

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС

### 8.1. Назначение, классификации и специфика водохранилищ

**Водохранилищами** называют искусственные водоемы объемом более 1 млн м<sup>3</sup> или естественные озера с гидрологическим режимом, измененным человеком. Их создают в долинах рек или чашах путем возведения плотины. В отдельных случаях водохранилища образуют путем создания выемки (наливные в.-копани); в приморских районах водохранилища создают путем обвалования дамбами. Несколько водохранилищ на одной реке образуют каскад, что позволяет частично управлять водными ресурсами во времени и пространстве. Они представляют собой искусственно созданный природный объект, входящий в состав геотехнической системы. В мире создано более 32 тыс. водохранилищ, а в России эксплуатируется их более 2,22 тыс. Наиболее крупные водохранилища гидроэлектростанций, на которых в России ежегодно вырабатывается примерно 19% электроэнергии.

Согласно расчетам Р. К. Клиге, для суши характерен отрицательный водный баланс. Сокращение объема подземных вод и озер в последней трети XX в. составило соответственно 108 и 38 км<sup>3</sup>/год, таяние ледников — 429 км<sup>3</sup>/год. Аккумуляция воды в водохранилищах, равная 32 км<sup>3</sup>/год, лишь на 5,5% компенсирует «обезвоживание» суши. Поэтому **глобальная функция водохранилищ** в современной гидро-климатической системе — сохранение воды на суше.

Можно выделить восемь основных направлений использования водохранилищ.

**1. Значение водохранилищ для гарантированного водоснабжения** промышленных предприятий, городов и прочих населенных пунктов. По качеству воды и охранному режиму они подразделяются на четыре группы: *питьевого назначения*; созданные в основном для водоснабжения, но используемые одновременно и другими отраслями хозяйства; *комплексные и одноцелевые*, использование которых для водоснабжения не представляется возможным.

**2. Водохранилища и энергетика.** Современная энергетика немыслима без водохранилищ. В них нуждаются как гидравлические (ГЭС) и гидроаккумулирующие станции (ГАЭС), так и тепловые и атомные. ГЭС обязательное звено в единой региональной энергетической системе; они способны покрывать пиковые нагрузки. Без водохранилищ невозможно суточное, недельное и сезонное регулирование стока в интересах энергетики и других отраслей хозяйства. Себестоимость выработки электроэнергии на ГЭС в 5—7 раз меньше, чем на тепловых станциях.

В то же время крупным водохранилищам ГЭС свойственны отрицательные экологические эффекты: затопление земель, переработка берегов, подтопление населенных пунктов, заболачивание, засоление, аридизация ландшафтов поймы реки в нижнем бьефе, изменения в метеорологическом режиме прилегающей территории, туманы зимой в нижнем бьефе, региональная активизация движений земной коры, вызывающая небольшие землетрясения. Воздействие водохранилищ тепловых и атомных электростанций связано с поступлением с водой добавочного тепла.

**3. Значение водохранилищ для борьбы с наводнениями.** Особенно эффективна их роль в областях муссонного климата (пример — водохранилище Зейской ГЭС).

Создание небольших регулирующих водохранилищ (например, на Северном Кавказе) дает возможность в нижних бьефах гидроузлов ликвидировать паводки и катастрофические наводнения. Однако срезка весеннего половодья имеет отрицательные последствия для сел, коих хозяйства — не обеспечивается оптимальная весенняя влагозарядка почвы, что ведет к остепнению пойм.

**4. Значение водохранилищ для орошения.** Предпосылкой развития орошаемого земледелия выступает наличие гарантированного запаса воды. Создание таких водохранилищ, как Саратовское, Волгоградское, Краснодарское, Каховское (Украина), Кайраккумское и Чардаринское (Узбекистан) и др., позволило оросить миллионы гектаров

сельскохозяйственных земель. Главное негативное экологическое последствие — засоление земель.

**5. Значение водохранилищ для рекреации.** По данным А. Б. Авакян и В. Б. Яковлевой, на берегах водохранилищ проживало более 27 млн чел. городского населения и более 50 млн чел. — в пределах двухчасовой езды до водохранилищ, которые использовали водоемы для отдыха. Водоохранилища повышают рекреационную емкость и ценность ландшафта.

Рекреационный потенциал водохранилищ в России используется недостаточно. Основные причины такого положения: неудовлетворительная очистка чаши водоема перед затоплением, цветение воды интенсивная переработка берегов, затрудняющая размещение в прибрежной полосе учреждений отдыха и подступы к воде, слабое развитие дорожно-транспортной сети

**6. Значение водохранилищ для рыбного хозяйства.** Наиболее эффективны малые водохранилища рыбохозяйственного назначения, созданные в зоне влияния крупных городов (например, водохранилище Межура на р. Межиха в Калужской области). Создание крупных водохранилищ в принципе открывает возможности развития туводных рыб, но рыбопродуктивность искусственных морей, за исключением Цимлянского, ниже проектных значений.

Причина роста рыбопродукта в водохранилищах не только в увеличении площади акватории, но и в смене транзитного режима пока вещества и энергии на транзитно-аккумулятивный. В результате в водоеме возрастает кормовая база.

Создание подпорных сооружений на крупных равнинных реках, в частности на Волге, принесло ущерб проходным и полупроходным рыбам, чему способствовало также увеличение сброса неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, развитие водного транспорта (как фактор беспокойства и загрязнения), лесосплава и т.д.

**7. Значение водохранилищ для водного транспорта.** С созданием водохранилищ в несколько раз увеличивается длина и ширина судового хода, радиусы закругления, что дает возможность повысить на 10-15% скорость движения судов. Среди недостатков, присущих водному транспорту на водохранилищах, в сравнении с речным, отметим затраты времени на шлюзование и большую длительность ледостава весной. Недостатком создания ряда крупных водохранилищ в Сибири (например, Братского, Усть-Илимского и др.) является отсутствие шлюзов.

**8. Положительный эффект от создания водохранилищ для лесосплава** включается в увеличение протяженности трасс, ширины судового хода и ликвидации молевого сплава. Отрицательные последствия зарегулирования стока для лесосплава заключаются в более сложных ветроволновых условиях, сокращении периода навигации, снижении скоростей течений (для рек, по которым лес сплавлялся вниз по течению).

Водоохранилища — многопризнаковые объекты, в связи с чем существуют различные их классификации: *по типу регулирования гидрологического режима, по назначению, принадлежности к природной зоне подзоне, по размерам (площади водного зеркала, глубине), генезису и морфологии чаши.*

По назначению водохранилища подразделяются на *многоцелевые* и *специальные*. Среди многоцелевых выделяются водохранилища приоритетно-комплексного назначения, когда приоритет отдается какой-либо отрасли (чаще всего энергетике или ирригации), и комплексного назначения (без ярко выраженного лидирующего направления в его использовании). Водоохранилище специального назначения — это водно-транспортные, рыбохозяйственные, сельскохозяйственные, энергетические, лесохозяйственные, канализационные, противоэрозионные, рекреационные и питьевые.

По *приуроченности к макрорельфу* выделяют равнинные, предгорные (низкогорные), горные и высокогорные водохранилища. По положению в географической зоне — тундровые, лесные, лесостепные, полупустынные и пустынные. Классификация водохранилищ по указанным двум физико-географическим признакам важна для проведения типологии зон их влияния.

По характеру регулирования стока, а следовательно и колебаниям режима уровня, различают водохранилища многолетнего, сезонного, месячного, недельного и суточного регулирования. Многолетнее регулирование стока преследует цель аккумулировать излишек воды в многоводные годы для использования ее в маловодные, а в пределах каскада — для специальных попусков воды в нижележащие водохранилища.

В Волжском каскаде такими водохранилищами являются Рыбинское и Куйбышевское. Сезонное регулирование стока осуществляется на многих крупных и средних водохранилищах, где отметка нормального подпорного уровня (НПУ) достигается ежегодно, обычно весной, а затем идет сработка уровня.

К. К. Эдельштейн предлагает **гидроэкологическую** классификацию водохранилищ:

- Водоемы повышенного качества воды — источники коммунального (питьевого) и технического (промышленного) водоснабжения и водоемы рекреационного назначения.
- Водоохранилища повышенной биологической продуктивности, используемые в рыбном и сельском хозяйстве, эвтрофирование которых, вызываемое обогащением воды органическими и биогенными минеральными веществами, не только не вредно, а скорее желательно для повышения рыбопродуктивности водоемов.
- Водоохранилища, эксплуатируемые остальными отраслями, для которых качество воды не имеет принципиального значения (например, водохранилища транспортного назначения, противопаводковые, для целей лесосплава и др.).

С позиций оценки влияния водохранилищ на прилегающую территорию огромный интерес представляет **типология режима уровня водохранилищ за теплый период года**. Для равнинных водохранилищ (Иваньковского, Рыбинского, Горьковского, Новосибирского, Камского и др.) выделены три типа колебаний уровня с несколькими подтипами:

1. В течение всего теплого периода уровень воды в водохранилище равен НПУ.
2. НПУ устанавливается на непродолжительное время в начале вегетационного периода, а с середины или конца июня происходит снижение уровня.
3. В течение всего теплого периода уровень ниже НПУ на 1-3 м и более.

На стадии проектирования каждому водохранилищу определяется свой **нормальный подпорный уровень**. Это высший проектный уровень верхнего бьефа плотины, который подпорные сооружения могут поддерживать в нормальных эксплуатационных условиях в течение длительного времени.

Минимальный уровень водохранилища, до которого возможна его сработка в условиях нормальной эксплуатации, называется **уровнем мертвого объема (УМО)**. Объем воды, заключенный между НПУ и УМО, называется **полезным** (это сливная призма водохранилища). Именно этот объем воды представляет собой ресурс, активно используемый различными отраслями хозяйства. В отдельные годы за счет интенсивного снеготаяния, интенсивных осадков и экстремальных сбросов воды из вышележащих в нижележащие водохранилища наблюдается временное повышение уровня до отметки **форсированного подпорного уровня (ФПУ)**.

На водохранилищах, используемых для водного транспорта или лесосплава, сработка уровня в период навигации ограничена уровнем, при котором речной флот по состоянию глубин может продолжать нормальную работу. Этот уровень называется **уровнем навигационной сработки (УНС)**. Для ряда водохранилищ установлен **минимальный санитарный уровень (МСУ)**, ниже которого качество воды не отвечает нормативным требованиям.

В проектно-технической документации для водохранилищ принято выделять четыре зоны, каждая из которых характеризуется своим режимом уровня.

1. Зона постоянного затопления — вся акватория водохранилища при НПУ у плотины с учетом кривой подпора, соответствующей расходу воды  $Q$  10% обеспеченности в главном притоке.

2. Зона периодического временного затопления та же, но при  $Q$  5% обеспеченности.
3. Зона эпизодического временного затопления — вся площадь водохранилища, но при ФПУ у плотины и кривой подпора при  $Q$  5% обеспеченности.
4. Мелководная зона — часть водохранилища с глубиной до 2—2,5 м при НПУ. Гидроэкологическая ситуация и характер процессов в каждой из этих зон специфичны.

Создание водохранилищ приводит к резкому снижению скорости водообмена в речных системах. По оценке Г. П. Калинина, на начало 70-х годов XX в. продолжительность водообмена в реках мира в связи с

созданием водохранилищ возросла с 20 до 60 суток. Если использовать в качестве показателя интенсивности водообмена  $V$  — отношение  $Q/W$ , где  $Q$  — средний расход реки (водохранилища),  $W$  — запас воды в реке (водохранилище) то, например, на Рыбинском водохранилище этот показатель с 17 снизился до 1,4.

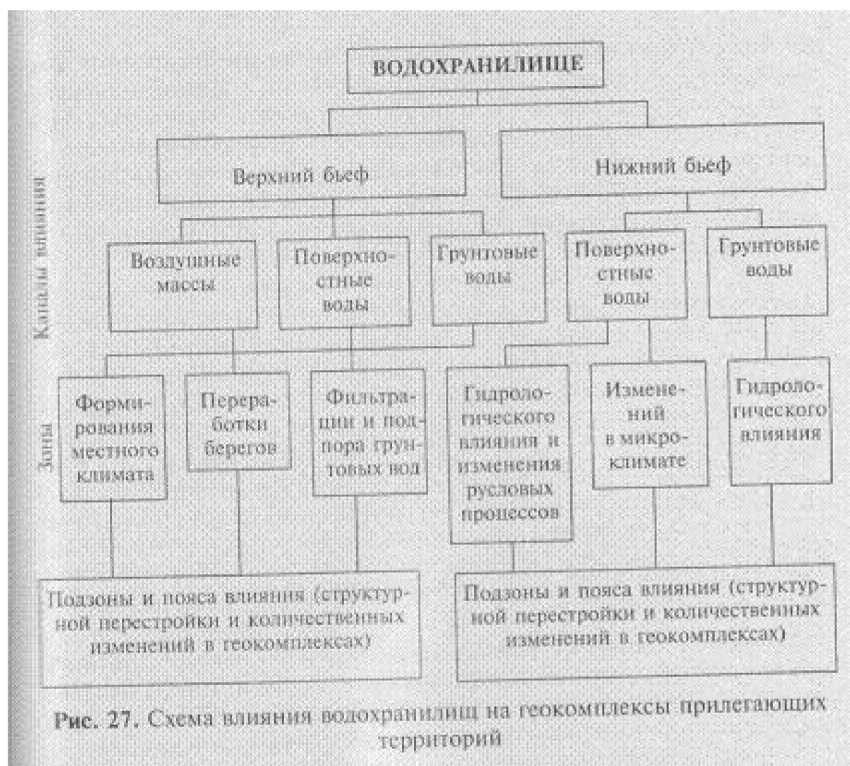
Факт снижения интенсивности водообмена имеет огромные физико-географические и экологические последствия. Водохранилище мощные аккумуляторы вещества, что обусловлено снижением скоростей течения и оседанием наносов из основной реки и притоков и поступлением материала от абразии берегов. В целом в нижний бьеф сбрасывается не более 5—10% наносов, поступающих в водохранилище. **Заиление** горных водохранилищ идет намного интенсивнее, чем равнинных.

Другой крупный процесс, присущий многим водохранилищам, - эвтрофирование. **Эвтрофирование** — это резкое увеличение биологической продуктивности водоема в результате повышенного поступления соединений фосфора и азота, причем по мере накопления в водоеме органических остатков содержание фосфора, азота, калия возрастает и с течением времени начинает превышать ПДК. В этом случае уже можно говорить о загрязнении водохранилища. Интенсивное применение минеральных и органических удобрений, гербицидов, дефолиантов создало критическую гидрохимическую обстановку на многих водохранилищах (Куйбышевском, Чардаринском, Каховском, Краснодарском и др.).

*Таким образом, водохранилища— полифункциональные объекты, создание которых рождает как объективные, так и субъективные противоречия в их использовании. С их строительством связаны долговременные и сложные геоэкологические проблемы, в связи с чем составление ОВОС при проектировании крупных водохранилищ ГЭС— задача многоплановая и междисциплинарная, в которой принимают участие гидротехники, гидрологи, геологи, физико-географы, лесоводы, биологи, экономисты, юристы и др.*

## 8.2. Пространственно-временная организация сферы влияния водохранилищ

В 60—70-е годы XX в. в связи с актуальностью проектов территориального перераспределения стока северных рек на юг возросло внимание к проблемам взаимодействия крупных равнинных водохранилищ с ландшафтами окружающей территории. Значительный вклад в решение этой проблемы внесли работы А. Б. Авакяна, С. Л. Вендрони, К. Н. Дьяконова, А. Г. Емельянова, Ю. М. Матарзина, И. Г. Мельниченко, Г. С. Золотарева, Л. К. Малик, А. Ю. Ретеюма, В. М. Широкова, В. М. Стародубцева, Р. С. Чалова, В. А. Шарапова, К. К. Эдельштейна, В. Н. Экзарьяна и др. На основании этих работ составлена схема влияния водохранилищ на окружающую территорию (рис. 27).



### Район верхнего бьефа

Взаимодействие водохранилища с ландшафтами осуществляется через поверхностные и грунтовые воды, воздушные массы и животный мир. **Переработка берегов водохранилищ** (термин предложен академиком Ф. П. Саваренским в начале 30-х годов при проектировании водохранилищ Волжского каскада) определяется локальными и фоновыми физико-географическими факторами.

1. Первоначальным к моменту заполнения чаши водоема рельефом.
2. Степенью выветренности горных пород, их сопротивляемостью к размыву под динамическим воздействием волн, сопротивляемостью растворению» при смачивании.
3. Комплексом гидрометеорологических условий, среди которых определяющее значение имеют ветровой режим и продолжительность безморозного периода.
4. Комплексом химических и биохимических факторов, определяющих в конкретных условиях интенсивность «химической абразии» и карстовые провалы. Это актуально для побережий Камского, Усть-Илимского и ряда горных водохранилищ в Средней Азии и Закавказье.



5. Биологическими свойствами водоема, в частности интенсивностью развития планктона, гидромакрофитов. В значительных скоплениях они способны нейтрализовать ветровое волнение и тем самым резко уменьшить интенсивность процесса абразии и размыва дна.

6. Количеством наносов, поступающих в водохранилище, и их источниками. На крупных равнинных водохранилищах обычно 70% взвешенных наносов местного происхождения, за счет размыва дна на мелководьях и берегов. Остальное количество поступает с водосбора через притоки. В аридных районах возрастает роль атмосферного переноса пыли.

7. Амплитудой колебаний уровня грунтовых вод, смачиванием бровки и склонов береговых массивов атмосферными осадками, объемом и режимом талых вод.

Коренное отличие водохранилищ от озер заключается в том, что от плотины вверх по бывшей реке новый водоем имеет несколько гидрологических зон, каждая из которых характеризуется специфическими гидро- и морфодинамическими особенностями и взаимодействием с ландшафтами прилегающей территории.

С. Л. Вендровым выделено четыре зоны (рис. 28).

*Глубоководная нижняя зона*, где при всех уровнях волнение развивается свободно, не взаимодействуя, за исключением прибрежной полосы, с дном. Динамические условия близки к морским или глубоководным озерам. Наносы аккумулируются только на глубине за пределами зоны сработки. Влияние на климат максимально.

*Промежуточная зона средних глубин* в зависимости от положения уровня воды может быть либо глубоководной (при уровнях близких к НПУ), либо мелководной (при низких отметках уровня).

*Мелководная верхняя зона*, где при любых положениях уровня сохраняются условия мелкого озера. Развитие волнения ограничено влитием дна. Волновая переработка берега малоинтенсивна. Здесь откладывается значительная часть приносимых рекой наносов и быстро формируется прибрежная отмель. Климатическое влияние ослаблено наблюдаются изменения в микроклимате.

*Зона выклинивания подпора*, в которой даже при самом высоком горизонте воды сохраняются условия мелководного залива. По мере снижения уровня она обсыхает и становится «поймой» водохранилища. Активно идут эрозионно-аккумулятивные процессы. Развита процесс **регрессивной аккумуляции**, связанный со снижением скорости потока и отложением наносов.

Еще выделяют разорванные ареалы зон небольших заливов, в которых идет процесс аккумуляции материала, поставляемого склоновым стоком.

Классификация берегов по их генезису была разработана И. А. Печеркиным, С. Л. Вендровым и В. М. Широковым. Выделяют берега *абразионные* (обвально-осыпные, оползневые, закарстованные), *аккумулятивные* и *устойчивые*. Наибольший практический интерес представляют абразионные берега. Это связано с большой интенсивностью их размыва, особенно в первые пять лет существования водохранилища. Ширина зоны переработки берегов в конечную стадию составляет 200-300 м и более. Наиболее интенсивно абразия берегов идет на водохранилищах Сибири, что связано с криогенными процессами в условиях экстроконтинентального климата. Из общей протяженности берегов существующих и строящихся водохранилищ Сибири (30 тыс. км) около 10 тыс. км затронуты процессами их переработки.

На развитие абразионных процессов на водохранилищах, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, оказывают большое влияние термомокарстовые процессы. Для горных водохранилищ характерны свои особенности переформирования берегов, обусловленные малой ролью ветрового волнения, большой амплитудой колебания уровня (до десятков метров), преобладанием прочных горных пород. Большую роль играют геодинамические процессы, поставляющие материал в акваторию, — выветривание горных пород, осыпи, обвалы, оползни.

В настоящее время протяженность абразионных, оползневых, осыпных, обвальных и других отступающих берегов составляет не менее 20 тыс. км, а объем ежегодно перерабатываемых горных пород — более 300 млн м<sup>3</sup>.

Следует особо сказать о сравнительно недавно открытом виде влития крупных водохранилищ на окружающую геологическую среду. Они активизируют движения земной коры в сейсмически активных регионах, вызывая даже небольшие наведенные землетрясения. Зарегистрированы тектонические движения в районах создания водохранилищ Кариба, Гранвил, Мид, Нурекского и др.

В прибрежной зоне водохранилищ происходят направленные изменения в положении зеркала *грунтовых и почвенных вод*. Наблюдаются два процесса: фильтрация воды в берег и подпор грунтовых вод со стороны водохранилища. Помимо направленных изменений отмечаются ритмические колебания, обусловленные в **подзоне прямого гидрогеологического воздействия** колебаниями уровня водохранилища.

Ширина этой подзоны — 300-400 м. Далее следует **подзона косвенного влияния**, где сезонная ритмика увлажнения в первую очередь обусловлена метеорологическими условиями, но после создания водохранилища уже впервые 5-10 лет отмечен подъем зеркала грунтовых вод. Ширина этой подзоны может достигать 1-3 км, а в ослабленном виде проявляться на расстоянии до 5—6 км по долинам подтопленных рек и ручьев (Камское, Ивановское и др. водохранилища).

Анализ проектов создания водохранилищ ГЭС при их экспертизах показывает, что гидрогеологами (Г. Н. Каменский, В. М. Шестаков и др.) создана надежная методика расчета ширины зоны гидрогеологического влияния, а отдельные ошибки связаны с недоучетом местных ландшафтных условий.

В районе верхнего бьефа водохранилища формируются зоны, подзоны и пояса влияния, образующие его **сферу воздействия**.

**Зона влияния** — ареал, выделяемый как по изменению одного из компонентов ландшафта (зона климатического или гидрогеологического влияния), так и ПТК в целом. **Подзона влияния** территория, где либо происходит структурная перестройка ПТК необратимые смены (в таком случае это **подзона прямого влияния**), либо выявлены отдельные изменения в свойствах ПТК при сохранении прежнего инварианта (**подзона косвенного** ил **ослабленного влияния**). **Пояс влияния** — территория в предел; одной зоны, отличающаяся от соседней знаком (направленностью) воздействия.

Учитывая актуальность экологического обоснования проектирования крупных ГЭС в лесной зоне России и высокую степень изученности проблемы взаимодействия

водохранилищ с лесными ландшафтами, рассмотрим новые черты пространственно-временной организации их сферы влияния.

**Полнота строения и специфика зон и сфера влияния** определяют сочетанием четырех важнейших факторов — механическим составом почвообразующих пород, углом наклона рельефа, степенью защиты от ветрового волнения и типом уровня режима водохранилища за вегетационный период.

Комбинация этих факторов выделяет пять видов зон влияния:

- I — обширная с полным набором зон, подзон и поясов. Характерен для берегов, сложенных песками и супесями, пологих и закрытых от ветрового волнения, где преобладает 1-й и 2-й типы режима уровня;
- II — обширная с неполным набором поясов (отсутствует пояс сильного подтопления). Характерен для открытых абразионных берегов, с преобладанием 1-го и 2-го типов режима уровня водохранилища;
- III — укороченная с полным набором зон и поясов. Вид приурочен к берегам относительно крутым и сложенным легкими суглинками;
- IV — укороченная с неполным набором поясов и подзон (без пояса сильного подтопления на крутых абразионных берегах, сложенных суглинистыми породами; только с поясом сильного подтопления на пологих берегах, сложенных легко- и среднесуглинистыми породами);
- V — укороченная, с поясами периодического затопления, умеренного и слабого подтопления на водохранилищах, где преобладает 3-й тип режима уровня.

Глубокая дифференциация знака, интенсивности воздействия в различных ландшафтах, неоднозначная плановая проекция ареалов в зависимости от выбранного индикатора влияния — один из важнейших выводов анализа сферы влияния искусственных водоемов.

В подзоне прямого влияния водохранилищ лесной и лесостепной он прослеживаются следующие пояса.

1. Периодического затопления; он располагается между уровнем минимальной сработки и уровнем максимальной форсировки. Распределение новых ПТК подчинено вероятности затопления и носит микропоясной характер.

2. Сильного подтопления, отрицательного влияния; его верхняя граница на разных водохранилищах колеблется от 0,45 до 1,2 м над НПУ. Ширина пояса — первые сотни метров, а по заливам и долинам затопленных рек — до нескольких километров; на берегах, сложенных лессовидными суглинками, за счет капиллярного поднятия влаги граница пояса может превосходить 2 м над НПУ. В этом поясе наблюдается полная структурно-функциональная перестройка существовавших ранее ПТК. Вымочка леса происходит до высоты 0,6—0,8 м над НПУ. Леса замещаются низинными болотами. Выше указанных отметок наблюдается угнетение древостоя, снижение в 1,3-2 раза прироста, падение бонитета на 11—111 класса. Различные типы леса в поясе сильного подтопления трансформируются в осоково-травяные типы наторфянисто-подзолисто-глеевых, торфяно-глеевых почвах. Стадии и смены в лесных ПТК в при-нрежной зоне водохранилищ рассмотрены в работах К. А. Кудинова, Д. Г. Емельянова, К. Н. Дьяконова, А. И. Русаленко и др.



3. Переходный, нарастающего и уменьшающегося подтопления. Занимает территорию в пределах 0,5—1,3 м над НПУ. В годы с высоким стоянием уровня водохранилища и почвенно-грунтовых вод наблюдается активизация процессов заболачивания, а в годы с низким уровнем улучшение аэрации и увеличение фитопродукции ландшафта.

4. Умеренного и слабого подтопления, обычно положительного воздействия на биопродуктивность ландшафтов. Внешняя граница до 3—3,5 м над НПУ; ширина в подзоне прямого влияния до 400 м. Наибольшее увеличение прироста древесного яруса наблюдается в т. ПТК, в которых до создания водохранилищ грунтовые воды располагались ниже корнеобитаемого слоя (сосняки лишайниковые, зеленомошные, чернично-зеленомошные).

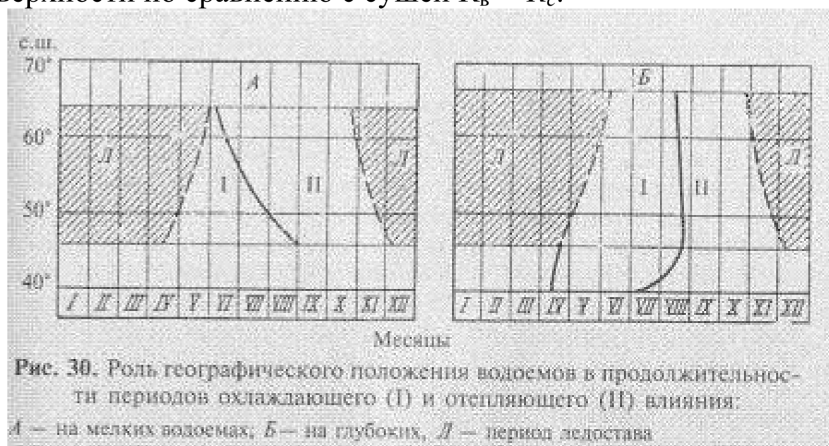
В подзоне косвенного влияния прослеживаются пояса увеличений и снижения биологической продуктивности. Ее ширина может превосходить 1-2 км.

Важно подчеркнуть, что сезонная и годовая хроноорганизация процессов в подзоне прямого влияния обнаруживает связь с уровнем во хранилища. Это проявляется в связи уровня водохранилища с ежегодным приростом деревьев (рис. 29), также с численностью и видовым разнообразием млекопитающих, продукцией фитомассы лугов, содержанием кислорода в грунтовых водах, степенью оглеения почв.

Влияние водохранилищ на ландшафты в степной, полупустыни и пустынной зонах имеет свою специфику. Она заключается в том, что на смену процессу подтопления приходит процесс засоления

**Влияние крупных водохранилищ**, особенно таких как Братск Куйбышевское, Рыбинское, Бухтарминское и др., **на местный климат** выражено довольно четко.

Альbedo водной поверхности при высоте Солнца более 20° колеблется от 6 до 12% и всегда меньше альbedo поверхности суши. Поэтому радиационный баланс водохранилищ ( $R_v$ ) обычно на 15—20% больше радиационного баланса суши ( $R_c$ ). Осенью за счет увеличения роли эффективного излучения в радиационном балансе и более теплой водой поверхности по сравнению с сушей  $R_v < R_c$ .



Индикатором на интенсивность влияния водохранилища выступает разность температур поверхности воды и воздуха на окружающей территории (вне зоны влияния)  $-T_{п-t}$ . Она зависит от глубины водохранилища и его географического положения (рис. 30). Влиянию водохранилища на местный климат свойственны два периода: охлаждающего и обогревающего воздействия. Снижение средней месячной температуры воздуха в первом километре от уреза в апреле—июне равно 0,5—2,5 °С; на сибирских водохранилищах — 1,0—3,5 °С, главным образом за счет большего промерзания водоемов (толщина льда на водохранилищах Сибири достигает 1—1,2 м; на водохранилищах европейской части страны — 0,6—0,8 м).

Весной переход температуры воздуха через 5 и 10° запаздывает на берегах на 3-7 суток, что сказывается на прохождении растениями фенологических фаз; осенью наблюдается сдвиг дат перехода температуры воздуха через 10,5 и 0° на более поздние сроки, на мелких водохранилищах на 3-5 дней, на глубоководных — на 5-10 дней. Продолжительность безморозного периода на побережье возрастает весной на 1-4, осенью — на 9—14 (на глубоководных до 20) дней.

Соотношение периодов охлаждающего и обогревающего влияния водохранилищ на уровне дневных и ночных температур воздуха различно. Чаще всего этот факт не учитывается в прогнозе влияния водохранилища на климат. Охлаждающий эффект водохранилищ в дневное время проявляется до начала августа, а обогревающий ночью с середины мая на водохранилищах европейской территории России и с июня в условиях Сибири. Максимальные значения охлаждающего эффекта днем в апреле—мае (2,5—4,5 °С), обогревающего — ночью в августе—сентябре (2,5—3,5 °С).

Относительная влажность воздуха в дневные часы всегда выше на берегу (на 4—16%) по сравнению с территорией, на которую влияние водохранилища не распространяется, а ночью — ниже на несколько

процентов. Абсолютная влажность воздуха в прибрежной зоне выше на 0,5-2,0 мБ.

Водохранилище снижает число пасмурных дней по нижней облачности весной и летом на 10-20% и увеличивает число ясных дней до 30%. Над акваторией и плоскими берегами по сравнению с территорией более высокой и удаленной на 5-10 км за теплый период выпадает на 10—20% атмосферных осадков меньше, так как в период охлаждающего влияния конвективная облачность развита над водоемом меньше.

В течение всего теплого периода, за исключением апреля и первой половины мая, скорость ветра в прибрежной зоне выше, причем различия в августе—октябре достигают 1,0-2,2 м/с. На берегах всех водохранилищ развита бризовая циркуляция, влияющая на погоду и формирующая специфические черты местного климата на крупных водохранилищах на расстоянии до 5-8 км.

Бризовая циркуляция определяет размеры ареала влияния. Активное устойчивое влияние прослеживается до 3—5 км от берега, эпизодическое — до 10-15 км.

**В нижнем бьефе** (ниже плотины) отчетливо прослеживаются зоны гидрологического, гидрогеологического и климатического влияния. Внутригодовое перераспределение стока и его частичное изъятие и период наполнения чаши вызывают значительно большие изменения в аридной зоне, чем в гумидной, причем в степной и полупустынной зонах влияние в нижнем бьефе по площади обычно превосходит влияние в верхнем бьефе. Оценка эффекта изменений режима пойменных и грунтовых вод дифференцирована в зависимости от зональных и региональных условий.

В лесной зоне европейской территории страны, Западной и Средней Сибири регулирование стока рек водохранилищами при избыточном пойменном увлажнении снимает продолжительность весенне-летнего половодья, что в ряде случаев благоприятно для пойменных луговых комплексов.

Однако при этом резко снижается поступление наилка, нарушается главное звено формирования плодородия пойменных почв.

В условиях муссонного климата Дальнего Востока срез летнего пика половодья благоприятно влияет на условия сельскохозяйственного производства. Классическим примером является Зейское водохранилище, позволившее снизить интенсивность и продолжительность летне-осенних паводков на протяжении 640 км от плотины до устья рек.

Существенные негативные изменения пойменных комплексов наблюдаются в нижних бьефах аридных районов, где снижение водное связано также с водозабором воды на орошение. Происходит опустынивание и засоление ландшафтов, снижение их биологической продуктивности в несколько раз. Классические примеры — пойма Иртыш ниже плотины Бухтарминской и Усть-Каменогорской ГЭС, где влияние водохранилища сказывается на расстоянии до 1500 км; Волго-Ахтубинская пойма, нижний бьеф Капчагайского водохранилища и др. Фактором снижения биопродукции пойменных лугов выступает и более холодная вода в летний период (на 6-10°), поступающая в нижний бьеф на сибирских водохранилищах. Заметны различия в температуре на Каховском водохранилище (в мае на 2,5°). Зимний попуск относительно теплых вод приводит к образованию туманов на протяжении нескольких десятков километров (Красноярское, Зейское и др. водохранилища). Изменение гидротермических условий в нижнем бьефе, в частности образование в зимний период незамерзающей полыньи, коренным образом отражается на путях миграции животных.