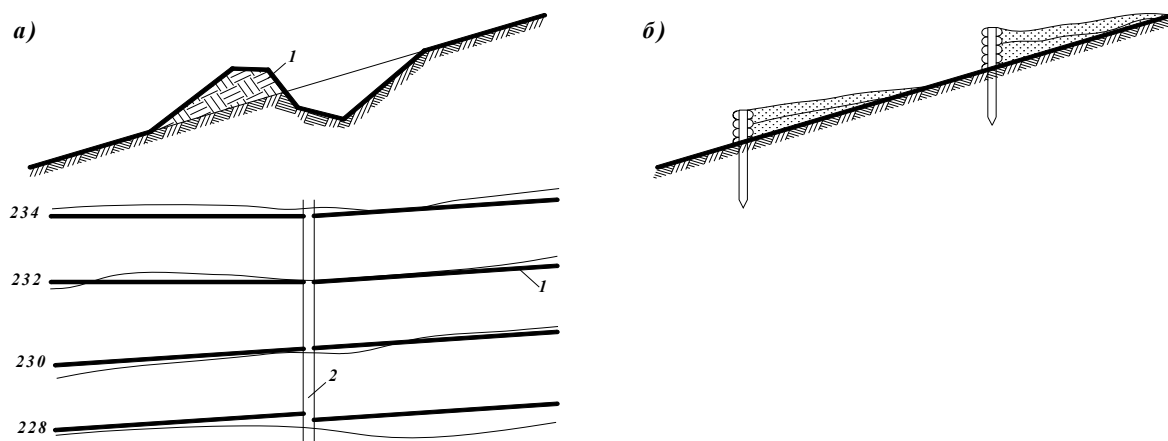


Рис. 4.2. Методы закрепления склонов:  
а – валами; б – плетнями; 1 – вал; 2 – лоток

Источником засорения русел в горных районах являются также снежные лавины, обрушивающиеся по крутым склонам иногда со значительной скоростью (до нескольких десятков метров в секунду) и увлекающие за собой поверхностные слои грунта. Эффективными мерами против лавин являются облесение склона и устройство заграждений из кольев, свай, отбойных каменных стен, лавинорезов, направляющих шпор, располагаемых по линиям, нормальным направлению движения лавины. Осыпи горных склонов из продуктов выветривания мергелистых, сланцевых и других пород происходят после сильных дождей и ливней, пропитывающих водой выветрившуюся массу. Борьба с ними ведется путем перехватывания воды нагорными канавами, лотками, дренажами и задержания осыпающегося грунта различными заграждениями (см. рис. 4.2): плетнями, палисадами из толстых кольев или свай, заборами из жердей, а иногда металлических сеток.

#### 4.2.2. Регулирование горных ручьев и потоков

Для верховьев рек характерно наличие многочисленных мелких притоков — ручьев, горных протоков с небольшой площадью бассейна (1...50 км<sup>2</sup>), крутыми склонами бассейна, значительным продольным уклоном (около 0,1 и выше в горных районах), относительно небольшими глубинами, значительными скоростями течения (1,5...8 м/с и более) и большой крупностью донных наносов (песка, гравия, гальки, камней). Задача регулирования таких потоков заключается в уменьшении или даже прекращении эрозии в их верховой и средней частях, что может быть достигнуто уменьшением размывающей силы  $S$ , т.е. уменьшением  $I$  и  $h$ . Уменьшение уклона  $I$  достигается устройством

запруд, представляющих собой небольшие плотины, и порогов — стенок, заглубленных в размываемое дно потока. И те, и другие изменяют продольный уклон потока  $I$  на новый  $I_1$ , меньший, и, по возможности, близкий к уклону «равновесия», при котором выполняются равенства (4.3) и (4.4).

### 4.2.3. Борьба с селевыми потоками.

При некоторых условиях в горных и предгорных районах образуются грязекаменные потоки — сели. К условиям, способствующим формированию (созреванию) селя, относятся, прежде всего, наличие крутых склонов (с углом заложения до  $15\text{--}40^\circ$ ) и особые формы водосборного бассейна. Например, при водосборном бассейне в виде чаши в случае ливня или интенсивного таяния снега наблюдается большая концентрация поверхностного стока. Если к тому же грунт склонов бассейна сложен из глин с включением камней (до  $50\text{--}70\%$  по массе), то при насыщении глины водой (до  $8\text{--}10\%$  по массе) вся масса приобретает неустойчивое связное состояние и приходит в движение. Пройдя в виде вала по ущелью несколько десятков километров, этот грязекаменный поток откладывается на конусе выноса, сохраняя неизменным свой состав. Связное состояние селевая масса сохраняет лишь при определенных соотношениях слагающих ее частей. Если, например, воды будет более  $12\text{--}15\%$ , то связность селя нарушается, крупные наносы выпадают, и он превращается в обычный турбулентный поток с расходом, в  $1,5\text{--}2,5$  раза меньшим первоначального.

Сели причиняют большой ущерб, как в горах, так и на равнине, разрушая на пути своего движения хозяйственные постройки и засыпая в месте отложения освоенные земли. Около  $15\%$  горных районов Средней Азии и Кавказа являются селеопасными.

Мероприятия по борьбе с селями оказываются наиболее эффективными, если они проводятся комплексно и включают в себя: лесомелиоративные работы в котловине бассейна, регулирование хозяйственной деятельности в нем, создание сети противоселевых гидротехнических сооружений. Противоселевые ГТС можно подразделить на:

- селезадерживающие — стенки из сухой кладки, плотины каменные, сквозные из сборного железобетона, а также сквозные сетчатые и др.;
- селепропускные — селедуки;
- селенаправляющие — подпорные стенки, дамбы, шпоры и т. п.

Для защиты г. Алма-Аты от селевых потоков направленным взрывом возведена плотина Медео.

#### 4.2.4. Регулирование оврагов и балок

Оврагами считают молодые, узкие, крутосклонные, довольно короткие формы рельефа. Росту оврагов способствует: физические свойства грунтов, отсутствие растительности на водоразделах и склонах, неровности рельефа, наличие трещин в толще грунта, деятельность человека, большое количество выпадающих атмосферных осадков.

Овраги разделяют по различным признакам:

– по месту расположения: на донные (размыв идет по дну оврага) и на береговые (размываются боковые склоны балок или рек);

– по конфигурации: ствольные; разветвленные (чаще два ствола с общим устьем); древовидные (сложная конфигурация и большие площади);

– по характеру процесса: действующие; затухающие; засыпанные.

Чаще всего овраги развиваются на территориях с континентальным климатом, в степной и лесостепной ландшафтных зонах в связи с неравномерным выпадением атмосферных осадков на иссушенные почвы. Для образования оврагов необходимы вязкие горные породы: глина, суглинки, лёсс, возвышенный и волнистый рельеф. В связи с этим становится понятно, почему на территории Пензенской области широко развита овражная сеть.

Отрицательное воздействие оврагов многогранно: затрудняется планировочное решение города, происходит потеря ценных земель, возникает сложность прокладки инженерных коммуникаций, затрудняется связь между отдельными частями населённых пунктов, возникает необходимость возведения мостов и земляных дамб, разрушаются здания и сооружения в момент развития оврагов, наносится ущерб городскому хозяйству. Овраги являются природной дренажной системой, в связи с чем чрезмерно осушаются приовражные территории, что отрицательно влияет на сельскохозяйственные земли, леса, зеленые насаждения городов.

Для снижения эрозии почв при движении водного потока необходимо добиваться снижения уклона дна русла водотока, способствующего снижению скорости движения воды и (или) увеличению сцепления грунта, сопротивления движению. Достигается это проведением мероприятий по защите от оврагов в несколько стадий:

1 стадия: поверхностный водоотвод, заравнивание промоин, посадка трав (прекращение вырубки);

2 стадия: те же мероприятия, но в большем объеме; укрепление дна и устройство конструкции, задерживающих твердые фракции;

3 стадия: те же мероприятия, а также устройство продольных плетневых оград с забивкой их землей, облесение склонов;

4 стадия: посев трав, кустарников и деревьев.

Предложенные меры приводят, прежде всего, в повышении сопротивляемости склонов размыву путем создания и поддержания на них травяной и древесной растительности, ведения правильного лесного хозяйства, сохраняющего лес и почву склонов, и принятия мер против вытаптывания растительности пасущимся скотом. Однако эффект указанных мероприятий может проявиться лишь через несколько лет, в течение которых скорость смыва почвы может иметь катастрофические последствия. В этом случае прибегают к строительству противоэрозионных гидротехнических сооружений, которые являются составной частью общего противоэрозионного комплекса. Они делятся на несколько типов: сооружения на водосборной площади, головные овражные, русловые и донные.

Эффективно применение уположивания и террасирование склонов оврагов. Если глубина оврага более 5 м, то необходимо устройство берм.

На оврагах каньонного типа наиболее эффективна засыпка. Начинается засыпка с верхних участков, засыпают ярусами с послойным уплотнением. Обязательно по дну прокладывается водосборная труба (водосборный коллектор, а иногда дренажный коллектор, если нужно понизить уровень грунтовых вод на прилегающих территориях). Организация поверхностного стока – устраивается во всех случаях.

Защитные гидротехнические сооружения классифицируют и по функциональным признакам:

- Водозадерживающие сооружения: валы-каналы, террасы, валы-террасы. Их задача – задержание поверхностного стока.
- Водонаправляющие сооружения: водонаправляющие валы, валы-распылители, каналы-распылители. Их задача регулировать водные потоки, путем изменения их направления и распыления.
- Водосбросные: быстротокки, перепады и водосбросы. Водосбросы делятся на шахтные, трубчатые и консольные. Их задача обеспечить безопасный и организованный сброс вод на дно оврагов.
- Донные сооружения: донные запруды, донные перепады и пороги. Их задачи: уменьшение скоростей потока, повышение шероховатости русла, задержание продуктов выноса в пределах оврага, расширение дна оврага, прекращение дальнейшего размыва и углубление дна.

Наиболее целесообразна комплексная схема противоэрозионных гидротехнических мероприятий на едином водосборе для одной овражной системы. В этих случаях принимают меры к уменьшению

размывающей силы поверхностного стока путем устройства валиков, террас и канав, задерживающих сток.

Валики делают примерно по горизонталям склона, накопившаяся за ними вода частично просачивается в грунт, что благоприятствует развитию вдоль валиков растительности. Полезно также устройство палисадов из жердей, плетней и заборов из толстых кольев или свай, а иногда металлических сеток, задерживающих размывы и движущиеся вниз частицы грунта, образующие затем терраски.

Уменьшение уклона  $I$  достигается устройством запруд, представляющих собой небольшие плотины, и порогов – стенок, заглубленных в размываемое дно потока. И те, и другие изменяют продольный уклон потока  $I$  на новый  $I_1$ , меньший, и, по возможности, близкий к уклону «равновесия». В целях прекращения роста оврага вершину его закрепляют подпорной стенкой, а для отвода воды из бассейна в русло оврага сооружают перепады и быстротоки.

Перед подпорными стенками, где уклоны и скорости уменьшаются, происходит преимущественно отложение наносов, принесенных сверху – повышение дна русла, т.е. замыв пространства, образование террасы.

Существует и другой метод борьбы с оврагами, находящий в Пензенской области довольно широкое распространение. Он связан с затоплением отвершков оврагов аккумуляруемыми паводковыми водами при создании подпорного сооружения – плотины. Механизм защиты от эрозии при этом действует тот же самый – в водоём с паводковыми водами поступает большое количество взвешенных веществ, которые выпадают в условиях малых скоростей движения воды в осадок. Опасные участки оврагов оказываются в зоне влияния малых скоростей движения вод.

Так как возведение плотин является затратным делом, создаваемый при этом водоём используют, как правило, комплексно. Противоэрозионные пруды часто используются для целей орошения или водоснабжения, а также как противопожарные водоёмы. Важно, чтобы при использовании воды из водоёма не происходило при смене уровней осушение отвершков. В противном случае вместо зоны замыва можно получить зону интенсивного размыва грунтов.

### 4.3. Методы регулирования русла реки и ее отдельных участков

#### 4.3.1. Общее регулирование (выправление) русла

Под общим регулированием русла реки понимают приведение его в такое состояние, когда на всем протяжении реки будет достигнуто соответствие между размывающей силой потока и сопротивлением

грунтов русла размыву, наносотранспортирующей способностью русла и фактическим поступлением в него наносов с водосборного бассейна. Такое русло называется зарегулированным, или устойчивым.

Элементы устойчивого русла (ширина, глубина) на отдельных участках определяют исходя из наблюдений за устойчивыми участками данной реки или аналогичных рек (по физико-географическим условиям), а также пользуясь некоторыми морфометрическими формулами, полученными путем обобщения гидрологических материалов. Сюда относятся формулы С.Т. Алтунина, С.И.Рыбкина и др., используемые для определенных условий и типов рек. Для многих наших рек пригодна формула С.Т. Алтунина, определяющая ширину реки  $B$  на прямых участках в зависимости от расхода воды  $Q$  и продольного уклона  $I$ :

$$B = AQ^{0.5}/I^{0.2}, \quad (4.7)$$

где  $A$  — коэффициент, равный для горных рек 0,7...0,9, для нижних течений рек в песчаных или суглинистых руслах — 1,1...1,7.

Среднюю глубину рекомендуется определять по приближенной формуле

$$H_{cp} = B^m/k, \quad (4.8)$$

где  $m$  — коэффициент, для горных рек равный 1,0...0,8, для нижних течений рек  $m$  до 0,5;  $k$  — коэффициент, изменяющийся для тех же условий от 12...8 до 4...3 и увеличивающийся на реках с легко-размываемыми берегами до 16...20.

Устойчивое русло, по С.Т. Алтунину, имеет в плане меандрическую форму (рис. 4.3), образуемую кривыми переменных радиусов: по вогнутому берегу  $r_{max} \geq 8B$  и  $r_{min} \geq 4,55$ , по выпуклому — соответственно  $7B$  и  $3,5B$ . Шаг меандр  $L \approx (12...15)B$ , стрела изгиба  $f \approx 0,25L$ . Ширина русла в пределах кривой  $B_{кр} = (0,5...0,75)B$ , где  $B$  — ширина русла на прямом участке, определяемая по формуле (4.7). Наибольшая глубина на кривой  $H_{кр} = (1,5...2,5)H_{cp}$  выбирается в зависимости от отношения  $r:B = 6...3$ . Приведенные соотношения для устойчивых русел ориентировочны и от них возможны отклонения.

Решение задачи общего зарегулирования русла требует длительного времени и больших материальных затрат. На практике производят поэтапное регулирование отдельных наиболее важных в хозяйственном отношении участков реки с целью обеспечения бесперебойной работы водозаборных устройств, создания нужных глубин, защиты берегов от размыва и т.д.

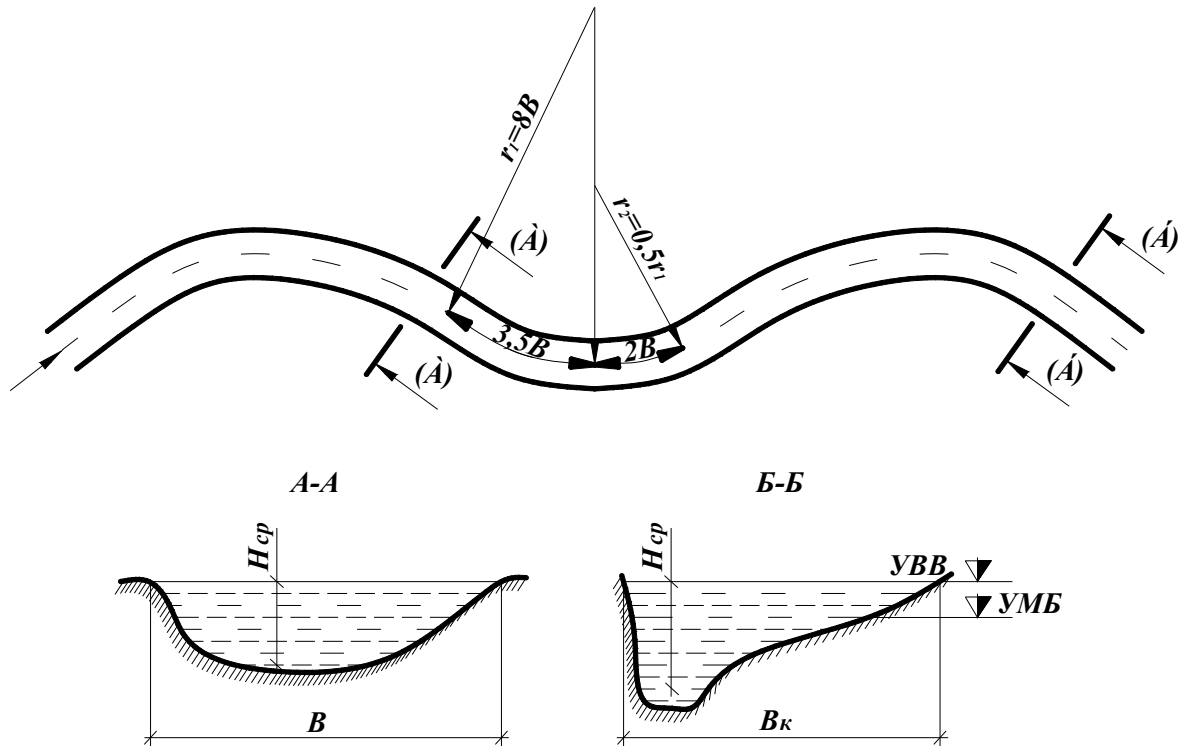


Рис. 4.3. Трасса устойчивого русла

Борьба с отложениями наносов, вызывающими общее повышение дна русел и рост их извилистости (меандрирование), может вестись путем уменьшения количества наносов, поступающих с верховий, в результате зарегулирования рек, и путем создания на участках отложения наносов условий для их продвижения: концентрации потоков, увеличения глубин и уклонов.

Повышения глубины русла можно достигнуть ограничением его ширины. Если, например, русло шириной  $B$  и средней глубиной  $h$  (рис. 4.4) сузить путем постройки дамбы  $A$  до ширины  $B_1$  то в стесненном сечении реки скорости течения увеличатся, произойдет размыв дна и средняя глубина увеличится до  $h_1$ . Эту глубину приближенно можно получить из уравнения расхода воды, если принять, что уклон реки  $i$  и коэффициент Шези  $C$  после стеснения не изменились (в действительности они несколько изменяются):

$$Q = BhC\sqrt{hI} \approx B_1h_1C\sqrt{h_1I},$$

откуда

$$h_1 \approx h\sqrt[3]{(B/B_1)^2}.$$



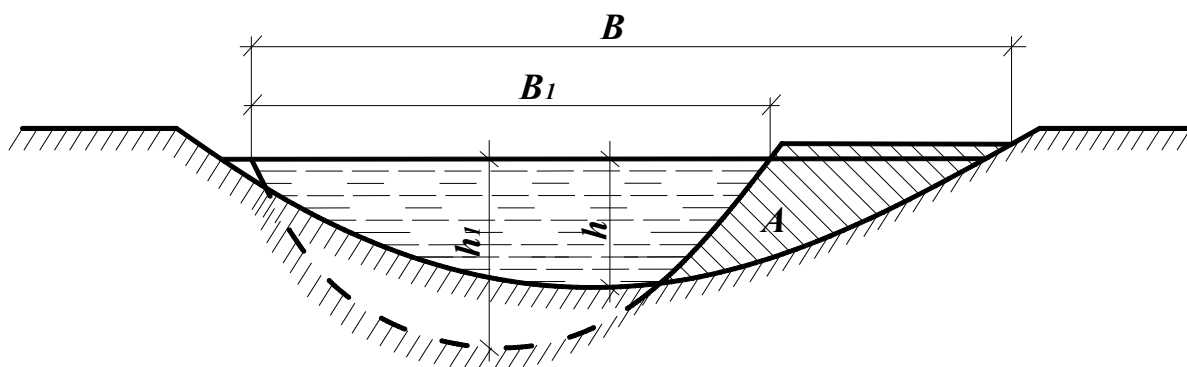


Рис. 4.4. Схема углубления русла при стеснении его дамбой

Стеснение русла можно произвести дамбами: продольными (рис. 4.5, *а*), поперечными (полузапруды, рис. 4.5, *б*) или комбинацией их (рис. 4.5, *в*). Поперечные дамбы, устраиваемые на некотором расстоянии одна от другой, в большинстве случаев дешевле и имеют то преимущество, что сужение русла с их помощью можно производить постепенно, возводя вначале не все полузапруды, а, например, через одну и не на всю их проектную длину, а на часть ее. Это очень важно, так как ширину необходимого сужения русла точно определить расчетом невозможно, поэтому лучше сужать русло постепенно и остановить работы в той стадии, когда будет достигнута нужная глубина. Кроме того, при постепенном сужении не происходит резкого нарушения режима потока, которое неизбежно дает резкую реакцию — сильнейшие размывы русла у голов, повреждения последних, размывы противоположного берега. Еще одно преимущество поперечных сооружений заключается в том, что часть смытых в русло наносов выносятся в промежутки между запрудками (бунами) и там оседают. В паводок эти зоны заносятся еще больше, так что здесь как бы образуется новый берег. Такой метод борьбы с отложениями наносов широко применялся на р. Дон.

Продольные дамбы не имеют указанных преимуществ. Ошибки в определении ширины сужения трудноисправимы. Достоинство продольных дамб в том, что при их устройстве течение, особенно на вогнутых участках, более спокойно и безопасно как для устойчивости берегов, так и для судоходства.

Наиболее рациональной схемой является комбинирование продольных и поперечных дамб (рис. 4.5, *в*), так как она обладает и гибкостью (постепенность постройки бун) и экономичностью, обеспечивая спокойное течение вдоль продольных дамб, располагаемых, как правило, у вогнутого берега, где скорости наибольшие.

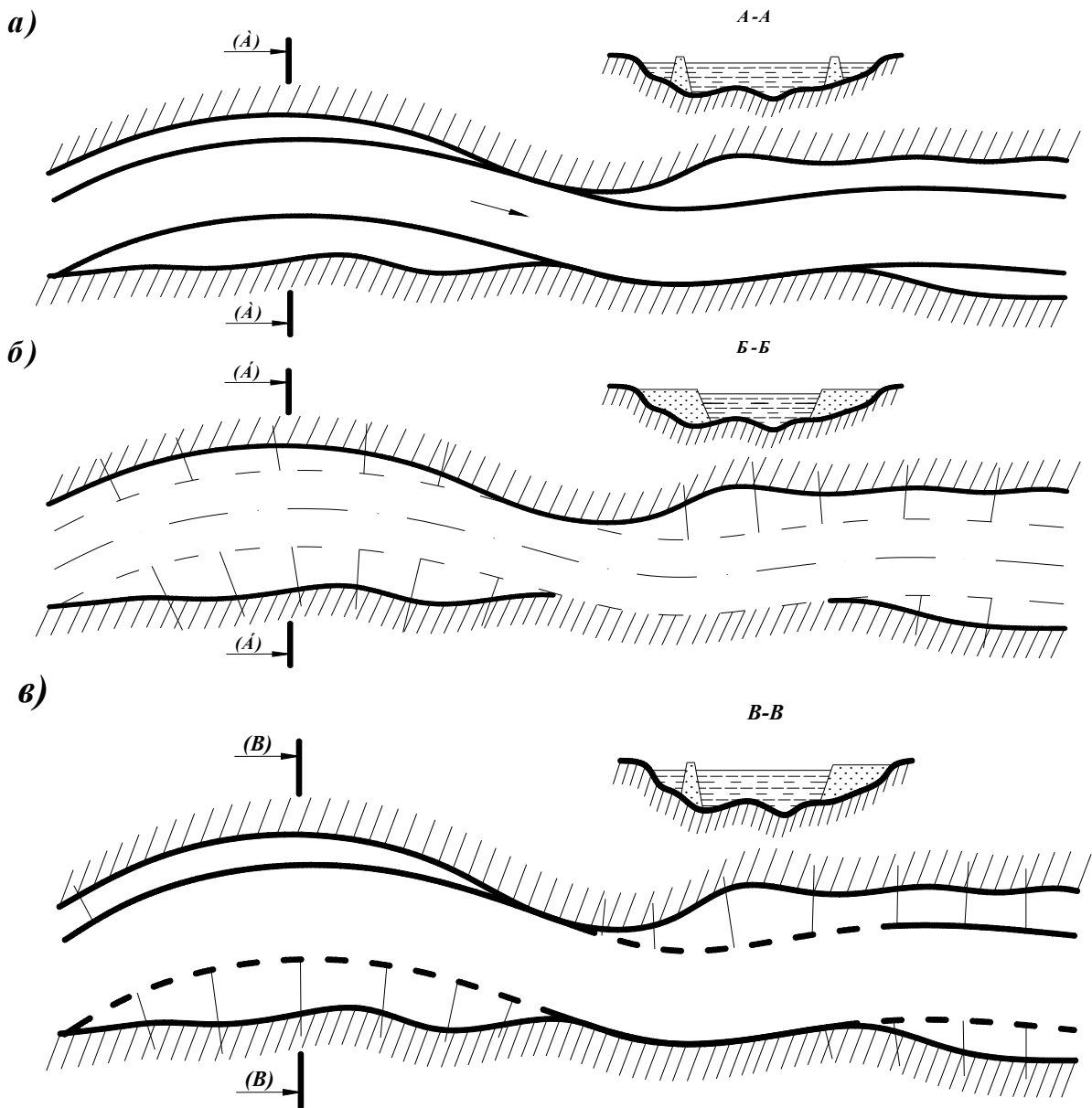


Рис. 4.5. Схемы стеснения русла:  
 а – продольными дамбами; б – поперечными дамбами;  
 в – поперечными и продольными дамбами

Сужение ширины русла возможно также путем установки так называемых сквозных сооружений: сетчатых, сборных железобетонных и т.п.

Если река разделяется на рукава, то, переводя весь расход реки в один из них путем перекрытия другого запрудой, можно повысить уровень и глубину воды в первом из рукавов.

Уклоны потока могут быть увеличены путем спрямления извилистого русла.

Участки старого русла, замененные спрямлениями, постепенно отмирают, превращаясь в пойменные озера подковообразной формы.

### 4.3.2. Методы регулирования местной эрозии

Борьба с местными размывами берегов и дна с помощью постоянных сооружений ведется двумя методами: 1) уменьшением размывающей силы потока путем отклонения струй от зоны размыва; 2) повышением сопротивляемости русла в зоне размыва (достигается покрытием размываемых участков защитными одеждами).

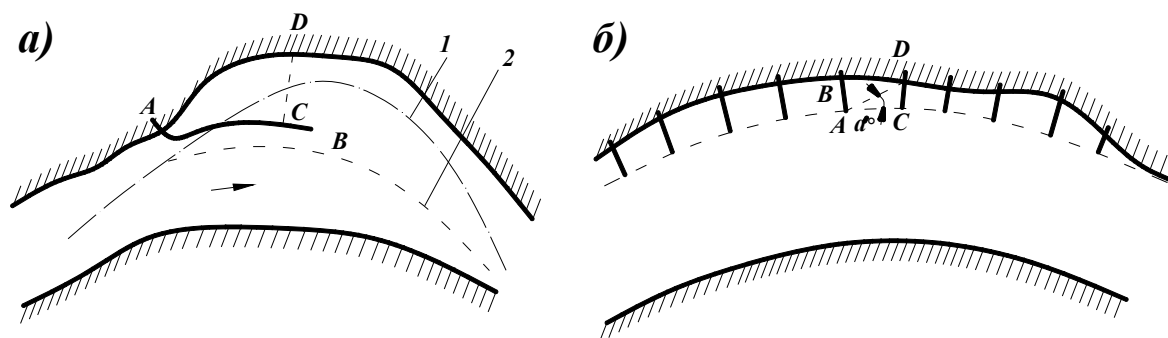


Рис. 4.6. Защита берега:  
а – струенаправляющей дамбой; б – полузапрудами;  
1, 2 – стержень до регулирования и после него

Отклонение струй от берега может быть произведено продольными или поперечными сооружениями. При первом способе продольная дамба (рис. 4.6, а) одним концом (корнем) А заделывается в берег (на 3...10 м), другим В (головой или оголовком) свободно заканчивается в реке. Дамба в плане имеет плавное криволинейное очертание и несколько возвышается над уровнем воды, при котором по расчету она должна оказывать свое действие. Между дамбой и берегом, а также несколько ниже по течению создается вращательное движение воды вокруг вертикальной (или наклонной) оси. Вследствие значительной потери энергии на вращение и изменения направления струй скорость течения воды у берега за дамбой и несколько ниже по течению уменьшается. Размыв берега прекращается, и в пазухе между дамбой и берегом происходит отложение наносов. Для увеличения прочности и устойчивости продольной дамбы и повышения интенсивности отложения наносов в пазухе во время паводков, когда дамба обычно затопляется, устраивают траверсы (CD на рис. 4.6, а), связывающие дамбу с берегом.

При защите берега поперечными сооружениями (рис. 4.6, б), называемыми полузапрудами или шпорами, последние располагают так, чтобы их головы А лежали на плавной кривой в плане, а корни полузапруд заделывают в берега. Действие полузапруды выражается в том, то поток, сжатый ею, отклоняется от берега и затем снова приближается к нему в точке D. В зоне ABD образуются водовороты,

поглощающие часть энергии потока и увлекающие в нее часть донных наносов, размыв берега на участке  $BD$  прекращается. Следующую по течению полузапрудку располагают несколько выше точки  $D$  (в запас).

Положение точки  $D$  и, следовательно, расстояние между запрудками определяют углом растекания потока  $\alpha^\circ$ , примерно равным  $5...15^\circ$  (в среднем  $7...8^\circ$ ). Расстояние между полузапрудками принимают от трех до четырех длин. Практически расстояние  $BD$  следует определять наблюдениями над ранее построенными сооружениями в аналогичных условиях или над специальными опытными дамбами, а также путем проведения гидравлических опытов на моделях. Вместо полузапрудок можно устраивать сквозные сооружения, располагаемые у берегов.

Методы регулирования местной эрозии русла путем воздействия на поперечную циркуляцию потока были предложены А.И.Лосиевским и М.В.Потаповым. Метод А.И.Лосиевского заключается в воздействии на донные течения стенками, устанавливаемыми на дне реки под углом  $15...25^\circ$  к течению и представляющими собой донные водосливы высотой над дном  $0,5...0,8$  глубины потока (рис. 4.7). При этом гребень водослива снижается от корня  $A$  к голове стенки  $B$ . Благодаря этой «наносоуправляющей» стенке поверхностные струи отклоняются вправо (рис. 4.7) по течению, а донные идут влево. Непосредственно за стенкой донные струи вовлекаются в винтовое движение, образуемое за водосливом и направленное вдоль стенки к левому берегу. В результате частицы наносов ниже стенки выносятся к левому берегу в зону Л С, глубины у стержня увеличиваются. Опыт применения метода А.И.Лосиевского на ряде перекатов рек Оки, Волги и других оказался эффективным и привел к увеличению судоходных глубин.

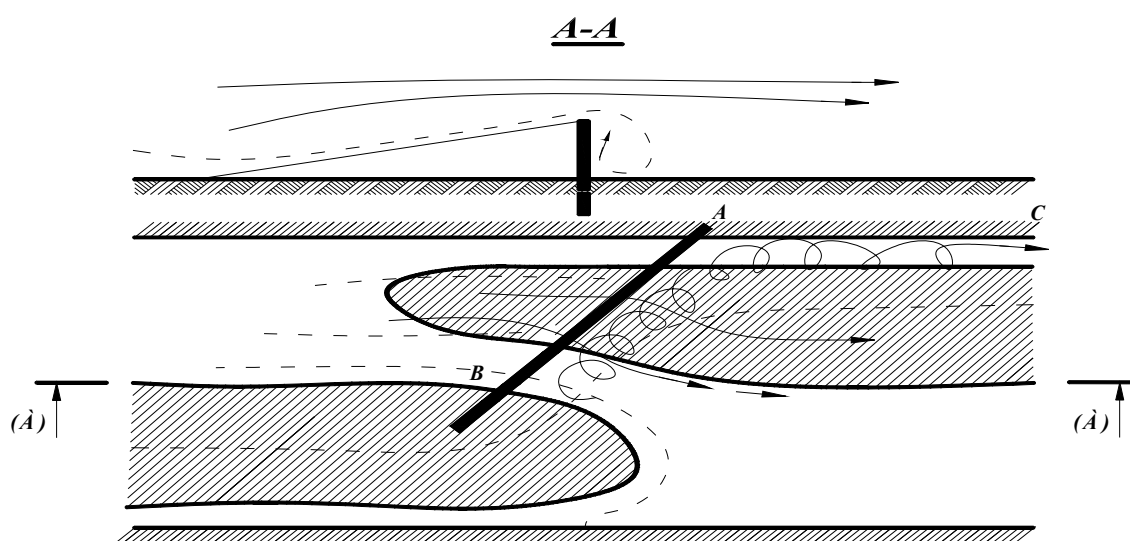


Рис.4.7. Схема действия наносоуправляющей стенки А.И.Лосиевского

Метод М.В.Потапова заключается в воздействии на режим поперечной циркуляции струи особыми направляющими щитами – плавучими или стационарными, поверхностными или донными с тем, чтобы изменить ее характер или вызвать ее там, где она будет полезной для борьбы с размывом русла или отложениями наносов. Механизм действия щитов М.В.Потапова можно видеть на рис. 4.8, а. Если в прямоугольном русле с параллельноструйным потоком поставить на плаву вертикальные щиты, наклоненные в плане под некоторым углом к оси потока, а на дне установить аналогичные щиты, но направленные в другую сторону, то в русле будет создано винтовое движение (поперечная циркуляция). Так как поверхностные струи (рис. 4.8, а) направлены к правому берегу, то у этого берега вскоре происходят углубление и размыв, а у левого – намыв и отложение наносов. Для достижения того же эффекта достаточно одних поверхностных (плавучих) или одних донных щитов. Первые на практике удобнее. Простейшая их конструкция показана на рис. 4.8, б, более сложные системы полых щитов, имеющих в плане форму сегментов (рис. 4.8, в), выполняются из стали и с помощью балласта опускаются на желаемую глубину. На плаву под нужным углом к потоку они удерживаются тросами.

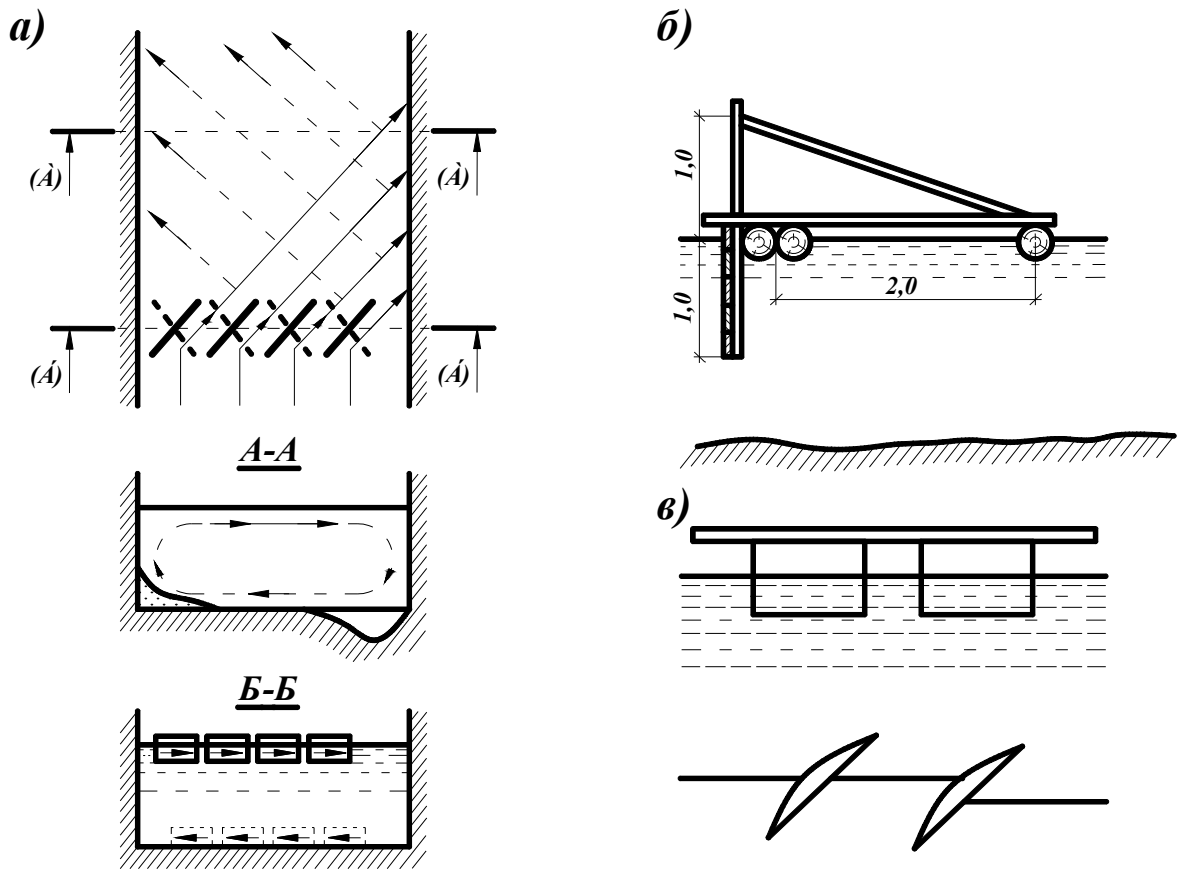


Рис. 4.8. Принцип действия щитов М.В.Потапова:  
 а – возбуждение поперечной циркуляции щитами; б – простейшая конструкция щита; в – сегментные щиты

С помощью щитов М.В.Потапова можно

- защищать размываемые участки берега, устанавливая щиты так, чтобы поверхностные струи направлялись к неразрываемому берегу, а донные — к размываемому, у которого будут накапливаться отложения;
- смывать отложения в местах, где они скопились и нежелательны (например, вблизи водозаборных устройств), для чего к этим местам должны направляться поверхностные струи потока.

#### 4.4. Защита прибрежных земель от затопления

##### 4.4.1. Методы защиты прибрежных земель от затопления паводками

Затопления прибрежных речных земель можно избежать, устраивая регуляционные сооружения и снижая уровень паводковых вод путем повышения пропускной способности русла или зарегулирования стока реки водохранилищами. Последний метод здесь не рассматривается.

Различают следующие регуляционные методы защиты:

- 1) обвалование, т.е. ограждение затопляемых земель валами (земляными дамбами);
- 2) устройство обводных или разгружающих русел (каналов), благодаря которым расходы воды, а, следовательно, и уровни воды в главном русле, снижаются до безопасных отметок;
- 3) подсыпка и повышение территорий, подверженных затоплению. Второй и особенно третий методы дороги и экономически оправдываются лишь для защиты небольших и очень ценных территорий (промышленных предприятий, городов).

Метод обвалования более распространен и используется для защиты значительных территорий, иногда в комбинации с другими методами (например, обвалование территории от подтопления в результате строительства Чебоксарского гидроузла).

##### 4.4.2. Обвалование земель

Обвалование земель речной поймы показано на рис. 4.9, где линии *AFEG* и *KVU* показывают границы поймы, затопляемой в паводок. Участок *ABCDEF* обвалован замкнутым валом *ABODE*, а участок *KLMNPTUVK* — незамкнутым валом *KLMNPS*, и в паводок вода заходит за вал до линии *PT* по горизонтали, соответствующей уровню воды в реке в конце вала 5 (заштрихованная площадь не затопляется).

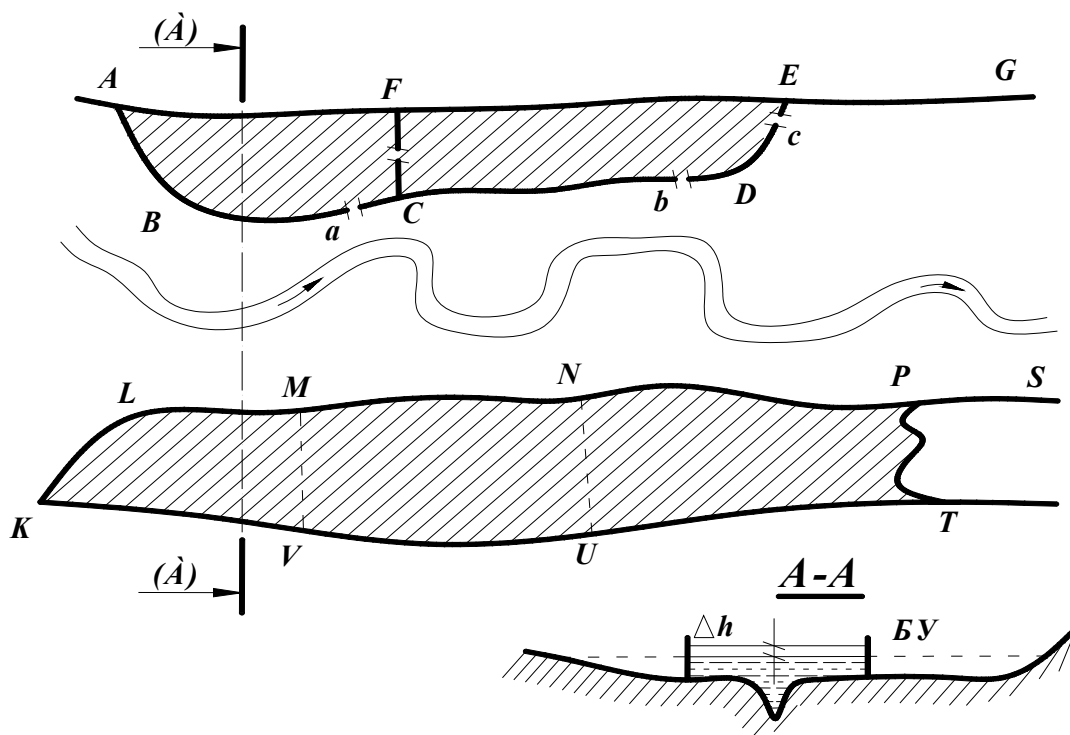


Рис. 4.9. Схема обваловывания речной поймы

Возведение незамкнутых валов целесообразно на реках с большими уклонами и широкими поймами; дождевые и снеговые воды, собирающиеся на огражденной площади, стекают свободно. При замкнутых валах во время паводка местный сток задерживается в низинах обвалованной площади и для выпуска его в реку делаются отверстия в валах, открываемые лишь после спада паводка (на рис. 4.9, точки *a*, *c*). На случай прорыва главных валов для локализации затопления устраивают поперечные валы — траверсы *CF*, *MV*, *NU* с отверстиями, перекрываемыми затворами.

При назначении площадей, подлежащих обвалованию, следует учитывать, что стеснение русла и уменьшение аккумулирующего объема поймы приводят к некоторому поднятию паводковых уровней на выше- и нижележащих участках, что может вызвать значительные непредусмотренные ущербы. В связи с этим в некоторых густонаселенных странах законодательным путем запрещается постройка фундаментальных зданий и обвалование на низких участках поймы (затопляемых паводком 1–5 %-й обеспеченности). Пролетные отверстия мостов, располагаемые, например, на этих участках, должны пропускать такие паводки. Вопрос о назначении площади обвалования сложный и требует специального технико-экономического обоснования.

## Вопросы для самопроверки

1. Что называется регулированием речного русла?
2. Воздействие каких факторов приводит к эрозии склонов бассейна реки?
3. Какие существуют методы борьбы с размывом склонов бассейна?
4. Как можно уменьшить уклон склона?
5. Какие условия способствуют формированию (созреванию) селя?
6. В чём состоит отрицательное воздействие оврагов?
7. Какие существуют мероприятия по защите от оврагов?
8. Какие защитные гидротехнические сооружения применяют при борьбе с оврагами?
9. В каких случаях целесообразно устройство противоэрозионных прудов?
10. Что такое «зарегулированное русло» реки? Равновесие каких процессов на всем протяжении реки в нём будет достигнуто?
11. Может ли способствовать продвижению наносов на участках реки концентрация потоков, увеличение глубин и уклонов?
12. Можно ли достигнуть повышения глубины русла ограничением его ширины?
13. С помощью установки каких сооружений достигают сужения русла?
14. С помощью устройства каких сооружений достигают уменьшения размывающей силы потока путем отклонения струй от зоны размыва?
15. В чём суть методов регулирования местной эрозии русла, предложенных А.И.Лосиевским и М.В.Потаповым?
16. Что представляют собой направляющие щиты М.В.Потапова?
17. Что представляют собой наносоуправляющие стенки А.И. Лосиевского?
18. Как достигается повышение сопротивляемости русла в зоне размыва?
19. Какие существуют методы защиты прибрежных земель от затопления паводками?
20. В каких случаях прибегают к обваловыванию земель?



## 5. РЕГУЛЯЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

### 5.1. Особенности конструкций выправительных сооружений и материалы для них

#### 5.1.1. Основные материалы для регуляционных работ

Регуляционные сооружения имеют значительную протяженность и требуют большого количества материалов. Поэтому их возводят из наиболее дешевых местных материалов.

Для регуляционных работ применяют следующие материалы:

1) камень, окатанный или рваный всех пород, за исключением весьма пористых известняков, слабых песчаников, легкоразрушающихся в воде и при действии мороза. Для наружных частей набросок или одежд необходим камень в поперечнике не менее 25–30 см (массой 30–50 кг) во избежание уноса при ледоходе;

2) щебень, галька и гравий тех же пород, что и камень;

3) песок, песчано-глинистые и глинистые грунты, идущие во внутренние части сооружений;

4) дерево, применяемое в виде лапника (еловые ветки), прутьев, хвороста, деревьев, кольев, досок, горбылей, свай. Хворост используют преимущественно ивовых пород, свежесрубленный, лучше осенней рубки, толщиной в комле до 4 см и длиной 1,5–2,5 м;

5) растительные материалы — высеваемые травы, дерн, мох, камыш;

6) металл, употребляемый, главным образом в виде оцинкованной проволоки диаметром 2–5 мм, троса, гвоздей, болтов, анкеров, скоб.

#### 5.1.2. Составные материалы и элементы регуляционных сооружений

*Фашины* (рис. 5.1) представляют собой пучки хвороста, перевязанные вицами (тонкий свежесрубленный хворост и прутья, служащие вязочным материалом) или мягкой проволокой диаметром 2–3 мм. Следует отметить, что изготовление фашин связано с большими затратами ручного труда и практически не поддается механизации, поэтому подобные составные материалы в настоящее время применяют все реже. Однако при проведении ограниченных по объекту регуляционных работ могут использоваться различные составные материалы, приведенные ниже.

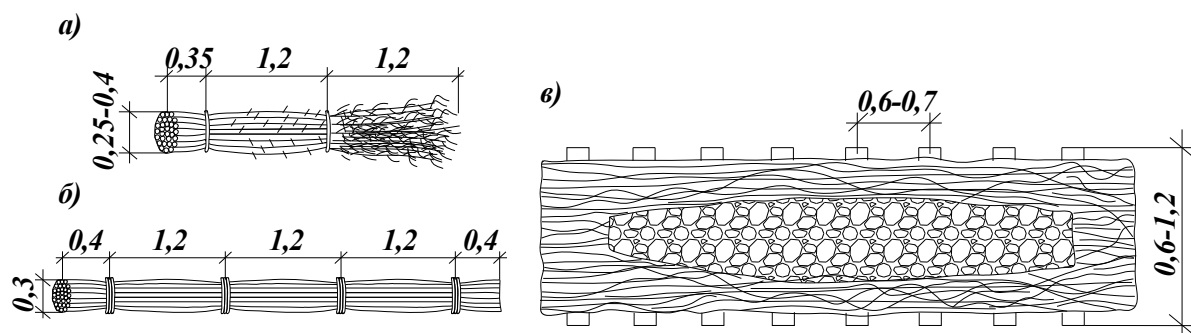


Рис.5.1. Фашина:  
а – однокомельковая; б – двухкомельковая; в – тяжелая (груженная)

*Карабуры* – видоизменение тяжелых фашин. Применяются карабуры на реках Средней Азии. Их делают из слоя хвороста и соломы или камыша, пригруженного галькой, камнем или землей, свертывают в виде рулона и перевязывают проволокой.

*Хворостяные тюфяки* вяжут из слоев хвороста, направленных перпендикулярно один к другому. Хворост скрепляют сверху и снизу сетками из прутьяных канатов (толщиной 10–13 см) с помощью веревок, проходящих сквозь тюфяк. Толщина хворостяных тюфяков 0,45–0,8 м.

*Фашинные тюфяки* отличаются от хворостяных тем, что вместо слоев хвороста укладывают слои фашин толщиной 0,7–1,5 м и более в зависимости от числа слоев фашин (минимально два). Размеры тюфяка в плане зависят от потребности, достигая иногда нескольких десятков метров. Для опускания тюфяков в воду их пригружают камнем, щебнем или кулями с землей (примерно 0,1 м<sup>3</sup> камня на 1 м<sup>3</sup> тюфяка).

*Хворостяные покрывала*, или маты, представляют собой различные плетения из одного-двух рядов хвороста. При перевозке их скатывают в рулоны.

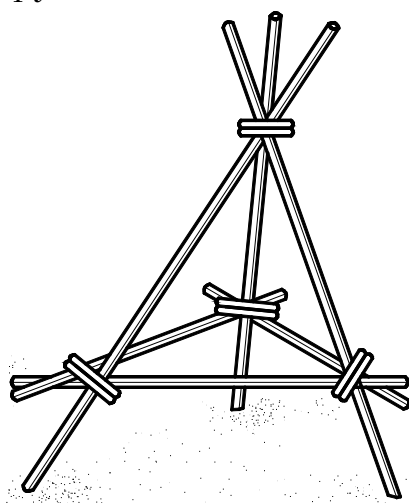


Рис. 5.2. Сипаи

*Путьяные корзины* (на Кавказе «туры») из ивовых прутьев имеют форму цилиндров, трехгранных призм или параллелепипедов. Корзины заполняют камнем и в таком виде опускают в воду.

*Сипаи* (применяют в Средней Азии) представляют собой трехногие и *чарпаи* – четырехногие козлы, загружаемые камнем и хворостом, иногда перекрываемые с одной из сторон плетневыми щитами. Под действием загрузки и размыва грунта козловые ноги погружаются в грунт дна (рис. 5.2), чем обеспечивается большая устойчивость сипайного сооружения.

*Проволочные сетки и сетчатые конструкции* применяют для различных покрытий, ограждений и образования сетчатых сооружений. Сетки плетут из оцинкованной проволоки диаметром 2 – 4 мм с ячейками размером 10 – 17 мм, чаще 60 – 120 мм, в зависимости от крупности загружаемого в них камня (обычно галька) или покрываемого ими грунта. В последнее время для задержания крупных наносов, топляков и т. п. на реках, а также борьбы с селями начали применять высокопрочные сети из стальных тросов.

*Габионы* представляют собой ящики-параллелепипеды (высотой 1 м, шириной 1–1,5 м, длиной 3–5 м) с сетчатыми стенками (рис. 5.3), собираемые из отдельных частей на месте постройки и заполняемые галькой и камнем.

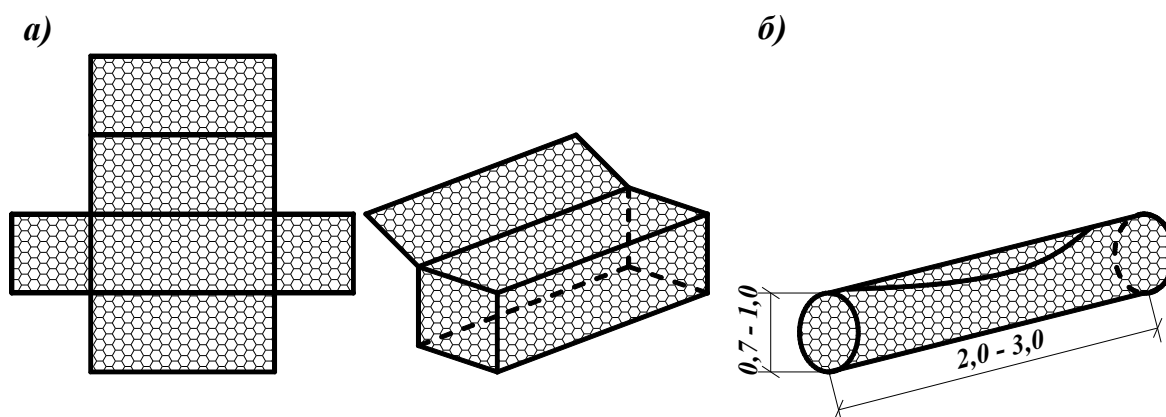


Рис. 5.3. Сетчатые конструкции:  
а – габион в развёрнутом и собранном виде; б – цилиндр

*Габионные тюфяки* отличаются от габионов небольшой высотой (0,4-0,5 м) при размерах в плане 2×3 – 3×4 м. Сетчатые цилиндры и мешки нагружают камнем на подмостях и затем сбрасывают в воду.

### 5.1.3. Основные требования, предъявляемые к регуляционным сооружениям

Конструкции регуляционных сооружений

- должны обладать достаточной сопротивляемостью размыву и разрушению водой, льдом, ударами крупных наносов;
- быть устойчивыми против сдвига или опрокидывания под напором воды;
- обладать гибкостью, позволяющей им приспосабливаться к различным деформациям основания без нарушения прочности сооружения;
- способностью выполнять заданные им функции;

– с производственной стороны конструкции должны легко возводиться и ремонтироваться.

Сопrotивляемость размыву характеризуется или допускаемой влекущей силой  $S = Qghl$ , или допускаемой скоростью течения  $v$ . Гибкость конструкций обеспечивается укладкой материала в сооружениях отдельными блоками (камни, габионы, фашины, тюфяки), так что конструкция легко деформируется в случае подмыва основания и заполняет собой образовавшиеся вымоины. Устройство монолитных сооружений в подобных условиях нецелесообразно и даже вредно, так как они при деформациях русла разламываются на отдельные глыбы и перестают выполнять свою роль, создавая новые причины для ухудшения состояния русла.

## 5.2. Конструкция берегоукрепительных одежд

Тип крепления выбирают в зависимости от:

- 1) ожидаемых воздействий потока на берег, т.е. значений  $S$  или  $v$ ;
- 2) местных материалов;
- 3) формы берегов и вида грунта, их слагающего;
- 4) результатов экономического сопоставления различных вариантов решения.

В зоне выше меженного уровня воды в реке, которая покрывается водой только в паводки, простейшим креплением может быть *посев трав* ( $S=10$  Па). Сорты трав подбираются по местным климатическим и почвенным условиям. На песчаных берегах предварительно отсыпается слой (в 12–15 см) растительной земли.

Более прочным является *покрытие берегового откоса дерном* ( $S = 10...20$  Па), плитки которого укладываются плашмя, «пришиваются» кольями или металлическими сетками при скоростях течений  $v < 0,8...1,1$  м/с или «в стенку» — при скоростях  $v = 1,7...2$  м/с.

На пологих песчаных берегах применяют посадки *свежесрубленной ивы (белотал, верболоз) рядами, бороздами или гнездами*. Сопrotивляемость их размыву вначале составляет  $S = 20...30$  Па, а после разрастания — до 50 Па. Вместо посадки ивы можно применять хворостяную выстилку — слой хвороста толщиной 15–20 см, «пришиваемый» к берегу прутяными канатами и кольями и выдерживающий  $v = 1,5...1,9$  м/с; это крепление долговечно после прорастания.

Более прочным, но в то же время простым креплением являются *вертикальные плетни*, косо направленные к течению параллельными или пересекающимися (в клетку) рядами, которые, прорастая, выдерживают  $S = 50$  Па, а при заполнении плетневых клеток галькой

или камнем — до 100...120 Па и более. Размеры клеток — 0,7...2 м, откос — не круче 1:1...1:1,5, под галечниковое или каменное заполнение клеток толщиной 0,2...0,4 м подстиляется слой щебня и гравия. Растительные крепления применяют там, где на месте имеются необходимые материалы.

*Каменное мощение* одиночное ( $S = 80...160$  Па,  $v = 2...3$  м/с) или двойное ( $S$  до 240 Па,  $v = 3...4$  м/с) применяют для крепления как надводных, так и подводных частей берегов (если они освобождаются временно от воды).

*Фашинные крепления* подводных частей берега выполняют в виде фашинных тюфяков, пригруженных камнем, или кулями с землей, а также погружаемой фашинной кладки или тяжелых (груженых) фашин (рис. 5.4) и карабур. Возможны и комбинированные крепления из тюфяков и фашинной кладки (при глубинах более 1,5 м), из тюфяков и тяжелых фашин и т.п. Фашинные крепления применяют на равнинных реках с  $S = 30...70$  Па и  $v$  до 3 м/с.

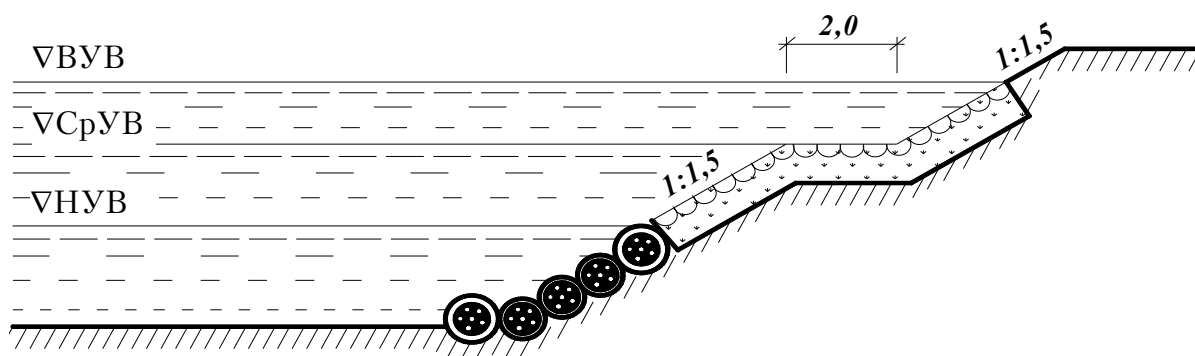


Рис. 5.4. Фашинное крепление берега

При больших скоростях течения на горных реках используют более тяжелые *хворостяно-каменные крепления*. Они представляют собой кладку из перемежающихся горизонтальных рядов камня и хворостяных слоев (в Средней Азии слоев камыша) или камня и фашин, огражденную или продольными плетнями на сваях, или свайными рядами (рис. 5.5). Сопротивляемость этих креплений  $S$  составляет до 80 Па.

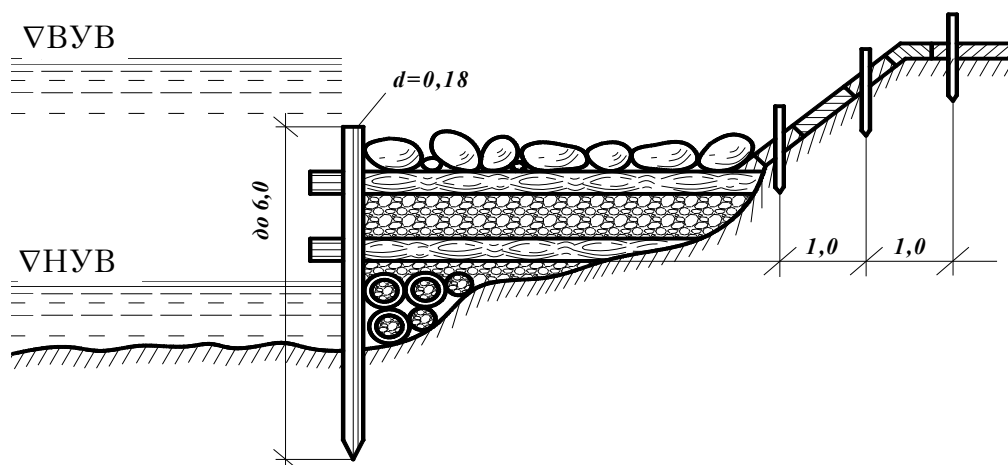


Рис. 5.5. Фашинно-каменное крепление

Каменные подводные береговые крепления делают в виде *наброски камня* (откос не круче 1:1) непосредственно на грунт дна (рис. 5.6, *а*) или на предварительно уложенный тюфяк, защищающий крепление от подмыва (рис. 5.6, *б*). При недостатке крупного камня внутреннюю часть конструкции отсыпают из мелкого камня или из щебня и гравия под защитой постепенно возводимых наружных каменных призм (рис. 5.6, *б*). Отсыпaeмый мелкий грунт целесообразно прикрывать тяжелыми фашинами для лучшей защиты от вымывания его водой (рис. 5.6, *в*).

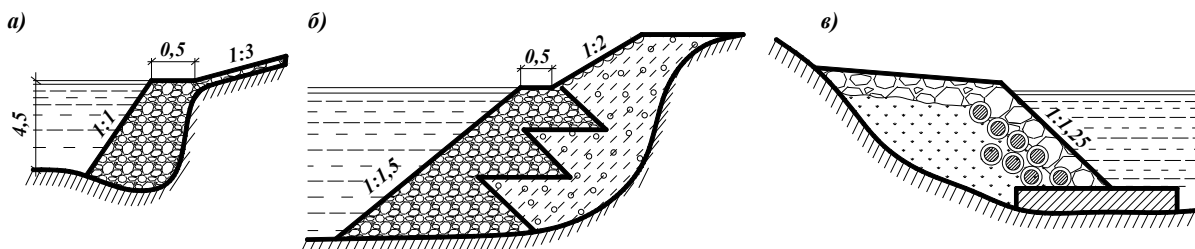


Рис. 5.6. Каменные береговые крепления:  
а – каменное; б – каменно-земляное; в – каменно-фашинное

*Покрытие габрионными тюфяками* (рис. 5.7, *а*) в основании имеет упор из габрионов или же тюфяк продолжается и в пологой части дна ( $S = 80...160 \text{ Па}$ ,  $v = 5 \text{ м/с}$ ). Более надежное ( $S = 160...200 \text{ Па}$ ) крепление делают из габрионов, образующих стенку (рис. 5.7, *б*), пазуха между которой и откосом берега заполняется наносами, откладываемыми постепенно самим потоком во время паводка, или грунтом искусственным путем.

*Гибкие железобетонные покрытия* в последние годы широко используют для защиты берегов. Они имеют различные конструктивные исполнения и применяются при скоростях течения до 2,5–5 м/с, а в отдельных случаях до 7 м/с.

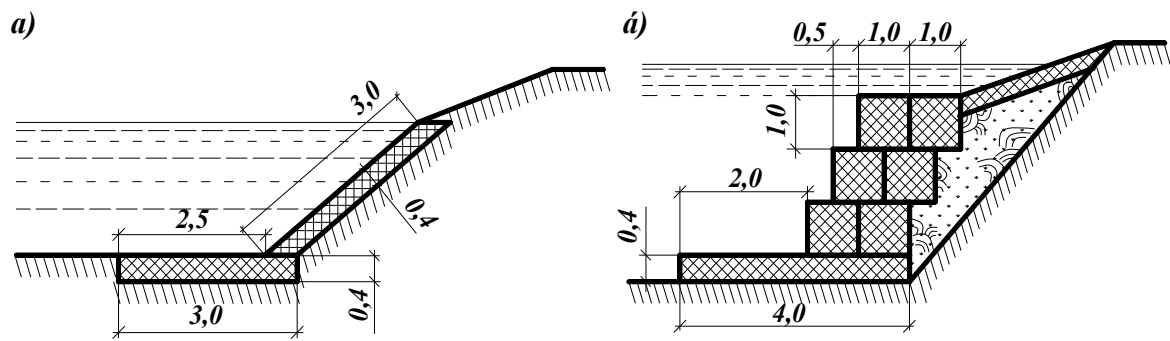


Рис. 5.7. Габийные берегоукрепления:  
а – габийными тюфяками; б – комбинированное

Гибкие железобетонные решетки (рис. 5.8, а) собирают на месте из отдельных гибких гирлянд способом плетения. Шаг ячеек в решетке равен примерно 0,4–0,8 м. Ячейки решетки могут оставаться без заполнения или заполняться горной массой, щебнем, галькой, растительным грунтом. Иногда решетку укладывают на подстилающий ковер толщиной 3 мм, изготовляемый из гидростеклоизола и других материалов. Железобетонные гирлянды длиной 3–7,5 м каждая и сечением 5×5–12×20 см выполняют гибкими путем устройства в гирлянде шарниров с шагом, равным шагу ячейки собираемой решетки (рис. 5.8, б). Шарнир (рис. 5.8, в) представляет собой участок арматуры длиной 10 см, покрытый полиэтиленом толщиной 2 мм. Гирлянды изготовляют в заводских условиях и транспортируют пакетами по 8 шт. на строительную площадку. Масса гирлянды может составлять 0,03–0,3 т. Такое покрытие является весьма экономичным.

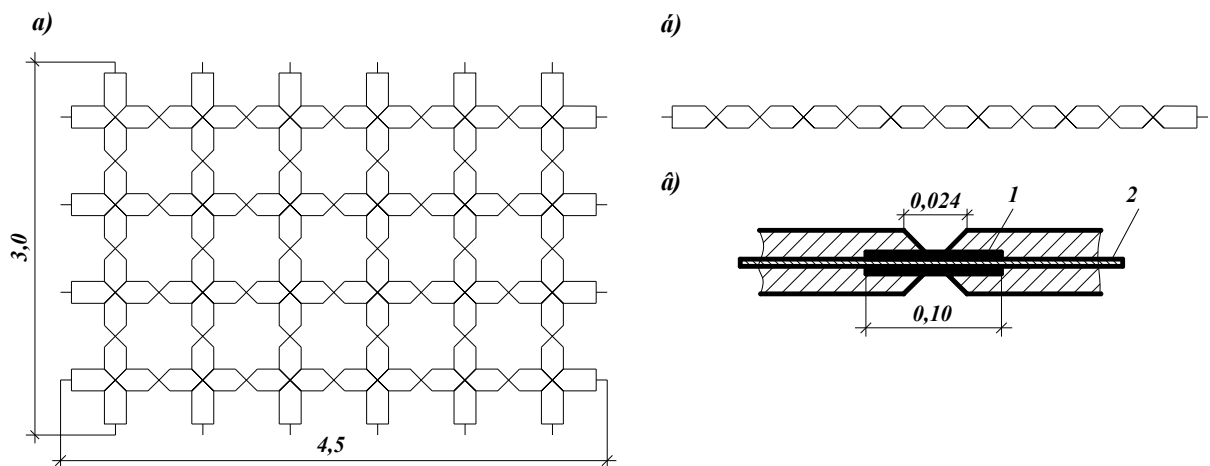


Рис. 5.8. Гибкие железобетонные решётки:  
а – решётка; б – гирлянда; в – шарнир;  
1 – полиэтиленовая оболочка; 2 – арматурный стержень

Сплошные гибкие железобетонные тюфяки состоят из квадратных, прямоугольных, двутавровых и иных форм плиток толщиной 8–15 см,

связанных между собой арматурной проволокой диаметром 5–6 мм, со швами 2–2,5 см. Плитки размером 40–100 см иногда объединяют в секции до 20–25 шт., которые перевозят скатанными в рулоны. Более крупные и тяжелые плиты соединяют на месте. Тюфяки укладывают на подстилку из гравия по спланированному откосу механизированным способом. Большим достоинством сборных покрытий является возможность использования их для укрепления подводной части берегов. Для этого железобетонный тюфяк, разостланный на сухом откосе, укладывают на подводный участок либо краном, либо сматывают его непосредственно на месте укладки с барабана. На рис. 5.9 приведен пример облицовки, выполненной из гибких железобетонных тюфяков.

*Асфальтовые и асфальтобетонные защитные покрытия* применяют при скоростях потока до 2 м/с. Они обладают высокой деформативностью (гибкостью), просты в эксплуатации, имеют сравнительно невысокую стоимость и не трудоемки. Эти покрытия устраивают монолитными и сборными. Перед укладкой монолитного покрытия откос планируют, протравливают (во избежание прорастания) ядохимикатами и уплотняют до пористости 35–40 %. Для увеличения несущей способности откоса в него втрамбовывают щебень, затем производят розлив битумных материалов автогудронаторами. Возможно устройство армированного асфальтового покрытия (два слоя битума с прокладкой между ними арматурной сетки).

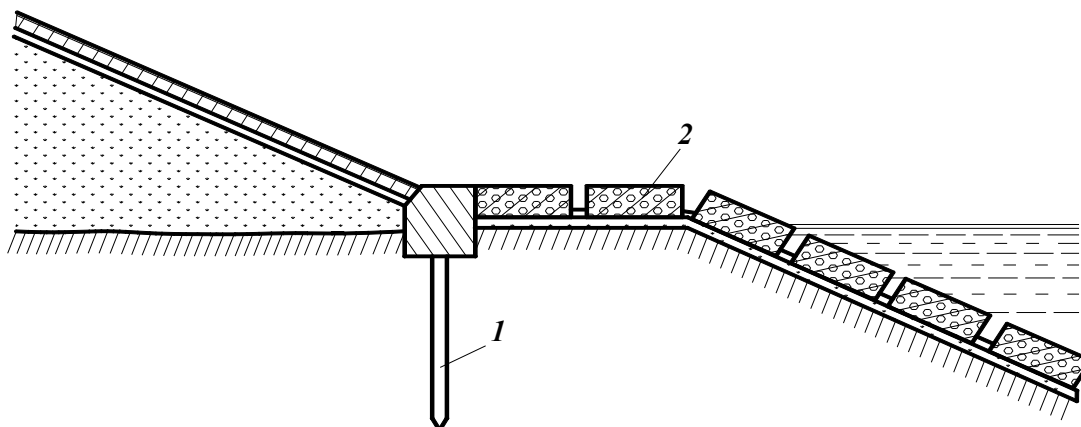


Рис. 5.9. Одежда из гибких железобетонных тюфяков:  
1 – сваи; 2 – гибкий железобетонный тюфяк

*Асфальтовые покрытия из сборных элементов* предназначены для крепления подводных частей откосов. Такое покрытие конструктивно не отличается от монолитного и состоит из двух слоев асфальта или асфальтобетона, между которыми расположена арматурная сетка, воспринимающая все усилия. Общая толщина покрытия равна 5–10 см.



Асфальтобетонное покрытие может быть изготовлено по одной из следующих технологических схем:

1) сборные плиты размером до  $15\text{ м}^2$  изготавливают в металлических формах на асфальтобетонном заводе, складывают в штабеля и транспортируют к месту монтажа. Готовые плиты краном укладывают на место;

2) асфальтобетонное покрытие изготавливают отдельными секциями размером до  $50\text{ м}^2$  на стенде, непосредственно у уреза воды. Секции одну за другой наматывают на барабан. Укладка покрытия на место производится путем сматывания его с барабана (рис. 5.10).

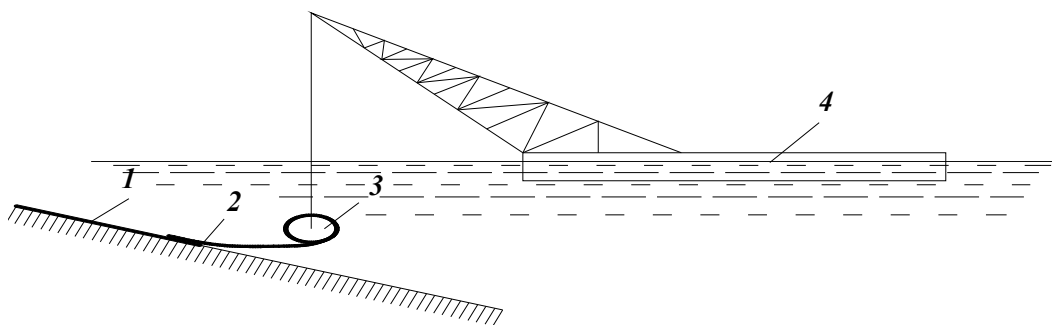


Рис. 5.10. Укладка на откос сборного асфальтобетонного покрытия с барабана:

1, 2 – асфальтобетонные тюфяки; 3 – барабан; 4 – плавучий кран

Отдельные плиты (маты) должны перекрывать одна другую на 1–3 м. Выше уреза воды их крепят к анкерам — сваями, забитыми в грунт на глубину 1,5–2 м. Речной конец карты должен быть утяжелен бетонными брусками сечением  $20 \times 20$  см.

Асфальтовые покрытия из сборных элементов являются высокоиндустриальным, экономичным типом крепления откосов.

Наиболее прочными креплениями, имеющими сопротивляемость 5 до  $1000\text{ Па}$  ( $10\text{ кгс/м}^2$ ) являются *сквозные бетонные и железобетонные конструкции*.

*Свайные железобетонные крепления* представляют собой ряды свай диаметром 150 мм, забитых в грунт на некотором расстоянии одна от другой (сквозность около 50 %). Иногда сваи являются лишь опорами для сборных железобетонных панелей, обладающих большой сквозностью.

*Ряжевые крепления* изготовляют сквозного типа из бревен или железобетонных элементов (рис. 5.11). Ряжи заполняют камнем, при этом верхний слой — особо крупным. Ряжевые крепления могут устраиваться и в надводных, и в подводных частях берегов. Они обладают достаточной подвижностью и прочностью. Однако деревянные

ряжи в условиях попеременного затопления и обнажения из-под воды загнивают.

На горных реках, где имеется крупный камень, применяют крепление берега стенками из сухой каменной кладки ( $S = 400 \dots 600$  Па).

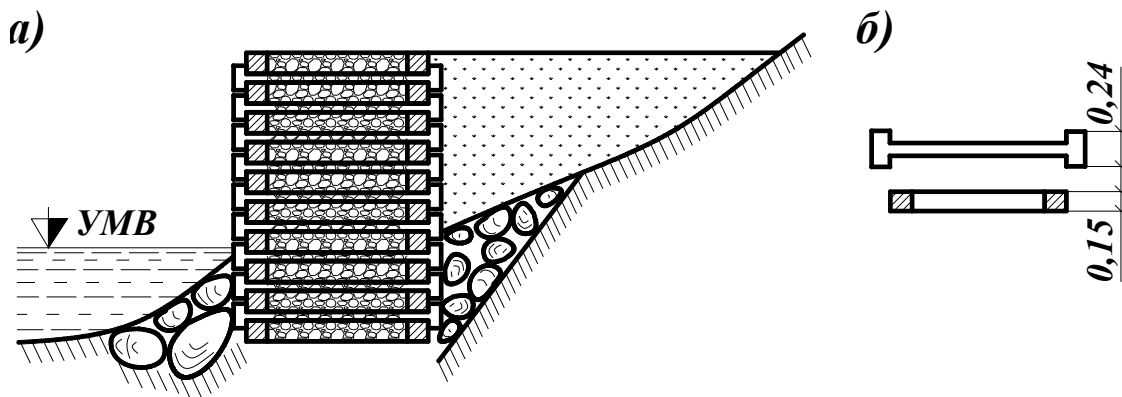


Рис. 5.11. Укрепление берега железобетонными ряжами:  
а – поперечный профиль; б – сечение элементов

Следует учитывать, что крепления из фашин растительных и других местных материалов весьма трудоемки и не допускают широкой механизации. В последнее время получают развитие сборные конструкции из железобетона и асфальтобетона, более экономичные и менее трудоемкие. Необходимо проводить технико-экономическое сопоставление новых конструкций с прежними (фашинными и др.) и выбирать оптимальные решения.

Тип крепления по высоте берега может меняться, например:

- выше уровня паводка может быть применен только посев трав;
- при часто повторяющихся уровнях – прорастающие хворостяные крепления или мощение и т. д.

Подводная часть крепления является наиболее ответственной, так как служит опорой всего лежащего выше крепления берегового откоса, одновременно подвергаясь наибольшему размывающему воздействию потока. Почти во всех случаях целесообразно, а при легко размываемых грунтах обязательно в основании крепления выпускать в сторону реки туюфяки и другие гибкие покрытия.

При разбивке берегоукрепления необходимо придавать ему плавное очертание в плане во избежание резкого воздействия потока на выступающие части крепления и плавно же, без выступов, сопрягать его с берегами.

### 5.3. Конструкции сооружений, регулирующих эрозию

#### 5.3.1. Сетчатые запруды, выполняемые из стальных канатов

Сетчатые запруды, выполняемые из стальных канатов, применяют для задержки твердой составляющей селевых потоков. Конструкция такой запруды (рис. 5.12) состоит из двух сеток, прикрепляемых к бортам и дну ущелья. Сетка I селереза, которая принимает на себя первый удар селя, частично разрушает его связность и притормаживает твердую фракцию. Вторая сетка называется заградительной. До прихода селя она находится в положении II. В пространстве между селерезной и заградительной сетками при прохождении селя начинается интенсивное выпадение твердой фракции. В результате этого заградительная сетка принимает положение II'.

Аналогичные конструкции применяют иногда для задержания крупных донных наносов. Они особенно эффективны в тех случаях, когда невозможна забивка свай. Тогда через реку протягивают стальной канат и к нему подвешивают заграждение, которое состоит из вертикальных стержней. На них крепится стальная сетка.

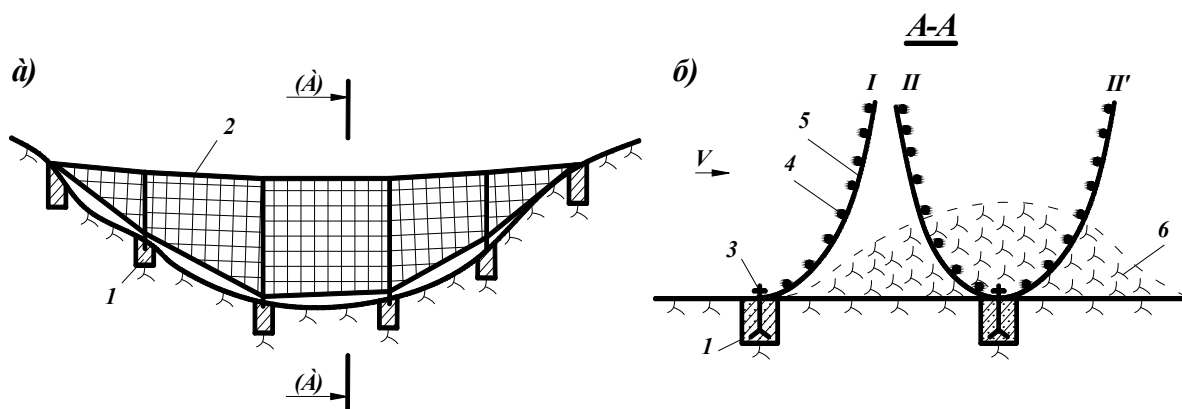


Рис. 5.12. Гибкая сетчатая запруда:

- а, б – подвеска запруды, состоящей из селереза I и заградительной сетки II;  
II' – положение заградительной сетки после прохождения селя;  
1 – анкерная опора; 2 – сетка из тросов; 3 – анкерный борт;  
4 и 5 – продольные и поперечные тросы; 6 – твердая фракция селя

#### 5.3.2. Сквозные железобетонные запруды

Сквозные железобетонные запруды-селеуловители, представляют собой накладные решетки, опирающиеся на рамы, которые в свою очередь жестко связаны поперечными распорками. Образованная таким образом единая пространственная система, обладающая большой

сквозностью и жесткостью, позволяет перекрывать очень широкие русла на высоту до 30 – 50 м.

Сквозные запруды-селеуловители (рис. 5.13), можно собирать из геометрически неизменяемых равносторонних треугольников. Каждая сторона треугольника является железобетонной балкой с отверстиями по концам. Из таких балок образуются треугольники, которые и создают единую конструкцию. Они позволяют построить более 20 вариантов конструкций различной высоты и ориентации в плане.

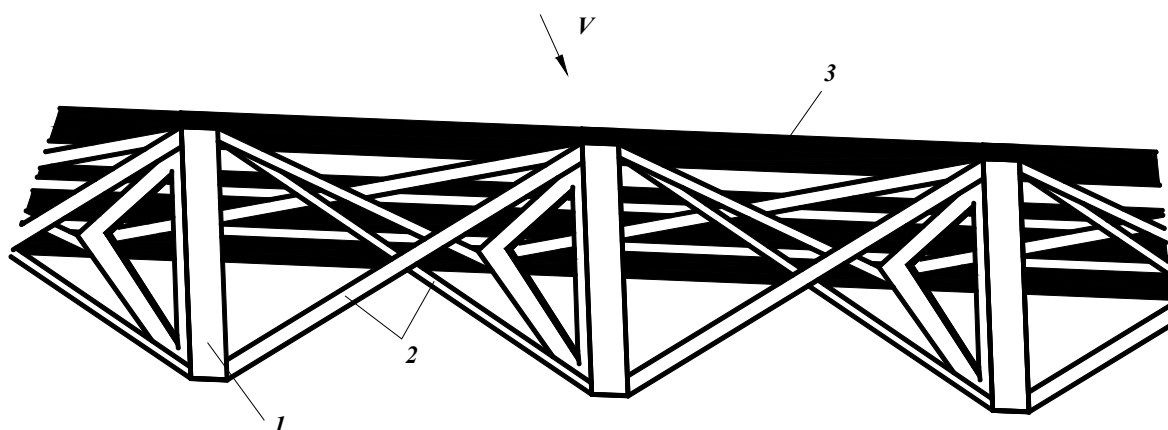


Рис. 5.13. Сквозные запруды-селеуловители:  
1 – треугольные рамы; 2 – поперечные распорки;  
3 – сквозные решетки напорного покрытия

За рубежом для регулирования селевых потоков широко применяют запруды небольшой высоты (до 5–6 м), выполняемые из металлического шпунта.

### 5.3.3. Поперечные полузапруды

Поперечные полузапруды – это сооружения обычно трапециевидального сечения. С их помощью можно добиться увеличения транспортирующей способности потока, уменьшения глубин и прекращения отложения наносов. Чем ближе к голове, тем полузапруда подвергается более интенсивному воздействию воды, вследствие чего откосы ее становятся все более пологими (рис. 5.14, а), сама дамба уширяется, а ее голова закругляется и обязательно подстилается широким тюфяком.

Иногда голова заканчивается короткой продольной дамбочкой, так что буна в плане получает вид буквы *T*, что несколько смягчает воздействие потока на голову. Корни полузапруд прочно заделываются в берег не менее чем на 2–4 м. Гребень затопляемой буны должен быть хорошо укреплен против размыва, ударов льда и тому подобных воздействий. Гребень в продольном профиле делают с уклоном от берега 1:20...1:200 для направления переливающейся через него воды в сто-

рону русла и постепенного расширения живого сечения реки при подъеме уровня воды.

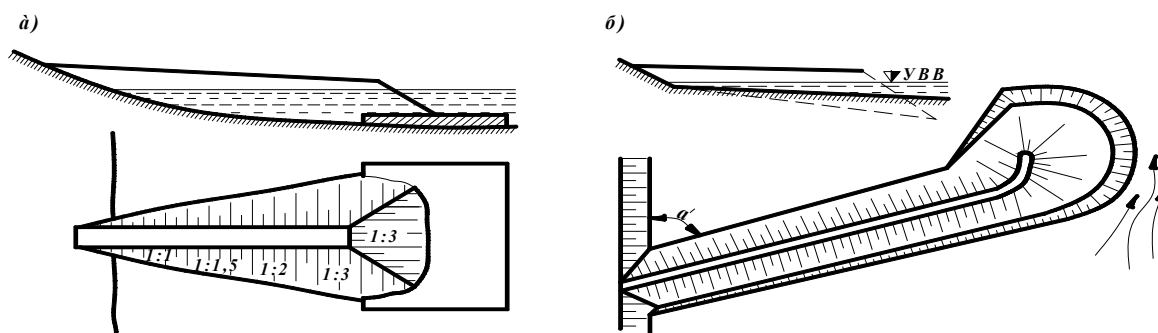


Рис. 5.14. Формы полузапруд:  
а – перпендикулярная берегу; б – расположенная под углом  $\alpha$  к берегу

Конструкции полузапруд выполняют из различных материалов. Поперечные сечения полузапруд могут иметь весьма разнообразные конструктивные исполнения. На рис. 5.15 показаны примеры конструкции каменно-фашинных, габионных, каменных и грунтово-каменных полузапруд.

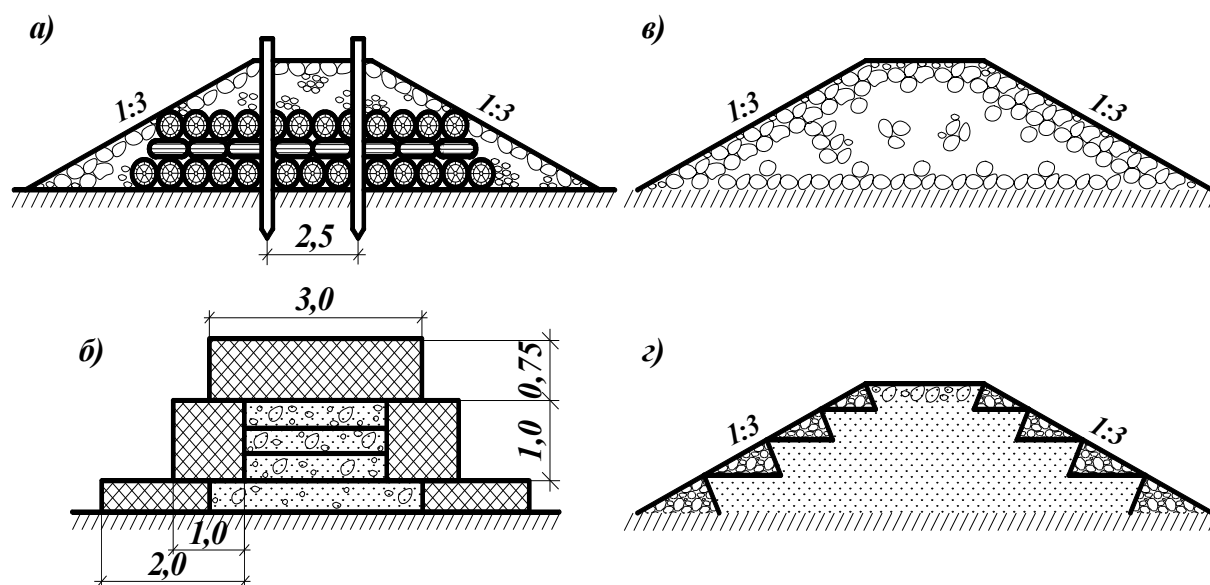


Рис. 5.15. Поперечные сечения полузапруд:  
а – каменно-фашинной; б – габионной; в – каменной; г – грунтово-каменной

Продольные направляющие дамбы действуют на поток мягче, чем поперечные, но вдоль них создается продольное течение с повышенными скоростями, которое может привести к размыву основания

дамбы и ее речного откоса. По конструкции продольные дамбы, в общем, мало отличаются от поперечных, но речному (обращенному к реке) откосу продольных дамб придают большую пологость и прочность, чем береговому. Основание дамбы с речной стороны защищают от размыва выдвиганием в реку тюфяка, отсыпкой камня, устройством донных полузапруд, коротких шпор и т. п. Продольные сооружения часто выполняют сквозными, из сборных железобетонных элементов или дерева (рис. 5.16). Конструктивно они похожи.

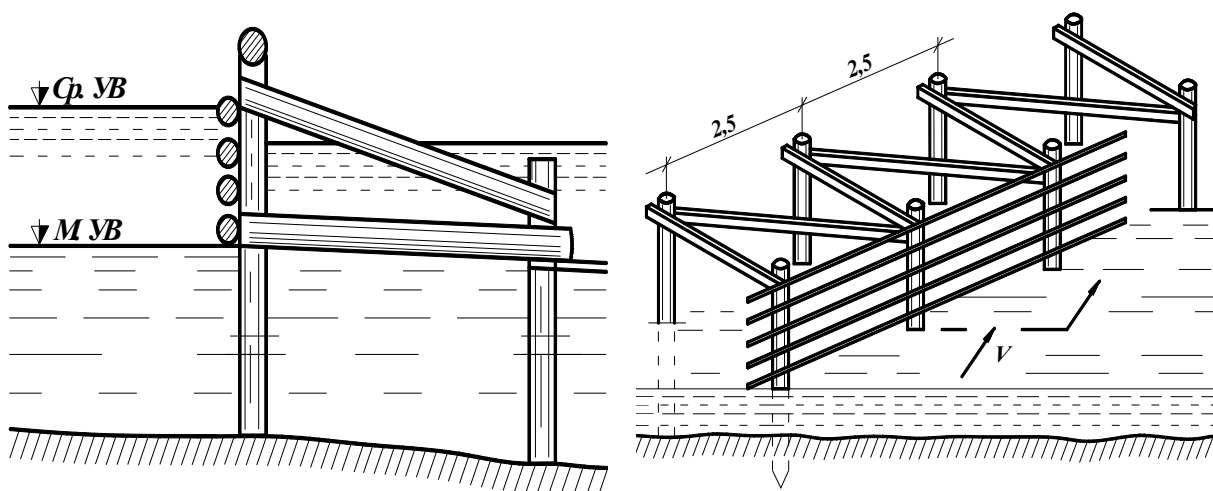


Рис. 5.16. Продольная сквозная берегозащитная конструкция из дерева

На рис. 5.17 показаны некоторые примеры плетнёво-хворостяных полузапруд. Т-образные плетни состоят из продольного щита, не достигающего до дна на 0,25–0,5 глубины, и поперечного, заплетаемого от нижнего края продольного щита до дна и составляющего с последним угол 45–90°. Эти плетни, как и другие сквозные сооружения, мягко воздействуют на поток, существенно влияют на его поперечную циркуляцию. За ними оседает часть наносов, благодаря чему пазухи между плетнями и берегом заносятся.

Оградительные валы или дамбы обвалования, ограждающие пойменные земли от затопления паводками, возводятся из имеющегося вблизи грунта. Они представляют собой земляные плотины, небольшой высоты. Эти дамбы, отличающиеся от русловых плотин тем, что удерживают напор лишь короткое время и имеют вдоль их напорного откоса течение воды. При высоте до 2–3 м валы имеют трапециевидальное сечение (рис. 5.18, а).

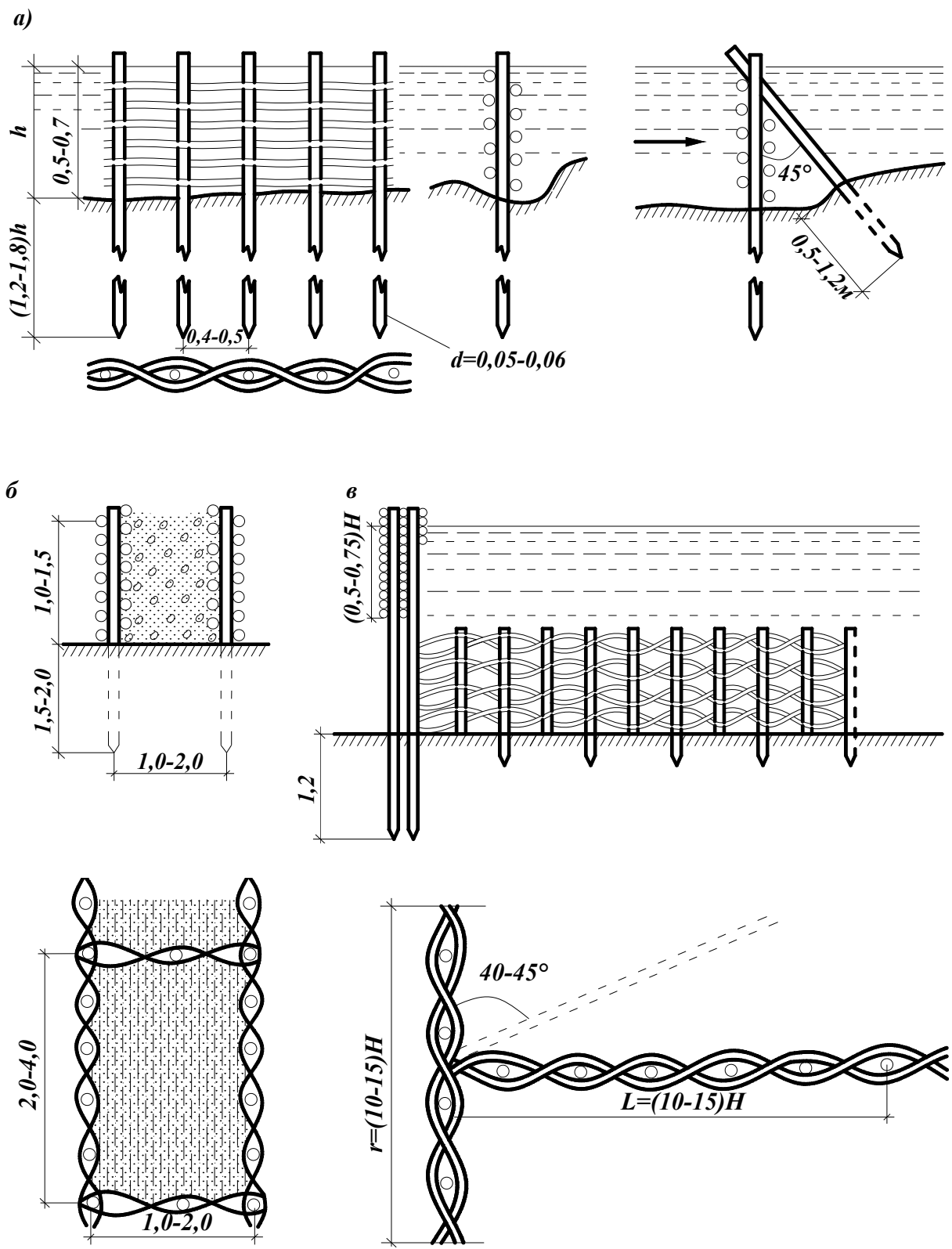


Рис. 5.17. Плетневые сооружения:

а – однорядный; б – двухрядный; в – Т-образный плетень

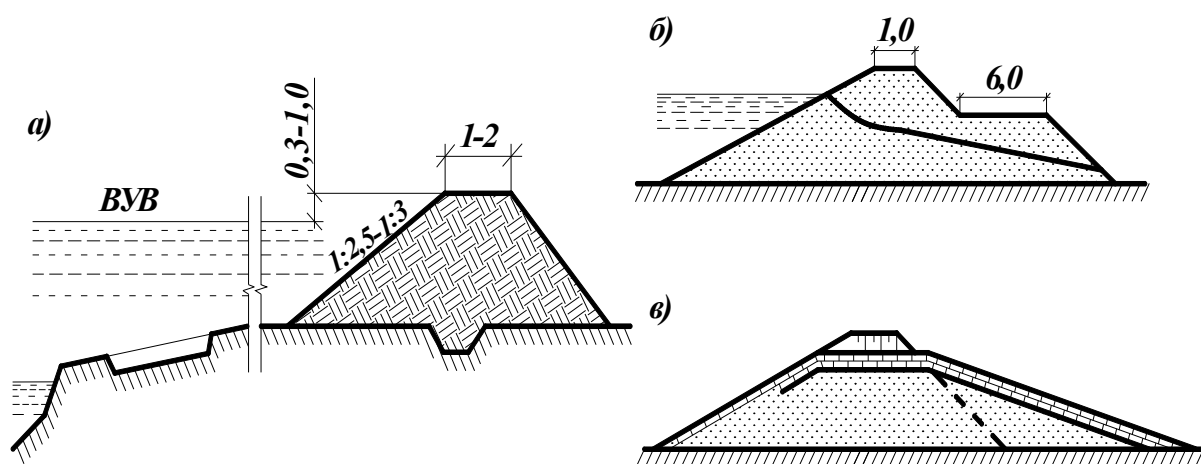


Рис. 5.18. Устройство дамб обвалования:  
 а – конструкция простой дамбы; б – дамба с дорогой;  
 в – простейший водослив в дамбе обвалования

Речной откос выполняют не круче  $1:2,5 \dots 1:3$ , а пойменный –  $1:2 \dots 1:1,5$ , хотя иногда делается таким же, как и речной, и даже положе ( $1:4$  на р. Куре). При большой высоте (рис. 5.18, б) вал имеет более сложный профиль. Для проезда по нему устраивается берма достаточной ширины. Летний вал, затопляемый весенним и незатопляемый летним (в период вегетации растений) паводками, представлен на рис. 5.18, в. Водослив вала укрепляется мощением и имеет пологий откос в сторону поймы.

Речной откос незатопляемых валов укрепляется дерном или посевом трав, а на вогнутых участках трассы – мощением. Во избежание разрушения вала волнобоем на широких реках перед ним целесообразно насадить полосу кустарника. Отверстия в валах для выпуска накопившейся воды делают в виде трубчатых водоспусков, которые снабжаются двумя затворами: речным и пойменным. Речной затвор выполняют в виде щита, подвешенного на горизонтальной оси и автоматически закрывающегося при прохождении паводка в реке. Пойменный затвор приводят в действие подъемниками.

За валами необходим тщательный надзор: малейшая обнаруженная фильтрация, ходы грызунов и трещины должны срочно ликвидироваться, иначе валу может угрожать прорыв. В период паводка на валах должна быть организована специальная служба, немедленно принимающая меры в случае аварии вала, непредвиденного повышения паводка и угрозы затопления вала или размыва его.



## Вопросы для самопроверки

1. Какие основные материалы используются для регулиционных работ?
2. Какие составные материалы применяют для регулиционных сооружений? Каким требованиям должны удовлетворять элементы регулиционных сооружений?
3. Как называют элементы регулиционных сооружений, представляющие собой пучки хвороста, перевязанные прутьями, служащими вязочным материалом, или мягкой проволокой?
4. Что представляют собой сипай и чарпай?
5. Как называют элементы регулиционных сооружений, представляющие собой ящики-параллелепипеды с сетчатыми стенками, собираемые из отдельных частей на месте постройки и заполняемые галькой и камнем?
6. Какие основные требования предъявляют к регулиционным сооружениям?
7. Какова область применения асфальтовых и асфальтобетонных защитных покрытий?
8. Каким простейшим креплением может быть защищена зона берега, расположенная выше меженного уровня воды в реке, которая покрывается водой только в паводки?
9. Когда можно использовать растительные крепления берегов? Какие посадки применяют на пологих песчаных берегах?
10. Какие виды защитных покрытий применяют для крепления как надводных, так и подводных частей берегов?
11. Какие виды фашинных креплений применяют для защиты подводных частей берега?
12. Следует ли проводить подготовку основания для каменных подводных береговых креплений?
13. Чем заполняют ячейки гибких железобетонных решеток берегового крепления?
14. Для каких целей применяют сетчатые запруды, выполняемые из стальных канатов?
15. Что представляют собой сквозные железобетонные запруды-селеуловители?
16. Как называют элементы полузапруд, которые заделываются в берег?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в пособии методы исследования водных источников процессов, протекающих в них под воздействием природных и антропогенных факторов; а также вопросы конструирования и расчета водоохраных сооружений отвечают действующим нормативным документам. Экологическое законодательство, регламентирующее вопросы эксплуатации водных объектов, является живым организмом, изменяющимся во времени. Методы реализации требований этого законодательства часто имеют технический характер. В связи с этим материалы, изложенные в настоящем пособии, требуют постоянной корректировки.

Например, экосистемы водных объектов сильно меняются под воздействием изменений в климате, состава очищенных сточных вод, антропогенного вмешательства. Особое место следует отвести совершенствованию технологий производства различных видов продукции, которое приводит к сокращению потребления воды; технологий очистки сточных вод и внедрению бессточных технологий промышленного водоснабжения.

Конструктивные решения защитных покрытий, сооружений и устройств используют часто новые конструкционные материалы. Опыт зарубежного водоохранного строительства находит широкое применение в российской практике.

Рамки пособия не позволили нам рассмотреть экономические, организационные и многие юридические вопросы эксплуатации водных объектов. Всё вышесказанное заставляет нас полагать, что эти вопросы найдут своё отражение при переиздании настоящего пособия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст]: учеб. издание / Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2009 – 760 с.
2. ГН 2.1.5.689-98. 2.1.5. Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водоёмов. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы [Текст].
3. ГН 2.1.5.690-98. 2.1.5. Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водоёмов. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы [Текст].
4. Дементьев, В.С. Эксплуатация и безопасность гидроузлов на малых реках [Текст]: учеб. пособие / В.С. Дементьев, С.В. Соболев, А.В. Февралёв, С.Д. Цымбалов – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2005. – 135 с.
5. Жукинский, В.Н. Критерии комплексной оценки качества поверхностных пресных вод [Текст] / В.Н. Жукинский [и др.] // Самоочищение и биоиндикация загрязнённых вод. – М.: Наука, 1980.
6. Классификация городских водных объектов [Текст]: учеб. пособие / В.В. Вомианик, А.А. Суздалева. – М.: АСВ, 2008.
7. Комплексное использование водных ресурсов [Текст] / С.В.Яковлев, И.Г. Губий, И.И. Павлинова. – М.: Высш. шк., 2008.
8. Константинов, В.М. Экологические основы природопользования [Текст] / В.М. Константинов, Ю.Б. Челидзе. – М.: Академия, 2001. – С. 58-76.
9. Охрана окружающей среды. Устойчивое развитие. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: терминологический словарь / М.И. Балзанников, Т.Я.Вавилова; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2005. – 288 с.
10. Рассказов, Л.Н. Гидротехнические сооружения. Ч.1 [Текст]: учебник для вузов / Л.Н. Рассказов [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 576 с.
11. Рассказов, Л.Н. Гидротехнические сооружения. Ч.2 [Текст]: учебник для вузов / Л.Н. Рассказов [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 528 с.
12. Российская Федерация. Законы. Водный кодекс Российской Федерации [Текст]: федер. закон РФ.
13. СанПиН 2.1.4.027-95. Федеральные санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы. 2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Зоны санитарной охраны санитарной охраны

источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения [Текст].

14. СанПиН 2.1.4.544-96. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников [Текст].

15. СанПиН 2.1.4.980-00 2.1.5. Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водоёмов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Текст].

16. СанПиН 3907-85. Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ [Текст].

17. Сиренко, Л.А. Биологически активные вещества водорослей и качество воды [Текст] / Л.А. Сиренко, В.Н. Козицкая. – Киев: Наукова думка, 1988. – 255 с.

18. Тамбиев, А.Х. Внеклеточные продукты цианобактерий и их биологическая активность [Текст] / А.Х. Тамбиев [и др.] // Самоочищение воды и миграция загрязнений по трофической цепи: сб. – М.: Наука, 1984. – С. 70-74.

19. Эксплуатация, реконструкция и охрана водных объектов в городе [Текст] / И.Г. Бойкова. – М.: АСВ, 2008.

20. Руководство по биотехнике разведения и выращивания Дальневосточных растительноядных рыб [Текст]. – М., 2000. – 211 с.

21. Вундцеттель, М.Ф. Проблемы воспроизводства растительноядных рыб, их роль в аквакультуре [Текст]: материалы докладов / М.Ф. Вундцеттель, Е.А. Мельченков, Д.А. Панов. – Адлер, 2000. – С. 67-68.

22. Кудерский, Л.А. Проблемы воспроизводства растительноядных рыб, их роль в аквакультуре: материалы докладов / Л.А. Кудерский. – Адлер, 2000. – С. 91-93.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	9
1.1. Цель и задачи эксплуатации водных объектов.....	9
1.2. Виды водных объектов.....	14
Вопросы для самопроверки.....	16
2. ПРИБРЕЖНЫЕ ВОДООХРАННЫЕ ЗОНЫ.....	18
2.1. Назначение водоохранных зон. Режим хозяйствования.....	18
2.2. Прибрежные лесозащитные полосы.....	22
2.2.1. Назначение, размеры, дополнительные ограничения хозяйственной деятельности.....	22
2.2.2. Лесомелиорация рек.....	23
2.2.3. Лесомелиорации полевых прудов.....	25
2.2.4. Лесомелиорации водохранилищ.....	25
Вопросы для самопроверки.....	26
3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАНЕНИЮ И ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЧИСТОТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	28
3.1. Нормирование качества природных вод.....	28
3.2. Явление цветения воды и евтрофирование водоемов.....	38
3.2.1. Роль биогенных химических элементов в евтрофировании водоемов.....	41
3.2.2. Методы борьбы с «цветением» воды.....	46
3.3. Мероприятия по предотвращению заиления и занесения водохранилищ.....	49
3.4. Мероприятия по акватории.....	52
3.4.1. Борьба с мелководьями.....	52
3.4.2. Поддержание проточности водохранилищ.....	54
3.5. Интенсификация процессов самоочищения природных вод....	54
3.5.1. Интенсификация процессов самоочищения в водохранилищах.....	54
3.5.2. Использование высшей водной растительности.....	56
3.5.3. Искусственная аэрация.....	58
Вопросы для самопроверки.....	59

4. МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ.....	61
4.1. Общие понятия о регулировании речных русел .....	61
4.1.1. Задачи и виды регулирования (выправления рек) .....	61
4.1.2. Некоторые данные по теории эрозии .....	61
4.1.3. Формирование речных русел .....	63
4.1.4. Основные направления воздействия на эрозионные процессы .....	65
4.2. Регулирование верховьев рек и потоков .....	65
4.2.1. Борьба с размывом склонов бассейна и лавинами .....	65
4.2.2. Регулирование горных ручьев и потоков .....	66
4.2.3. Борьба с селевыми потоками.....	67
4.2.4. Регулирование оврагов и балок .....	68
4.3. Методы регулирования русла реки и ее отдельных участков.....	70
4.3.1. Общее регулирование (выправление) русла.....	70
4.3.2. Методы регулирования местной эрозии.....	75
4.4. Защита прибрежных земель от затопления .....	78
4.4.1. Методы защиты прибрежных земель от затопления паводками.....	78
4.4.2. Обвалование земель.....	78
Вопросы для самопроверки .....	80
5. РЕГУЛЯЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ .....	81
5.1. Особенности конструкций выправительных сооружений и материалы для них.....	81
5.1.1. Основные материалы для регуляционных работ .....	81
5.1.2. Составные материалы и элементы регуляционных сооружений.....	81
5.1.3. Основные требования, предъявляемые к регуляционным сооружениям .....	83
5.2. Конструкция берегоукрепительных одежд.....	84
5.3. Конструкции сооружений, регулирующих эрозию.....	91
5.3.1. Сетчатые запруды, выполняемые из стальных канатов...	91
5.3.2. Сквозные железобетонные запруды .....	91
5.3.3. Поперечные полузапруды.....	92
Вопросы для самопроверки .....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	98
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	99



Учебное издание

Каледа Ирина Анатольевна  
Денисова Наталья Анатольевна

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**  
Учебное пособие

Под общей редакцией доктора технических наук,  
профессора Ю.П. Скачкова

Редактор В.С. Кулакова  
Верстка Н.А. Сазонова

---

Подписано в печать 14.02.14. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 6,045. Уч.-изд.л. 6,5. Тираж 80 экз.  
Заказ № 35.



---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.