

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды
Республики Беларусь

**РЕКОМЕНДАЦИИ
(НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ)**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
(НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ)
ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ
НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**РЭКАМЕНДАЦЫІ
(НАВУКОВА-АБГРУНТАВАНЫЯ ПРАПАНОВЫ)
ПА ПРАДУХІЛЕННІ ЗАМОРНЫХ З'ЯЎ
НА ВОДНЫХ АБ'ЕКТАХ
РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ**

Минск 2010

УДК 639.3(476)(083.13)

РЕКОМЕНДАЦИИ (НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ)

РЕКОМЕНДАЦИИ
(НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ)
ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ
НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

РЭКАМЕНДАЦЫІ
(НАВУКОВА-АБГРУНТАВАНЫЯ ПРАПААНОВЫ)
ПА ПРАДУХІЛЕННІ ЗАМОРНЫХ З'ЯЎ
НА ВОДНЫХ АБ'ЕКТАХ
РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

РАЗРАБОТАНЫ Центральным научно-исследовательским институтом
комплексного использования водных ресурсов (РУП «ЦНИИКИВР»)

ВНЕСЕНЫ лабораторией рекреации на водных объектах, водоохраных
территорий и гидрологических обоснований

УТВЕРЖДЕНЫ Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды
Республики Беларусь

Заместитель министра _____ А.В. Лис

ВВЕДЕНА ВПЕРВЫЕ

Настоящие рекомендации не могут быть тиражированы и распространены без разрешения
Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2	ОСНОВНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ.....	6
3	ПРИЧИНЫ, ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ.....	13
	3.1 Температурный режим.....	13
	3.2 Кислородный режим.....	16
	3.3 Взвешенные вещества (мутность).....	20
	3.4 Активная реакция воды, содержание соединений железа.....	21
	3.5 Аммиак.....	22
4	ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ.....	24
	4.1 Определение предзаморного состояния в водоёмах методом оценки потребления кислорода бактериопланктоном.....	24
	4.2 Прогнозирование дефицита кислорода в водотоке при поступлении органических веществ с территории водосбора.....	26
	4.3 Определение зон повышенной мутности.....	32
	4.4 Определение водотоков потенциально предрасположенных к заморным явлениям по содержанию соединений железа.....	34
	4.5 Определение опасного уровня соединений аммиака.....	35
5	НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ.....	37
	5.1 Известкование водной толщи.....	38
	5.2 Аэрация водоёмов.....	39
	5.2.1 Диффузная аэрация водоёмов.....	40
	5.2.2 Гидромеханическое перемешивание водной толщи.....	41
	5.2.3 Примеры низкозатратных способов аэрации заморных водоёмов.....	41
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	46

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Водный фонд Республики Беларусь насчитывает более 10 тыс. озер общей площадью около 200,0 тыс. га, 150 водохранилищ общей площадью 80,0 тыс. га, 20,8 тыс. различных рек общей протяженностью 90,6 тыс. км. Кроме того, насчитывается 21,86 тыс. га прудов рыбоводных хозяйств, 4,6 тыс. га прудов на землях колхозов и совхозов, а также 17,0 тыс. км каналов различного назначения [1]. Из общего количества указанных озер 87,5 % - это малые озера с площадью менее 100 га, представленные в основном пойменными (старичными) водоемами в пределах пойм рек Днепра и Припяти.

В соответствии с Общей классификацией водных объектов, приведённой в СТБ 17.06.02-02-2009 «Классификация поверхностных и подземных вод» [3], поверхностные воды Беларуси подразделяются на два типа: водотоки и водоёмы. К первому типу относятся реки, ручьи, родники, каналы, ко второму – озёра, водохранилища, пруды.

Согласно «Правилам ведения рыболовного хозяйства и рыболовства» [4] все рыболовные угодья подразделяются на следующие типы:

- водоёмы (озера и водохранилища);
- водотоки (реки и каналы);

Водоёмы подразделяются на следующие классы:

- сегово-сетковые;
- лещёво-судаачьи;
- лещёво-щучье-плотвичные;
- карасёво-линьевые;
- окунёво-плотвичные.

В соответствии с ГОСТ 17.1.2. 04-77 «Показатели и правила таксации рыбохозяйственных объектов» [13] состояние водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей, характеризуется следующими показателями:

- качеством воды;
- качеством донных отложений;
- гидрологическим режимом;
- флорой и фауной;
- группами промысловых организмов, рассматриваемыми с позиции рыбного хозяйства.

Качество воды характеризуется следующими показателями:

- трофо-сапробностью;
- солёностью и жесткостью;

- водородным показателем (pH);
- вредными веществами.

Одним из отрицательных явлений на водных объектах Беларуси, приносящих большой ущерб, являются заморы - массовая гибель рыб в результате уменьшения растворенного в воде кислорода (до 5-30 % нормального насыщения) [2]. В зависимости от сезонности возникновения различают два вида заморов рыб: летние и зимние. В летнее время в водоёмах могут возникать ночные заморы.

В водоёмах заморные явления происходят в мелководных бессточных либо слабопроточных озёрах, эвтрофного или гипертрофного типа, с высоким содержанием аллохтонного и автохтонного вещества. Для условий Беларуси наиболее распространены заморные явления для периода конца зимней стагнации, когда запасы кислорода истощаются в процессе минерализации органического вещества.

Для водотоков заморные явления в основном характерны для малых рек, в периоды летне-осенних паводков, когда в водотоки поступает большое количество взвешенных веществ органического происхождения в результате смыва с территории водосбора почвенных частиц и растительных остатков, которые окисляясь, потребляют значительное количество растворённого в воде кислорода.

2 ОСНОВНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ – компоненты и явления неживой, неорганической природы (климат, свет, химические элементы и вещества, температура, давление, почва и др.), прямо или косвенно воздействующие на организмы.

АВТОТРОФНЫЕ ОРГАНИЗМЫ – организмы, синтезирующие из неорганических веществ необходимые для жизни органические вещества.

АКТИВНАЯ РЕАКЦИЯ СРЕДЫ (водородный показатель), концентрация водородных ионов в среде (почве, воде); pH. При pH 7 среда нейтральная, ниже 7 — кислая, выше 7 — щелочная. Активная реакция среды — один из основных абиотических факторов. Изменяя проницаемость наружных мембран клеток, pH влияет на водно-солевой обмен организмов. От pH воды зависит устойчивость гидробионтов к токсическим веществам.

АНАЭРОБНЫЙ ПРОЦЕСС – микробиальный процесс разложения веществ, происходящий в отсутствии кислорода.

АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ – факторы, обязанные своим происхождением деятельности человека.

АЭРАТОРЫ – устройства для нагнетания воздуха в водную толщу водных объектов.

АЭРАЦИЯ ВОДЫ – способ насыщения воды кислородом путём продувки воздуха через водную толщу.

АЭРОБНЫЙ ПРОЦЕСС – микробиальный процесс разложения веществ, происходящий в присутствии свободного кислорода.

БАЛАНС КИСЛОРОДНЫЙ – соотношение между количеством кислорода, выделяемым водорослями при фотосинтезе, и количеством кислорода, потребляемым в основном бактериями в процессе дыхания, окисления органических (гниения) и неорганических веществ.

БЕНТОС – совокупность живых организмов, обитающих на дне и в грунте водных объектов.

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ – элементы, необходимые для жизнедеятельности растительных организмов и бактерий (азот, фосфор, калий, железо и др.).

БИОЦЕНОЗ – сообщество животных и растительных организмов, живущих в определённых экологических условиях.

БЬЕФ (верхний или нижний) – водное пространство, прилегающее к подпорному сооружению.

БПК (биохимическое потребление кислорода) – количество кислорода, израсходованное на аэробное биохимическое окисление под действием бактерий и разложение нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде за определённое количество времени.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД – часть года, в течение которого происходит весь цикл развития растения.

ВОДНОСТЬ РЕК – количество воды, проносимое реками за какой-либо период времени.

ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ – реки, озёра, болота, водохранилища, ледники или другие формы сосредоточения воды на поверхности суши.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ – поверхностные и подземные воды определённой территории, используемые и могущие быть использованными для различных целей.

ВОДНЫЙ БАЛАНС – данные сопоставления прихода, расхода и аккумуляции (изменения запаса) воды за какой либо промежуток времени для водного бассейна или участка территории.

ВОДНЫЙ РЕЖИМ – изменение во времени и по территории уровней и объёма воды в реках, озерах, болотах и других водных объектах.

ВОДОЁМ – постоянное или временное скопление стоячей воды в естественных или искусственных впадинах (озёра, водохранилища, пруды и т. д.).

ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ – все направления использования водных ресурсов, не связанные с изъятием их из водоисточника.

ВОДОРАЗДЕЛ – граница (линия раздела) между бассейнами (водосборами) рядом расположенных водоёмов, водотоков или скоплений подземных вод.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЧВ И ГРУНТОВ – способность почв и грунтов впитывать и фильтровать воду.

ВОДОСБОР – территория и (или) водоносные горизонты, откуда вода поступает или может поступать в водный объект.

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ – использование воды с изъятием её из водоёма, водотока или подземного бассейна безвозвратно, с частичным возвратом или с полным возвратом в отдалённом от водозабора месте или в изменённом качественном состоянии.

ВОДОТОК – водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности (река, ручей, родник, канал).

ВОДОХРАНИЛИЩЕ – искусственный водоём, образованный водоподпорным сооружением в целях хранения воды и регулирования стока.

ВЫРОСТНЫЕ ПРУДЫ – водоёмы, используемые для выращивания из мальков сеголетков рыб.

ГЕТЕРОТРОФНЫЕ ОРГАНИЗМЫ – организмы, использующие для своего питания готовые органические соединения (в отличие от автотрофных организмов). Данные организмы способствуют разложению органического вещества.

ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ – совокупность рек и других постоянно и временно действующих водотоков, а также озёр на какой-либо территории.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ – закономерное изменение состояния гидрологических элементов во времени и пространстве, обусловленное физико-географическими свойствами бассейна и, в первую очередь, климатическими условиями.

ГОМООКСИГЕНИЯ (от гомо - однородный. и лат. *oxygenium* - кислород) - равномерное распределение кислорода в толще воды; наблюдается во время энергичного перемешивания, охватывающего всю водную массу.

ГОМОТЕРМИЯ (от гомо - однородный и греч. *therme* - тепло) - одинаковая, относительно постоянная температура (и соответственно плотность) по всей толще водного объекта (озера, реки), благоприятствующая перемешиванию. Гомотермия устанавливается осенью после прямой термической стратификации (осенняя гомотермия), весной после разрушения обратной термической стратификации (весенняя гомотермия) и в течение всего лета на мелководьях, в открытых действию ветра водоемах. В реках гомотермия наблюдается постоянно.

ГУСТОТА РЕЧНОЙ СЕТИ – отношение длин всех рек бассейна (или другой территории), включая и пересыхающие временные водотоки, выраженной в погонных километрах, к площади бассейна (или территории), выраженной в квадратных километрах.

ДЕФИЦИТ КИСЛОРОДА – разность между количеством кислорода, которое при данной температуре и давлении может находиться в воде, насыщенной воздухом, и найденным количеством кислорода в исследуемой воде.

ДЛИНА РЕКИ – расстояние от истока или начала реки до её устья в километрах, измеренное по карте по геометрической оси русла.

ЗАБОЛОЧЕННОСТЬ – характеристика распространения заболачивания по площади водосбора. Определяется общей заболоченностью территории (в % от площади водосбора).

ЗАЛЕСЁННОСТЬ – наличие лесных массивов на водосборе, количественно характеризуемое их площадью. Выражается коэффициентом лесистости (в долях или процентах от площади водосбора).

ЗАМОР РЫБ – массовая гибель рыб в результате значительного уменьшения растворенного в воде кислорода.

ЗАМОРНЫЕ ВОДОЁМЫ – водоемы, и речные заводи, в которых создаётся дефицит кислорода, вызывающий массовую гибель (замор) рыбы.

ЗАРАСТАНИЕ ВОДОЁМА – постепенное заполнение всего объема или поверхности водоема растительностью (макрофитами).

ЗЕРКАЛО ВОДНОЕ – водная поверхность открытых (поверхностных) вод.

ИЗВЕСТКОВАНИЕ – обработка воды известью (в виде раствора или суспензии).

ИЗОБАТЫ – линии, соединяющие на карте водных объектов точки одинаковых глубин.

ИНДЕКС САПРОБНОСТИ – среднее арифметическое из суммы баллов различных сапробов, полученных на месте отбора проб с относящейся к ним сапробностью.

КАНАЛ – искусственный открытый водовод правильной формы в земляной выемке или насыпи.

КОЭФФИЦИЕНТ ЁМКОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩА – отношение полезной ёмкости водохранилища к среднемноголетнему объёму годового стока реки в створе регулирующего сооружения.

КОЭФФИЦИЕНТ ОЗЁРНОСТИ – отношение суммарной площади зеркала озёр к общей площади водосбора, выраженное в процентах.

КОЭФФИЦИЕНТ СТОКА – соотношение количества стекающих осадков к количеству выпавших на расчётной площади водосбора.

ЛИТОРАЛЬ – прибрежная область, доступная воздействию прибоя волны и произрастания макрофитов.

МАТОЧНЫЕ ПРУДЫ - водоёмы, используемые для летнего содержания рыб-производителей.

МЕАНДРИРОВАНИЕ - закономерные плановые деформации речных излучин, возникающие в результате взаимодействия русла с речным потоком.

МЁРТВЫЙ ОБЪЁМ ВОДОХРАНИЛИЩА – объём водохранилища, который не используется для регулирования стока; он размещается между отметками дна водохранилища и уровня предельной сработки.

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ – бактериальный процесс, ведущий к поному разложению органических соединений до образования неорганических веществ.

МОРФОМЕТРИЯ - количественная характеристика форм рельефа земной поверхности или чаши водоёма (длина, площадь, объем и др.).

МУТНОСТЬ ВОДЫ – содержание взвешенных веществ в единице объёма воды; выражается в весовых или объёмных единицах.

НЕРЕСТИЛИЩА – места икрометания (нереста) рыб.

НПУ (нормальный подпорный уровень водохранилища) – наивысший проектный подпорный уровень верхнего бьефа, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации гидротехнического сооружения.

ОЗЁРА – компоненты гидросферы, представляющие собой водоёмы, заполненные в пределах озёрной чаши (озёрного ложа).

ОЗЁРА БЕССТОЧНЫЕ - озёра, получающие воду ключей и атмосферных осадков и не имеющие стока (выхода).

ОЗЁРА ДИСТРОФНЫЕ - озёра с высоким содержанием гуминовых кислот.

ОЗЁРА МЕЗОТРОФНЫЕ - озёра с умеренным количеством питательных веществ для водных организмов. Характеризуются прозрачной водой, хорошо развитым планктоном, сравнительно разнообразной донной фауной

ОЗЁРА ОЛИГОТРОФНЫЕ - глубокие (свыше 30 м) озёра с низкой биологической продуктивностью. Зообентос, фито-, бактерио- и зоопланктон относительно бедны.

ОЗЁРА ЭВТРОФНЫЕ - неглубокие (до 10 — 15 м) озера с высокой биологической продуктивностью. Летом в них в массовом количестве развивается фитопланктон (в частности, синезелёные водоросли) и, соответственно, обильны бактерио- и зоопланктон, зообентос, рыба.

ОЗЁРНО-РЕЧНЫЕ РЫБЫ – совокупность видов рыб, приспособившихся жить как в озёрах, так и в реках.

ОЛИГОСАПРОБНЫЙ ВОДОЁМ – водоём, содержащий мало растворённых питательных для растений веществ; бедный фитопланктоном и детритом; отложения органических веществ на дне почти отсутствуют; все отмершие организмы почти полностью минерализуются.

ПАВОДОК – быстрый, сравнительно кратковременный подъём уровня воды в каком либо фиксированном створе реки, завершающийся столь же быстрым спадом.

ПЛАНКТОН – совокупность свободноплавающих растительных (фитопланктон) и животных (зоопланктон) организмов, обитающих в свободной толще воды.

ПОЛЕЗНЫЙ ОБЪЁМ ВОДОХРАНИЛИЩА – объём водохранилища, используемый для регулирования стока, расположенный между уровнем мёртвого объёма и нормальным подпорным уровнем.

ПОЛНАЯ ЁМКОСТЬ ВОДОХРАНИЛИЩА – объём, заключённый между дном водохранилища и максимальным его уровнем.

ПОЛОВОДЬЕ – фаза водного режима реки, характеризующаяся наибольшей в году водностью, высоким и длительным подъёмом уровня, обычно сопровождаемым выходом реки на пойму.

ПОЛЬДЕРЫ, ПОЛЬДЕРНЫЕ СИСТЕМЫ – территории, ограждённые дамбами для предохранения от затопления водами прилегающей реки (озера).

ПРУД - искусственный водоём для хранения воды с целью водоснабжения, орошения, разведения рыбы (прудовое рыбное хозяйство) и водоплавающей птицы, а также для санитарных и спортивных потребностей.

ПРОЗРАЧНОСТЬ - величина, косвенно обозначающая количество взвешенных частиц в воде. Определяется по глубине исчезновения из вида плоского диска белой или чёрно-белой окраски диаметром обычно 20-30 см.

ПРОФУНДАЛЬ – глубинная сфера дна водоёма ниже предела существования высших растений.

РАСПАХАННОСТЬ – наличие пахотных земель на водосборе, выраженное в процентах от площади водосбора.

РАСХОД ВОДЫ – объём воды, протекающей через живое сечение потока в единицу времени. Выражается в кубических мерах в секунду.

РЕКА – водный поток сравнительно больших размеров, как правило, постоянный (иногда на отдельных участках временно пересыхающий), питающийся стоком атмосферных осадков со своего водосбора и текущий в разработанном им русле. В зависимости от размера различают реки – большие, средние и малые.

СТРАТИФИКАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ - слоистость водных масс различной температуры в водоемах.

САМООЧИЩЕНИЕ - совокупность естественных процессов обезвреживания примесей, поступивших в природную среду или в организмы. Для многих стойких загрязнителей или (пестицидов, тяжелых металлов, детергентов, фенолов и др.) самоочищение. может быть равно нулю.

САПРОБНОСТЬ ВОДОЁМА - характеристика степени загрязнённости водоема по видовому составу и массе гидробионтов. Различают полисапробные (наиболее загрязнённые), мезосапробные и олигосапробные (наименее загрязнённые) водоемы. Организмы, обитающие в них, называют соответственно поли-, мезо-и олигосапробами.

СТАГНАЦИЯ ВОДНОЙ МАССЫ – состояние водной массы водоёма, характеризующееся отсутствием в нём вертикальной циркуляции воды.

СТАРИЦА – участок ранее существовавшего русла реки или одного из её рукавов, расположенный в пойме, образовавшийся в результате достижения меандрирующей рекой полной степени развития таким образом, что соседние излучины смыкаются друг с другом.

СУБЛИТОРАЛЬНАЯ ЗОНА – мелководная прибрежная часть дна водоёма, простирающаяся от нижней границы литорали до верхней границы профундали.

ТРОФНОСТЬ ВОДОЁМА - характеристика водоёма по его биологической продуктивности, обусловленной содержанием биогенных элементов.

ОКИСЛЯЕМОСТЬ ВОДЫ - количество кислорода (в мг), идущего на окисление органического и неорганического веществ, содержащихся в 1 дм³ воды, при взаимодействии с сильными окислителями — например, перманганатом (перманганатная окисляемость) или бихроматом (бихроматная окисляемость). Определенная таким путем окисляемость воды называется химическим потреблением кислорода. Характеризует возможность применения биологических методов очистки воды.

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ В ВОДОЁМАХ - концентрация вещества (обычно загрязнителя) в воде, при повышении которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования.

УМО (уровень мёртвого объёма водохранилища) – подпорный уровень верхнего бьефа, соответствующий проектному (мёртвому объёму), который сохраняется в водохранилище после сработки полезного объёма.

3 ПРИЧИНЫ, ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

В большинстве случаев удушье рыб (заморные явления) на водных объектах определяется рядом гидрологических, гидрофизических и гидробиологических факторов, которые в экстремальных случаях, по отдельности, либо в совокупности, приводят к гибели рыбного сообщества. К числу таких факторов относятся:

- температурный режим;
- мутность вод;
- газовый режим;
- зарастаемость водных объектов;
- состав почвенного покрова зон прямого смыва;
- гидрохимические параметры: pH, содержание соединений железа, аммиака;
- гидрологические характеристики стока.

3.1 Температурный режим

Температурный режим играет первостепенную роль как фактор, определяющий интенсивность обменных процессов и основных физиологических функций рыб (питание, дыхание, размножение, поведение), лежащих в основе нормальной жизнедеятельности особи, популяции, вида. Температурный режим влияет на растворимость кислорода в воде. При температуре воды 0° С в 100 г воды растворяется 0,0069 г кислорода, при 10° С – 0,0054, при 20° С – 0,0043 г кислорода.

Температура природных внутренних водоёмов в умеренных широтах варьирует в общем случае от 0 до 30°С, причём максимальные значения наблюдаются обычно летом на мелководьях. У рыб чётко выражена экологическая валентность устойчивости различных видов к температурному фактору. Резкий перепад температур, имеющий место в естественных водоёмах вследствие быстрого нагрева и быстрого охлаждения воды, представляет собой серьёзную угрозу рыбным запасам [17]. По данным работы В.И. Лукьяненко «Токсикология рыб» [18], повышение температуры выше 25 – 30°С может оказать отрицательное влияние на различные стороны жизнедеятельности рыб средних широт, поскольку эти температуры близки к так называемым пороговым температурам (27-33°С), по достижению которых у рыб развивается тепловой шок.

Динамика температурного режима озёр и рек Беларуси имеет ряд специфических отличий.

В зимний период в придонных слоях озёр находятся более теплые воды с температурой, близкой к 4°C . К поверхности температура понижается к 0°C в подлёдном слое.

В летний период характерно убывание температуры с глубиной в большинстве относительно глубоких озёр (с максимальной глубиной выше 7 м) и чёткое деление водной массы на термические зоны. В этот период ветром перемешивается сравнительно небольшой верхний слой воды, в котором устанавливается однородная, более высокая, чем в нижних слоях температура. Между нагретым поверхностным слоем и холодным глубинным располагается относительно тонкий (от нескольких дециметров, до нескольких метров) слой раздела. В этом слое температура резко понижается с глубиной. Таким образом, озеро чётко расслаивается на три вертикальные термические зоны: эпилимнион, металимнион и гипolimнион, *рисунок 3.1*.

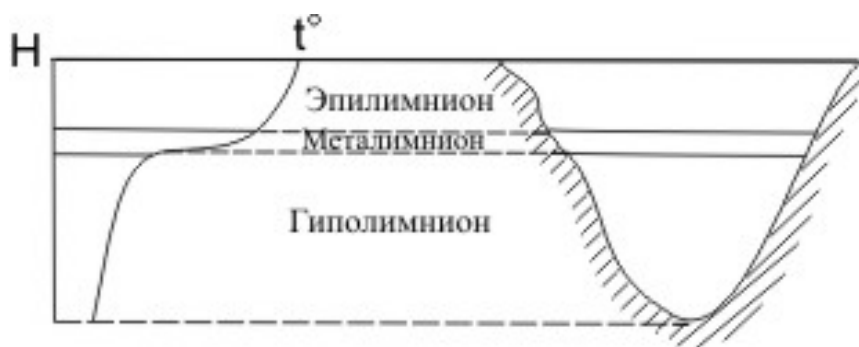


Рисунок 3.1 – Вертикальные термические зоны в озере (по Б.Б. Богословскому) [19]

Верхние слои (эпилимнион) - от поверхности и примерно до 4 м глубины, сильно и относительно равномерно прогреты. Здесь температура может колебаться в пределах $20-30^{\circ}\text{C}$.

В нижних слоях (гиполимнион) - примерно с 6,5-7 м и до дна, находятся наиболее холодные воды. В этом слое вода понижается от 12 до $5-7^{\circ}\text{C}$ у дна.

Между ними расположен промежуточный слой, слой температурного скачка (металимнион). В этом слое происходит резкое понижение температуры [20].

В озёрах данного типа заморные явления не наблюдаются, поскольку рыба имеет возможность передвигаться в места с достаточным количеством кислорода.

В мелководных озёрах, с максимальной глубиной до 5-7 м, в летний период вода достаточно легко перемешивается под воздействием ветра и хорошо прогревается по всей глубине. Здесь перепад температур воды между поверхностью и придонными слоями составляет $2-3^{\circ}\text{C}$. В случаях длительных жарких периодов погоды, когда температура воздуха достигает 30°C и выше, вода в этих водоёмах также прогревается до пороговых

величин, что оказывает резко отрицательное воздействие на физиологическое состояние рыбного сообщества.

В реках, в связи с динамичностью вод, наблюдается гомотермия. Колебания температуры воды зависят от сезона года. В летний период температура поверхностных речных вод на 3-4°C ниже, чем в озёрах. В зимний период непосредственно подо льдом температура приближается к 0°C, в придонных слоях она колеблется в пределах 4-6°C.

От температуры зависит кислородный режим реки. При повышении температуры воды скорость потребления кислорода возрастает, а так как скорость реэрации при этом почти не изменяется, то летом минимум содержания кислорода наступает быстрее и содержание кислорода в реке будет меньше.

В нормальных условиях в водоёмах и водотоках средних широт температура воды в летний период достигает 20-25°C, при суточных колебаниях от 2 до 5°C, изредка до 7°C. Такая амплитуда колебаний обычно не оказывает отрицательного воздействия на жизнедеятельность рыб.

В Беларуси в соответствии с Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 24 декабря 2009 г. № 70/139 [21] для показателей качества воды рыбохозяйственных водных объектов, установлено, что температура воды не должна повышаться по сравнению с естественной температурой водного объекта более чем на 5°C с общим повышением температуры для водных объектов, используемых для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, 20°C и менее ценных - 28°C.

По данным [17], в Польше температура 26°C является экологически допустимым пороговым стандартом. В северных реках и озерах США температура воды не должна превышать более 28,3 – 30°C, причем на таком уровне температура может оставаться не более 6 ч в сутки. Максимально допустимая температура в реках Франции равна 30°C, а в реках Швейцарии – 25°C.

В результате анализа влияния температурного режима на состояния ихтиоценоза можно сделать следующие краткие выводы:

- в зимний период в поверхностных слоях водоёмов (непосредственно подо льдом) температура приближается к 0°C, в придонных слоях озёр находятся более теплые воды с температурой, близкой к 4°C;
- в летний период характерно убывание температуры с глубиной и чёткое деление водной массы (в относительно глубоких озёрах глубиной свыше 7 м) на термические зоны: верхний слой – эпилимнион, придонные слои - гиполимнион, промежуточный слой, располагающийся между ними – металимнион;

- в мелководных озёрах, с максимальной глубиной до 5-7 м, в летний период вода достаточно легко перемешивается под воздействием ветра, и хорошо прогревается по всей глубине. Здесь перепад температур воды между поверхностью и придонными слоями составляет 2-3°C;
- в летний период температура поверхностных речных вод на 3-4°C ниже, чем в озёрах. В зимний период непосредственно подо льдом температура приближается к 0°C, в придонных слоях она колеблется в пределах 4-6°C;
- температурный режим влияет на растворимость кислорода в воде. При температуре воды 0° С в 100 г воды растворяется 0,0069 г кислорода, при 10° С – 0,0054, при 20° С – 0,0043 г кислорода;
- в реках при повышении температуры воды скорость потребления кислорода возрастает, а так как скорость реэрации при этом почти не изменяется, то летом минимум содержания кислорода наступает быстрее и содержание кислорода в реке будет меньше;
- в Беларуси в соответствии с Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 24 декабря 2009 г. № 70/139 для показателей качества воды рыбохозяйственных водных объектов установлено, что температура воды не должна повышаться по сравнению с естественной температурой водного объекта более чем на 5°C, с общим повышением температуры для водных объектов, используемых для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, 20°C и менее ценных – 28°C;
- температура в водном объекте при достижении значений в 27-33°C, является пороговой, при которых у рыб развивается тепловой шок.

3.2 Кислородный режим

Из окружающего воздуха вода обогащается кислородом благодаря ветру, дождю, конвекционному току. Обогащение воды кислородом происходит также за счет фотосинтеза водных растений.

Кислород обладает хорошей растворимостью. Как указывалось выше, при температуре воды 0° С в 100 г воды растворяется 0,0069 г кислорода, при 10° С – 0,0054, при 20° С – 0,0043 г кислорода [16].

По отношению к количеству растворённого в воде кислорода пресноводные рыбы разделяются на четыре группы:

1. Группа с узкой адаптационной способностью. В ихтиофауне Беларуси представлена форелью, сиговыми и некоторыми другими, требующими для своего обитания высокого содержания растворённого в воде кислорода (не менее 7 мг/дм^3), а количество 5 мг/дм^3 для них является уже критическим. Поэтому места обитания их строго ограничены лишь верховьями рек с быстрым течением и холодной водой, а в озёрах они придерживаются чистых холодноводных участков (олиготрофные и частично мезотрофные озёра).

2. Более широко распространены рыбы второй группы, для нормального обитания которых требуется $5-7,5 \text{ мг/дм}^3$ кислорода. Это такие рыбы, как хариус, стерлядь, голавль, усач, сырть, чехонь, налим, судак и другие мелкие рыбы, главным образом обитатели рек. Лишь некоторые из них заходят в озёра с высоким содержанием кислорода.

3. К третьей группе относятся рыбы, физиологические функции которых не угнетаются при содержании кислорода до 4 мг/дм^3 . К ним относится большинство озёрно-речных рыб, в том числе такие промысловые виды, как щука, плотва, язь, густера, лещ, окунь, ёрш и многие другие. Все они распространены в водоёмах Беларуси довольно широко.

4. Небольшое количество видов (каarp, линь, карась) составляют четвёртую группу рыб, способных переносить условия с пониженным содержанием кислорода – до $0,5 - 5 \text{ мг/дм}^3$. Распространены они довольно широко, за исключением отдельных небольших пойменных озёр и стариц, количество кислорода в которых в зимний период приближается к нулю.

Из других рыб ихтиофауны Беларуси следует обратить внимание на угря, обладающего способностью кожного дыхания, и вьюна, который при неблагоприятных условиях может усваивать кислород воздуха, заглатывая его в кишечник (кишечное дыхание). Этим в большой степени объясняется способность угря во время ската в море преодолевать участки суши, разъединяющие водоёмы, сохранность вьюнов во влажном или водоёмов, которые в летний период полностью пересыхают [16].

В озёрах распределение кислорода в основном зависит от морфометрических и гидрологических параметров. Вместе с этим, зимнее недонасыщение водных масс кислородом – нормальное естественное явление, присущее каждому озеру.

Разная степень дефицита кислорода в озере обуславливается, с одной стороны, различной интенсивностью окислительных процессов, протекающих в нём, а с другой – соотношением растворённого кислорода, которым обладает озеро в течение зимнего периода (осенние его запасы и поступление в течение зимы), с тем его количеством, которое необходимо в данном озере для процессов окисления и дыхания рыб.

Окислительные процессы, идущие в озёрах с потреблением кислорода, разнообразны. Однако основная роль в создании кислородного дефицита принадлежит здесь биохимическим процессам, в частности дыханию различных групп бактерий, участвующих в круговороте веществ в водоёмах. Так как количество бактерий в природных водах пропорционально количеству органических веществ в них, то и более глубокий дефицит кислорода возникает быстрее в тех озерах, где органические вещества находятся в больших количествах.

Количество кислорода в озёрах в зимний период тем больше, чем больше их водная масса. Но при одних и тех же объёмах водных масс и при равных абсолютных количествах кислорода в них, зимний дефицит кислорода возникает скорее в неглубоких озерах, чем в глубоких.

Влияние донных отложений на окислительные процессы распространяется на значительно большие объёмы воды в неглубоких озёрах, чем в глубоких, т.е. в неглубоких озёрах на единицу объёма воды приходится большее количество площади ила, чем в глубоких.

В летний период заморные явления в озёрах характерны для предутренних часов, когда фотосинтезирующая способность водорослей минимальна, а затраты кислорода на окисление органических веществ достигают максимума. В этот период насыщение кислородом водных масс за счёт ветровой деятельности, как правило, минимально.

В работе О.Ф. Якушко «Озероведение. География озер Белоруссии» [20] указывается, что в глубоких водоёмах наиболее богат кислородом эпилимнион. Состояние перенасыщения в нём чаще всего приходится на июнь - июль. В глубоких прозрачных озёрах зона фотосинтеза фитопланктона несколько опускается и кислородное перенасыщение обнаруживается не на поверхности, а на глубине нескольких метров, иногда приближаясь к зоне температурного скачка (металимнионный максимум).

В среднеглубоких озёрах, где максимум кислорода располагается у поверхности, в зоне металимниона нередко наблюдается кислородный скачок убывания кислорода (металимнионный минимум). Это связано со скоплением в холодной, а следовательно, более вязкой воде, большого количества остатков планктонных организмов, опустившихся из верхних слоёв, на разложение которых затрачивается большое количество кислорода.

В мелководных озёрах наблюдается типичная прямая кислородная стратификация, т.е. понижение содержания кислорода от поверхности ко дну. Это явление хорошо прослеживаются в жаркие дни, но при ветровом перемешивании прямая кислородная

стратификация сменяется гомоосигенией (равномерное распределение кислорода по всей толще воды) или состоянием близким к ней.

Осенний кислородный режим озёр выражается состоянием гомооксигении. В мелководных водоёмах при дальнейшем предзимнем охлаждении в условиях штилевой погоды может сказаться процесс придонного разогревания и поглощения кислорода. В результате, ещё до замерзания возникает заметный кислородный дефицит.

Зимой под ледяным покровом устанавливается прямая кислородная стратификация (понижение количества кислорода от поверхности ко дну). В это время баланс кислорода отрицательный, т.е. расход кислорода на окислительные процессы выше, чем поступление его из атмосферы, либо в результате фотосинтезирующей деятельности. В мелководных озёрах, при отсутствии проточности, кислородный режим, как правило, очень напряжённый, особенно в конце зимы, когда содержание углекислого газа достигает 30 мг/дм³. В таких озёрах периодически наблюдаются заморы.

Рассматривая динамику кислородного режима водотоков следует принимать во внимание, что в водотоках одновременно происходит, с одной стороны, потребление кислорода на минерализацию органических веществ, а с другой – пополнение его за счёт растворения кислорода, поступающего с поверхности водного зеркала, т.е. так называемая реаэрация.

Определяя кислородный режим как один из важнейших факторов в жизнедеятельности рыб, следует сделать следующие выводы:

- из окружающего воздуха вода обогащается кислородом благодаря ветру, дождю, конвекционному току. Обогащение воды кислородом происходит также за счёт фотосинтеза водных растений;
- кислород обладает хорошей растворимостью, во многом определяемой температурным режимом. Как указывалось выше, при температуре воды 0° С в 100 г воды растворяется 0,0069 г кислорода, при 10° С – 0,0054, при 20° С – 0,0043 г кислорода [16].
- по отношению к минимальному содержанию растворённого в воде кислорода пресноводные рыбы разделяются на четыре группы: 1) сиговые и некоторые другие, (не менее 7 мг/дм³), 2) стерлядь, голавль, усач, сырть, чехонь, налим, судак и другие мелкие рыбы, главным образом обитатели рек (5-7,5 мг/дм³); 3). большинство озёрно-речных рыб, в том числе такие промысловые виды, как щука, плотва, язь, густера, лещ, окунь, ёрш и многие другие (4 мг/дм³), 4) небольшое количество видов - карп, линь, карась (0,5 – 5 мг/дм³);

- в озёрах распределение кислорода в основном зависит от морфометрических и гидрологических параметров;
- в водоёмах заморные явления в основном наблюдаются в конце зимнего периода в мелководных озёрах, с максимальными глубинами до 4-5 м и богатыми органикой донными отложениями;
- в летний период в водоёмах заморные явления бывают кратковременными и в основном отмечаются в предутреннее время в мелководных озёрах с укрытыми котловинами;
- для рек заморные явления, определяемые отсутствием кислорода, характерны при поступлении в водоток с территории водосбора большого количества органических веществ. Кислород расходуется на окисление (минерализацию) поступившей органики.

3.3 Взвешенные вещества (мутность)

В работе П.И. Жукова «Справочник по ихтиологии, рыбному хозяйству и рыболовству в водоёмах Беларуси» [2] указывается, «что слишком большое количество взвешенных и твёрдых частиц всегда губительно для рыб, так как при этом жабры забиваются илом и рыбы гибнут от удушья. Именно этим объясняются случаи массовой гибели рыбы после сильных ливней, смывающих в воду большое количество твердых взвесей с окружающих водоём полей, лесов и болот».

В данном разделе нами рассматривается воздействие тонкодисперсных, химически нейтральных взвешенных веществ (мути), как фактор, влияющий на массовую гибель рыб.

В работе Дж. Алабастера и Р. Ллойда «Критерии качества воды для пресноводных рыб» [17] указывается, что «тонкодисперсные взвеси могут непосредственно воздействовать на рыб, вызывая их гибель, снижать сопротивляемость болезням, препятствовать успешному развитию икры и личинок рыб, изменять естественные перемещения и миграции рыб, уменьшать количество доступного рыбам корма».

Тем не менее, в вышеназванной работе указывается, что концентрация тонкодисперсных взвешенных веществ (мутность) до 25 мг/дм^3 практически не оказывает отрицательного воздействия на сообщество рыб. Концентрации, превышающие 25 мг/дм^3 , вызывают снижение улова рыб в водоёмах, 35 мг/дм^3 - уменьшают интенсивность их питания, 50 мг/дм^3 - замедляют скорость роста форели в лабораторных условиях, 85 мг/дм^3 - минимальная концентрация взвесей, зарегистрированная в воде, где почти

полностью отсутствовала рыба, притом, что остальные факторы среды были удовлетворительными. Критические величины гибели рыб, вероятно, находятся в диапазоне от 100 до 300 мг/дм³.

В заключение следует отметить, что повышенное содержание тонкодисперсных взвешенных веществ (и особенно органических частиц) в водных объектах обуславливает значительный расход кислорода на его минерализацию, препятствует поступлению солнечной энергии в водную толщу и ослаблению фотосинтезирующей деятельности водорослей, губительно для рыб, так как жабры забиваются тонкодисперсными взвешенными веществами и рыбы могут погибнуть от удушья.

3.4 Активная реакция воды, содержание соединений железа

Большинство пресноводных форм живых организмов обитает в воде при pH 5,0 - 9,0. В соответствии с «Правилами ведения рыболовного хозяйства и рыболовства» [4] водородный показатель pH не должен выходить за пределы 6,5 – 8,5.

Низкие значения pH в диапазоне 3,0 – 5,0 летальны для лососевых, вредны для линя, леща, плотвы, карася, карпа. Значения pH ниже 5,4 опасны для карпа и линя, особенно в присутствии большого количества железа. В соответствии с указанным выше нормативным документом природное фоновое содержание соединений железа общего (мг/дм³) для Днепра составляет 0,38; Зап. Двины – 0,51; Зап. Буга – 0,24; Немана – 0,4; Припяти – 0,37.

По литературным данным соли железа имеют низкую токсичность. Однако в эксперименте присутствие в воде всего 1 мг/дм³ было достаточным, чтобы pH 5,0 стало пороговым значением. По другим данным максимально допустимые концентрации железа для ручьевой форели составляли 7,5 – 12,5 мг/дм³.

Высокие значения pH в диапазоне 10,5 – 11,0 – остролетальны для лососевых; в диапазоне 11,0 – 11,5 - губительны для всех видов рыб. В озёрах и реках, где обильная водная растительность (включая водоросли) сочетается с высокой температурой и повышенной солнечной радиацией, мощная фотосинтетическая активность может на короткое время значительно повысить pH воды.

Поскольку значениям pH в природных водоёмах присуща выраженная суточная вариабельность, для оценки корреляции между pH воды и заморами необходимо производить частые анализы воды.

В литературных источниках приводятся сведения, что в озёрах Дании замор рыбы отмечался при значениях pH 10,3 – 10,6 [17].

В качестве обобщающего вывода следует указать, что активная реакция воды является важнейшим гидрохимическим показателем, влияющим на заморные явления в водных объектах, поскольку определяют токсичность соединений железа и аммония, влияет на фотосинтезирующую активность водорослей и процессы минерализации органических веществ, при экстремальных значениях является остролетальной для многих видов рыб.

3.5 Аммиак

Аммиак появляется в воде в результате разложения растительных остатков и отмерших планктонных организмов, аммонийный азот выделяется рыбами в воду как конечный продукт метаболизма азотсодержащих веществ.

В терминологии, используемой для определения концентраций аммиака, в литературе существует некоторое разночтение.

В упомянутой выше работе Дж. Алабастера и Р. Ллойда «Критерии качества воды для пресноводных рыб» [17] используется терминология :

- NH_4^+ - «ионизированный аммиак»;
- NH_3 - «неионизированный аммиак»;
- аммиак - общая концентрация «ионизированного» и «неионизированного» аммиака ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$).

В этой же работе указывается, что аммиак в щелочной среде более токсичен, чем в кислой, вместе с этим, в составляющей «аммиака» токсична только «неионизированная» молекула, а аммоний – малотоксичен или вообще нетоксичен.

В нормативном документе «Показатели качества воды рыбохозяйственных водных объектов», определённых Постановлением Минприроды Республики Беларусь от 24 декабря 2009 г. № 70/139 [21]:

- NH_3 – определяется как «аммиак», ПДК составляет 0,05 мг/дм³;
- NH_4^+ - определяется как «аммоний-ион», ПДК составляет 0,39 мг/дм³ (в пересчёте на N).

По своей значимости соединения аммиака являются важнейшим гидрохимическим показателем, влияющим на состояние ихтиоценозов. Аммиак является продуктом разложения органического вещества, поэтому его содержание тесно связано с поступлением и накоплением его в водной системе. Наряду с этим аммонийный азот выделяется рыбами в воду как конечный продукт метаболизма азотсодержащих веществ. Аммиак в щелочной среде более токсичен, чем в кислой, вместе с этим, в составляющей

«аммиака» токсична только «неионизированная» молекула, а аммоний – малотоксичен или вообще нетоксичен.

4 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Прогнозирование заморных явлений является сложным и недостаточно разработанным в методическом плане процессом. Сложность прогнозирования заморных явлений объясняется с одной стороны, разнообразностью и разнокачественностью водных объектов, с другой – многофакторностью процессов и явлений, влияющих на состояние асфиксии ихтиоценозов.

При прогнозировании заморных явлений следует иметь ввиду, что на гибель рыб влияет не только низкое содержание или полное отсутствие растворённого в воде кислорода, но и, как указывалось выше, гидрохимические, гидробиологические процессы, а также факторы влияния выноса веществ с территории водосбора. Учитывая данные положения, в данной работе систематизированы и адаптированы для условий Беларуси подходы к прогнозированию заморных явлений.

4.1 Определение предзаморного состояния в водоёмах методом оценки потребления кислорода бактериопланктоном

Разработчиками данного метода являются И.Т. Астапович и Г.В. Воронова [22]. Метод рекомендуется использовать в периоды максимального прогрева воды (июль август) и наибольшего развития микрофлоры в водоёмах, в особенности зарастающих макрофитами и с обильным цветением, не реже одного раза в 10 дней.

Метод основан на оценке потребления кислорода бактериальным сообществом с учётом динамики развития микроорганизмов. При этом предусматривается удаление в одной из проб бактериопланктона путём обработки её антибиотиками: стрептомицином и неомицином в концентрации 50 мг/дм³; установление в водоёмах суточного расхода кислорода и выявления напряжённости кислородного режима (НKP₁) по соотношению величины суточного потребления кислорода, пошедшего на бактериальные процессы (Б), к общему суточному расходу кислорода на дыхание – БПК₁ (А):

$$HKP_1 = 100 \frac{B}{A} \quad (1)$$

Необходимое оборудование:

- кислородные склянки- 3 шт;
- мешки из непрозрачной клеёнки или дермантина, размером 110x220 мм – 2 шт;
- свежеприготовленный антибиотик стрепто- и неомицина;

- реактивы и посуда для определения содержания кислорода в воде методом Винклера.

Проведение опытных работ состоит в следующем. В ёмкость, например эмалированное ведро, отбирают среднюю пробу воды из водоёма. С помощью сифона из ёмкости заполняют водой 3 кислородные склянки, объём которых 100 мл. В одной из склянок (контрольной) методом Винклера определяют содержание кислорода в воде на данный момент времени, допустим, равное $8 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Из двух оставшихся склянок в одну добавляют несколько мл (0,1-0,6) свежеприготовленного раствора антибиотика стрепто- и неомицина с таким расчётом, чтобы в опытной склянке содержание антибиотика составляло $50 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Затем обе склянки герметично закрывают притёртыми пробками, помещают их в мешочки из непрозрачной клеёнки или дермантина и устанавливают в водоём на глубину 40-50 см на 24 часа. По истечению суток склянки достают из водоёма и определяют в них содержание кислорода. При этом, например, в пробе воды, обработанной антибиотиком, содержание кислорода составило $7 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, а в необработанной – $2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Тогда, исходя из вышеприведённых расчётов измеряемых величин (1,2,3), определяется, что суммарное суточное БПК₁ воды из водоёма (А) равно : $8,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3 - 2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3 = 6 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, а суточный расход кислорода на бактериальные процессы (Б) равен $5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$.

В результате напряжённость кислородного режима в этом случае будет равна:

$$HKP_1 = 100 \frac{B}{A} = 100 \frac{5}{6} = 83\% \quad (2)$$

При сокращении экспозиции склянок в водоёме до 12 часов полученные величины БПК₁ и расходы кислорода на бактериальные процессы необходимо удвоить.

Установлена следующая вероятность наступления заморных явлений в водоёмах в летние месяцы:

- при НКР₁ равном 80% и больше – через 1,5 – 2,0 суток;
- при НКР₁ равном 71 – 79 %– через 3- 4 суток;
- при НКР₁ равном 55 – 70 %– через 4 - 6 суток.

При величинах НКР₁, приближающихся к 80 % и превышающих эту величину, необходимо срочно принимать меры по предотвращению замора в водоёме: усилить проточность воды, внести известь, использовать механические средства и т.п. После принятия соответствующих мер следует провести повторное определение НКР₁.

4.2 Прогнозирование дефицита кислорода в водотоке при поступлении органических веществ с территории водосбора

Рассматривая динамику кислородного режима водотоков следует принимать во внимание, что в водотоках одновременно происходит, с одной стороны, потребление кислорода на минерализацию органических веществ, а с другой – пополнение его за счёт растворения кислорода, поступающего с поверхности водного зеркала, т.е. так называемая реэрация.

Процесс потребления кислорода определяется уравнением или формулой [23]:

$$\lg \frac{L_t}{L_a} = -k_1 t \quad (3)$$

Процесс реэрации определяется формулой:

$$\lg \frac{D_t}{D_a} = -k_2 t \quad (4)$$

Здесь : L_a – БПК_{полн.} в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/дм³;

L_t – БПК_{полн.} по прошествии времени t , мг/дм³;

D_a – дефицит растворённого кислорода в начальный момент у места поступления

в реку органических веществ, мг/дм³;

D_t – дефицит растворённого кислорода по прошествии времени t , мг/дм³;

k_1 – константа скорости потребления кислорода (БПК) при данной температуре

воды;

k_2 – константа реэрации кислорода при данной температуре воды;

t – время, в течении которого идут потребление и реэрация кислорода, сутки.

При одновременном действии обоих процессов во взаимно противоположном направлении один уменьшает количество растворённого кислорода, а другой увеличивает до степени насыщения, окончательная скорость дефицита кислорода может быть выражена уравнением баланса кислорода:

$$\frac{dD_t}{dt} = k'_1 L_t - k'_2 D_t \quad (5)$$

после интегрирования которого получим уравнение дефицита кислорода (Стриттера-Фельпса) по прошествии времени t :

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_1 - k_2} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a 10^{-k_2 t} \quad (6)$$

На **рисунке 4.1** представлена схема изменения кислородного баланса при одновременном протекании процессов потребления и растворения кислорода. Очевидно, что общее содержание растворённого кислорода сначала падает до известного минимума (пункт наблюдения наивысшей концентрации взвешенных веществ), а затем, примерно с четвёртого дня начинает возрастать. Место наименьшего содержания кислорода на кривой 3 носит название кислородного прогиба (критическая точка).

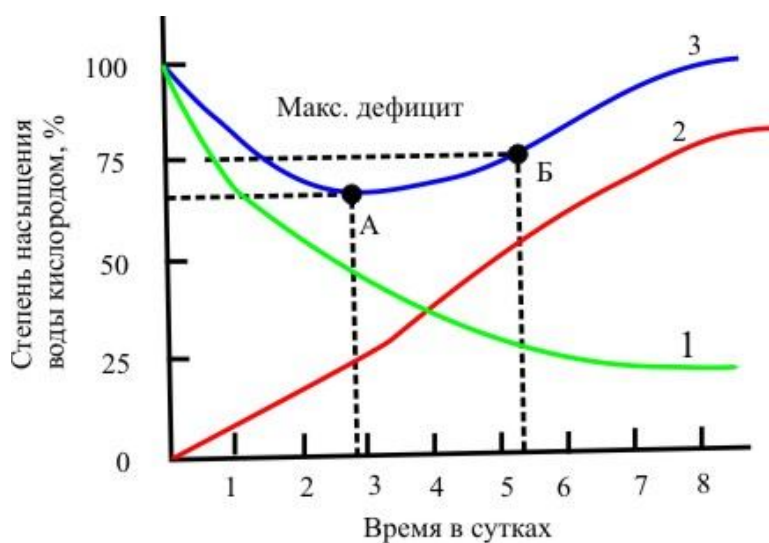


Рисунок 4.1 - Схема изменения кислородного баланса

1 — степень потребления кислорода без реаэрации по уравнению (3); 2 — процесс реаэрации по уравнению (4); 3 — баланс кислорода рассчитывается по уравнению (5); А — критическая точка максимального дефицита кислорода; Б — точка максимальной скорости восстановления кислорода

Во многих случаях при $T=20^0$ С коэффициент $k_2 = 0,2$, т.е. вдвое больше константы k_1 . На неглубоких участках реки при наличии быстрого течения и других условий,

способствующих хорошему перемешиванию, значение k_2 может быть значительно (иногда в 10 раз) больше величины k_1 .

По имеющимся исследованиям можно принимать следующие значения k_2 :

- для водохранилищ и слабопроточных водоёмов 0,05 – 0,15
- для рек с малой скоростью течения 0,2 – 0,25
- для рек с большой скоростью течения ($> 0,5$ м/с) 0,3 – 0,8
- для малых рек 0,5 – 0,8

Время $t_{кр.}$, соответствующее минимуму содержания кислорода, можно определить из уравнения (4) приравниванием нулю первой производной этого уравнения по t .

$$10^{(k_2 - k_1)t} = \frac{k_2}{k_1} \left[1 - \frac{D_a(k_2 - k_1)}{k_1 L_a} \right], \quad (7)$$

откуда

$$t_{кр.} = \frac{\lg \left\{ \frac{k_2}{k_1} \left[1 - \frac{D_a(k_2 - k_1)}{k_1 L_a} \right] \right\}}{k_2 - k_1}. \quad (8)$$

После определения $t_{кр.}$, можно, зная L_a и D_a , определить из того же уравнения (4) D_t , а следовательно, и минимальное содержание кислорода. Допустимый уровень в нашем случае 4 мг/дм³.

Кислородный режим реки зависит от температуры. При повышении температуры воды скорость потребления кислорода возрастает, а так как скорость реэрации при этом почти не изменяется, то летом минимум содержания кислорода наступает быстрее и содержание кислорода в реке будет меньше. Принимая к тому же во внимание, что растворимость кислорода в воде летом уменьшается, следует признать летние условия в отношении содержания кислорода в реке менее благоприятными, чем зимние (при отсутствии ледяного покрова). Ледяной покров в зимнее время почти приостанавливает реэрацию, и содержание кислорода может очень сильно уменьшиться.

На *рисунке 4.2* показано изменение содержания кислорода в воде реки при различных температурах.

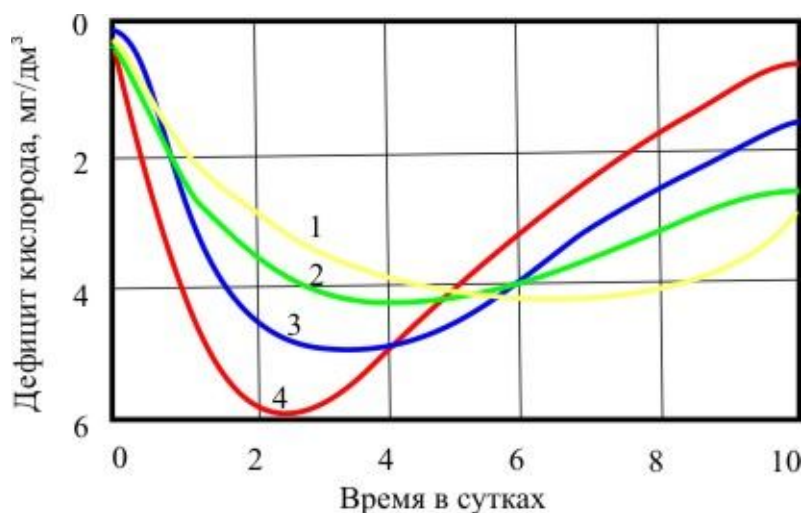


Рисунок 4.2 - Влияние температуры на изменение содержания растворенного кислорода

1 – при температуре 5 °C; 2 – то же, 10 °C; 3 – то же, 20 °C; 4 – то же, 30 °C

Начальный дефицит принят во всех случаях равным нулю. Первоначальная величина БПК₅ условно принята равной 20 мг/дм³. При температуре 20° C константы $k_1 = 0,1$ и $k_2 = 0,2$.

Максимальный дефицит при температуре 5 и 30° C наблюдается соответственно через 5,5 и 2,5 дня, причём значение дефицита кислорода в первом случае достигает 4 мг/дм³, а в последнем - 6 мг/дм³.

Большое значение на содержание растворённого кислорода в водоёме оказывает и величина начального содержания органического вещества. На **рисунке 4.3** показаны кривые изменения содержания кислорода в воде водоёма, вычисленные по формуле (4) для первоначальной L_a , равной 2, 5, 10, 20, 30 и 40 мг/дм³. Во всех случаях начальный дефицит кислорода принят одинаковым - около 1 мг/дм³, а температура 20° C.

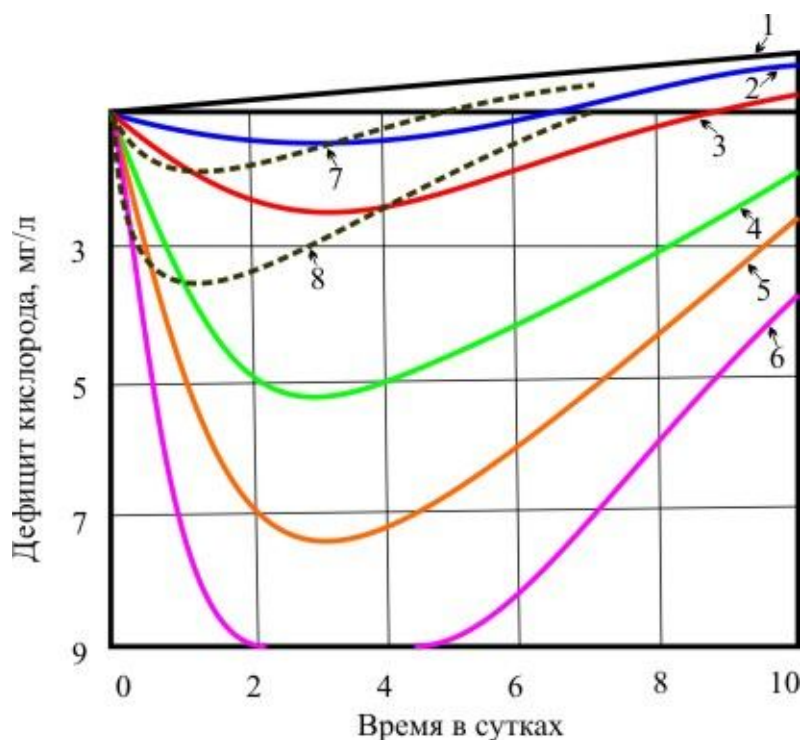


Рисунок 4.3 - Влияние первоначальной БПК и коэффициента реэрации на изменение содержания растворенного кислорода

1 - $L_a=2$, $k_2=0,2$; 2 - $L_a=5$, $k_2=0,2$; 3 - $L_a=10$, $k_2=0,2$; 4 - $L_a=20$, $k_2=0,2$; 5 - $L_a=30$, $k_2=0,2$;
 6 - $L_a=40$, $k_2=0,2$; 7 - $L_a=20$, $k_2=0,8$; 8 - $L_a=40$, $k_2=0,8$

Из рассмотрения *рисунка 4.3* и формулы (6) видно, что время до наступления минимума содержания кислорода при прочих равных условиях увеличивается с возрастанием начальной величины БПК (L_a), но увеличение это незначительно и время наступления минимума колеблется от 2 до 3 дней. Из этой же формулы можно видеть, что время наступления минимума содержания кислорода будет тем меньше, чем больше начальный дефицит кислорода D_a . Время это, а следовательно, и расстояние критической точки от начального места смыва органических веществ, зависят главным образом от температуры.

От начальной БПК значительно зависит величина падения содержания кислорода. Как видно из *рисунка 4.3* и формулы (6), дефицит кислорода в критической точке $D_{кр}$ возрастает почти прямо пропорционально начальной БПК (L_a).

При плохих условиях реэрации, т.е. при небольшом значении коэффициента k_2 и высокой температуре воды летом, дефицит кислорода D_t может дойти до полного, т.е. растворённый кислород на некотором участке водотока может отсутствовать полностью. Из *рисунка 4.3* видно, что такие условия наступают, например, при $L_a = 40$ мг/дм³ и $k_2 = 0,2$. В этом случае, даже при учёте одновременного потребления и растворения кислорода,

содержание его в воде водотока падает до нуля. На рисунке это выражается тем, что кривая содержания кислорода пересекается с осью абсцисс, соответствующей полному отсутствию растворённого кислорода или дефициту его при температуре речной воды 20° С, равному 9,17 мг/дм³. С другой стороны, при хорошей реаэрации, превышающей потребление кислорода и незначительном начальном содержании органических веществ, может оказаться, что снижения содержания растворённого кислорода не будет.

Из *рисунка 4.3* видно, как велико значение константы растворения кислорода. При том же начальном значении $L_a = 40$ мг/дм³, но при $k_2 = 0,8$ дефицит кислорода составляет лишь 3,8 мг/дм³, и наименьшее содержание кислорода равно: $9,17 - 3,8 = 5,37$ мг/дм³. Кроме того, момент наибольшего содержания органических веществ и начало возрастания кислорода наступают значительно раньше. Ввиду того, что скорость реаэрации пропорциональна дефициту кислорода, на такую величину реаэрации ($k_2 = 0,8$) рассчитывать не следует.

В этом случае скорость потребления кислорода в начальный период будет значительно превышать скорость его растворения за счёт реаэрации, и может наступить момент, когда дефицит кислорода будет больше расчётного и содержание его в воде упадёт ниже допустимого предела 4 мг/дм³.

При определении величины реаэрации водотоков вместо константы скорости кислорода k_2 , исчисляемой на единицу объема, можно принимать коэффициент реаэрации A , исчисляемый на единицу площади поверхности, обычно в граммах кислорода на 1 м² площади поверхности водного объекта в сутки.

Коэффициент реаэрации сразу показывает содержание растворяющегося кислорода и поэтому может назван величиной реаэрации. Он главным образом зависит от дефицита кислорода в воде водоёма, но также, как константа скорости растворения, зависит от температуры и всех тех условий, которые влияют на перемешивание воды: от глубины, формы русла, скорости течения, наличия ветра и пр.

По эмпирическим данным, в разное время года величина коэффициента реаэрации в зависимости от дефицита кислорода и температуры колеблется от 0,5 до 5,0 г на 1 м² площади поверхности водного зеркала в сутки.

Если количество растворённого кислорода в начальном и конечном пунктах остаётся одинаковым и, следовательно всё снижение величины БПК на рассматриваемом участке происходит за счёт реаэрации, то средняя величина коэффициента реаэрации A может быть определена по формуле:

$$A = \frac{Q(L_a - L_t)}{F}, \quad (9)$$

где

Q – расход воды, м³/сутки;

L_a и L_t – БПК в начальном и конечном пунктах, г/м³;

F – площадь поверхности водного зеркала на всём протяжении участка от начального до конечного пункта, м².

На протяжении рассматриваемого участка этот коэффициент может меняться в зависимости, как указано выше, от дефицита кислорода и других причин.

По этой формуле можно определить величину участка реки на котором происходит окисление органических веществ, попавших в водный объект.

В приведённых выше расчётах следует учитывать не только количество взвешенных веществ, поступивших с территории водосбора (аллохтонное органическое вещество), но также и органическое вещество, которое может образоваться в результате продукционных процессов фито- и зоопланктона (автохтонное органическое вещество).

4.3 Определение зон повышенной мутности водотоков

Стекающие по поверхности водосбора талые и дождевые воды транспортируют почвенные частицы, которые, попадая в русло потока, образуют сток наносов или твердый сток.

В почвах и породах могут находиться частицы диаметром как менее 0,001 мм, так и более крупные. Исторически первая классификация фракций предложена А. Аттербергом в 1912 году и была основана на изучении физических свойств монофракционных смесей. Данная шкала легла в основу более новых зарубежных классификаций. В СССР была принята классификация Н.А. Качинского, *таблица 4.1*.

Таблица 4.1 - Шкала Качинского

Граничные значения, мм	Название фракций
до 0,001	Ил
0,001 – 0,005	Мелкая пыль
0,005 – 0,01	Средняя пыль
0,01 – 0,05	Крупная пыль
0,05 – 0,25	Тонкий песок
0,25 – 0,5	Средний песок
0,5 - 1	Крупный песок

Из попавшей в поток части наносов мелкие фракции взвешиваются потоком и составляют взвешенные наносы, более крупные перемещаются влечением по дну и образуют влекомые или донные наносы.

Выделяются внешние и внутренние источники питания водотоков наносами. К внешним источникам относится поступление материала со склонов водосборного бассейна, непосредственно примыкающих к руслам ручьёв и рек. Внутренними источниками питания наносами рек и ручьёв в основном являются отложившиеся ранее русловой и пойменный аллювий [24].

На развитие эрозионных процессов большое влияние оказывают азональные факторы – характер рельефа, местные почвенные различия, глубина местных базисов эрозии. Особое значение имеет наличие или отсутствие растительного покрова, а также система агротехнических мероприятий. Соотношение интенсивности эрозии со склонов при различных состояниях почвы и агрофона представлена в *таблице 4.2* [25].

Таблица 4.2 - Интенсивность эрозии на различных почвах

Тип почвы	Характер сельскохозяйственных угодий и метод обработки почв	Отношение интенсивности эрозии к эрозии на почвах типа I
I	Зяблевая вспашка на бесструктурных почвах	1,0
II	Озимые поля на бесструктурных почвах	0,5 – 0,75
III	Зяблевая вспашка на структурных почвах с оборотом пласта	0,2
IV	Залежные земли и многолетние травы	0,1
V	Л е с	0,00

Установлено, что мутность рек, также как мутность ручьёв, на склонах повышается с увеличением уклона бассейна и распаханности; с возрастанием степени покрытости бассейна растительностью мутность уменьшается [26]. Травяной и особенно лесной покров предотвращают эрозионные процессы.

По данным справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР, т.5» [8], на территории Беларуси выделяется две зоны: с малой мутностью до 25 мг/дм³ и повышенной – от 25 до 50 мг/дм³. Территория зоны с повышенной мутностью разделена на два участка – восточный, охватывающий восточную часть Витебской области, а также северную часть Могилёвской области, и западный – приуроченный в основном к Гродненской и западной части Минской области.

В практической работе по оценке влияния мутности на заморные явления следует руководствоваться следующими характеристиками:

- концентрация тонкодисперсных взвешенных веществ (мутность) до 25 мг/дм³ практически не оказывает отрицательного воздействия на состояние ихтиофауны;
- концентрации, превышающие 25 мг/дм³, вызывают снижение улова рыб в водоёмах;
- концентрации свыше 35 мг/дм³ уменьшают интенсивность питания рыб;
- концентрация в 85 мг/дм³ – минимальная концентрация взвесей, зарегистрированная в воде, где почти полностью отсутствовала рыба, притом, что остальные факторы среды были удовлетворительными;
- критические величины гибели рыб, находятся в диапазоне от 100 до 300 мг/дм³.

Следует ещё раз отметить, что повышенное содержание тонкодисперсных взвешенных веществ (и особенно органических частиц) в водных объектах обуславливает значительный расход кислорода на его минерализацию, препятствует поступлению солнечной энергии в водную толщу и ослаблению фотосинтезирующей деятельности водорослей, губительно для рыб, так как жабры забиваются взвешенными веществами и рыбы могут погибнуть от удушья.

4.4 Определение водотоков, потенциально предрасположенных к заморным явлениям, по содержанию соединений железа

Железо почти всегда присутствует в природных водах, т.к. оно повсеместно рассеяно в породах. Формы присутствия железа в воде многообразны. При pH равном 8,0 основной формой является Fe(OH)₃. При уменьшении значений pH происходит изменение соотношений между различными формами гидроокиси железа и сильно повышается доля других форм, в частности свободных ионов железа по сравнению с недиссоциированной Fe(OH)₃ и увеличивается растворимость железа. В двухвалентном состоянии железо находится лишь при низких значениях pH.

Как отмечалось выше, низкие значения pH в диапазоне 3,0 – 5,0 летальны для лососевых, вредны для линя, леща, плотвы, карася, карпа. Значения pH ниже 5,4 опасны для карпа и линя, особенно в присутствии большого количества железа.

По литературным данным соли железа имеют низкую токсичность. Однако в эксперименте присутствие в воде всего 1 мг/дм³ было достаточным, чтобы pH 5,0 стало пороговым значением. По другим данным максимально допустимые концентрации железа для ручьевой форели составляли 7,5 – 12,5 мг/дм³.

Высокие значения pH в диапазоне 10,5 – 11,0 – остролетальны для лососевых; в диапазоне 11,0 – 11,5 - губительны для всех видов рыб. В водных объектах, где обильная водная растительность (включая водоросли) сочетается с высокой температурой и

повышенной солнечной радиацией, мощная фотосинтетическая активность может на короткое время значительно повысить pH воды.

Повышенное содержание железа наблюдается в болотных водах, в которых оно находится в виде комплексов с солями гуминовых кислот – гуматами.

В основу выявления водотоков, потенциально предрасположенных к заморным явлениям, положена почвенная карта Беларуси, на которой выделены реки, поймы которых преимущественно заняты гидроморфными, торфяно-болотными почвами – торфяно-болотными низинами, торфяно-болотными верховыми и переходными, торфяно-болотными аллювиальными.

4.5 Определение опасного уровня соединений аммиака

В большинстве исследований водных объектов Беларуси приводятся сведения по содержанию в воде формы «ионизированного аммиака», ионов аммония - NH_4^+ и практически отсутствуют данные по содержанию «неионизированной», свободной формы аммиака – NH_3 .

Вместе с этим, как указывалось выше, аммиак в щелочной среде более токсичен, чем в кислой, вместе с этим, в составляющей «аммиака» токсична только «неионизированная» молекула, а аммоний – малотоксичен или вообще нетоксичен.

Между ионами аммония и свободным аммиаком, растворённым в воде, существует подвижное равновесие, зависящее от pH и температуры. Эта зависимость представлена на *рисунке 4.4*

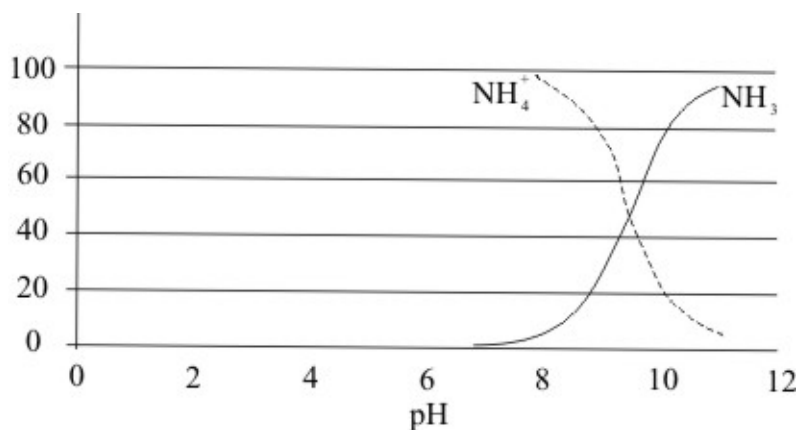


Рисунок 4.4 – Соотношение аммиака и ионов аммония в зависимости от pH воды

Долю (в %) «неионизированного» аммиака в растворе (D) для практических целей также можно вычислить по формуле:

$$D = \frac{100}{1 + \text{антилог.}(pK_a - pH)},$$

где pK_a – отрицательный логарифм константы ионизации.

Например, увеличение значения pH на 0,3 (от 7,0 до 7,3) удваивает концентрацию неионизированного аммиака в растворе, хотя этот эффект уменьшается при pH выше 8,5. Величина pK_a зависит от температуры. Повышение температуры на 10°C удваивает концентрацию неионизированного аммиака.

5 НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Мероприятия по предупреждению заморных явлений можно подразделить на:

- организационные;
- профилактические;
- оперативные;
- экстренные.

В состав *организационных*, включены мероприятия, направленные на обеспечение специалистов Минприроды Республики Беларусь информационными материалами, позволяющими оценивать количественные и качественные характеристики водоёмов, потенциально предрасположенных к заморным явлениям, а также информацией о погодных условиях, влияющих на состояние водных объектов:

- составление базы данных водоёмов, потенциально предрасположенных к заморным явлениям (по морфометрическим и гидрологическим параметрам);
- составление базы данных малых водотоков, потенциально предрасположенных к заморным явлениям (по гидрологическим параметрам, условиям формирования гидрохимического стока);
- составление среднесрочных прогнозов, влияющих на формирование предзаморных явлений, в частности - прогнозов по определению температурного режима воды, являющегося летальным для рыб, летних паводочных явлений, влияющих на вынос органических веществ в водные объекты и др.

Комплекс *профилактических* мероприятий направлен на предотвращение заморных явлений на водных объектах, а именно:

- скашивание и уборка жёсткой растительности в заморных водоемах;
- создание сплошных лесокустарниковых полос вдоль берегов рек, предотвращающих смыв органических и тонкодисперсных веществ;
- расчистка притоков, организация дополнительного водообмена на водных объектах.

Оперативные мероприятия по предотвращению заморных явлений на водных объектах включают быстрое (оперативное) предотвращение заморных явлений, и направлены на увеличение содержания растворённого кислорода в воде:

- аэрация воды – механическая, либо воздушная;
- известкование водных объектов;
- очистка водоёмов от снега, обустройство прорубей, лунок.

Экстренные мероприятия:

- тотальный облов заморных водоёмов.

В настоящем разделе даётся краткая характеристика некоторых мероприятий, направленных на повышение содержание растворённого кислорода в водных объектах, а также предотвращению заморных явлений в целом.

5.1 Известкование водной толщи

В соответствии с «Инструкцией о порядке известкования прудов рыбоводных организаций» [26] в летнее время в интенсивно эксплуатируемых прудах с целью осаждения чрезмерно большого количества органических веществ, находящихся в толще воды, а также нормализации содержания кислорода и предупреждения заморов рыб применяется внесение извести по воде.

Внесение извести по воде способствует улучшению кислородного режима за счёт «консервации» органического вещества в бескислородных донных слоях и ускорение процесса фотосинтеза одноклеточных водорослей.

В водоёмах донные отложения имеют активный слой, часто толщиной не более 1-2 см, в котором происходят процессы окисления органического вещества. Глубже кислород практически отсутствует и там происходят процессы анаэробного, т.е. бескислородного окисления. Наличие известкового материала способствует переходу части органического вещества из водной толщи в более глубокие слои донных отложений, тем самым растворённый кислород, который мог быть израсходован на окисление этого органического вещества, остаётся в водной толще.

Переход части органического вещества в бескислородные слои донных отложений таит в себе опасность анаэробного разложения, конечными продуктами которого могут быть ядовитые для рыб сероводород (H_2S), метан (CH_4) и аммиак (NH_3). Попавшая с органическим веществом известь тормозит процессы разложения, как бы «консервирует» его.

Для известкования прудов применяют в основном три вида извести : окись кальция CaO , которая называется негашеной известью, гашеная известь $Ca(OH)_2$, и известняк, состоящий в основном из углекислого кальция $CaCO_3$.

Природный известняк применяется в виде порошка. Действие его значительно более медленное, чем гашеной и негашеной извести из-за малой растворимости, в связи с чем, снижается риск передозировки его при использовании.

При обжиге природного известняка получают негашеную известь CaO . При соединении с водой негашеная известь «гасится» и превращается в гашеную.

Нейтрализующая способность разных видов извести различна. Для гашеной извести она в 1,3 раза, а для известняка в 1,8 раза меньше, чем для негашеной. Чаще всего для известкования водоёмов используют гашеную известь, представляющую собой тонкий порошок серовато-белого цвета, «пушонку».

Нормы внесения извести необходимо применять в соответствии с «Инструкцией о порядке известкования прудов рыбоводных организаций» [29], *таблица 5.1*.

Таблица 5.1 – Нормы известкования ложа прудов, ц/га

pHс	Негашеная известь, СаО	Гашеная известь, Са(ОН) ₂	Известняк, СаСО ₃
4,0	20,0	26,0	36,0
4,5	15,0	19,5	27,0
5,0	10,0	13,0	18,0
5,5	5,0	6,5	9,0
6,0	3,0	3,5	5,4
6,5	1,0 – 2,0	1,3 – 2,6	1,8 – 3,6

Вместе с этим следует помнить, что известкование является эффективным мероприятием только в том случае, если в водоёме имеется достаточное количество органического вещества.

5.2 Аэрация водоёмов

Накоплен достаточно большой опыт аэрации водоёмов с целью предотвращения заморных явлений [30-37] и др. Следует отметить, что выбор метода аэрации водной толщи определяется типом водоёма, видом хозяйственного использования водного объекта, характером и причинами заморных явлений, а также экономической целесообразностью.

Аэрацией называется процесс, при котором воздух тесно контактирует с водой, путем распыления воды в воздухе, или пропуская пузырьки воздуха через воду. Аэрация может использоваться при насыщении воды кислородом для окисления таких веществ как железо, или способствовать удалению из воды растворенных газов, таких как двуокись углерода или сероводород. Наряду с этим, применяется способ аэрации, использующий гидромеханическое перемешивание водной толщи [34].

Существуют аэраторы четырех типов: гравитационные, поверхностные, диффузионные и турбинные, а также конструкции, в которых сочетаются различные признаки. Выделяют также распылительные, эжекторные, U-образные аэраторы.

В данном разделе рассматриваются два наиболее доступные способа аэрации водной толщи – диффузионный (основанный на методе распыления воздуха в водной толще) и гидромеханическое перемешивание воды.

5.2.1 Диффузная аэрация водоёмов

Известно, что скорость насыщения воды кислородом зависит от площади границы раздела двух сред (вода/воздух), коэффициента переноса и градиента концентрации кислорода.

Интенсивность перехода воздуха (кислорода) в воду I зависит от ряда факторов, по разному влияющих на эффективность аэраторов:

$$I = f(D_t, K, A_{\phi}/W_e),$$

где $D_t = (C_n - C_t)$; дефицит кислорода в воде = разность между концентрацией кислорода при 100%-ном насыщении воды C_n и текущей концентрацией C_t ; K – коэффициент переноса кислорода; A_{ϕ}/W_e – отношение площади контактирования фаз газ-жидкость A_{ϕ} к объёму аэрируемой жидкости W_e [34].

Величины, входящие в формулу, характеризующие массообмен, в свою очередь, нелинейно зависят от начальных, граничных и текущих условий процесса, потребления кислорода констант и наличия примесей в фазах.

Дефицитом кислорода D_t контролируется скорость перехода кислорода в воду. Концентрация кислорода в воде при насыщении C_n зависит от его парциального давления и концентрации в воздухе, температуры и солёности воды, а также наличия органических и неорганических примесей. При этом, повышение парциального давления и концентрации кислорода в воздухе, увеличение гидростатического давления, снижение температуры и солёности воды, отсутствие в ней примесей и выравнивание концентрации кислорода увеличивают скорость и объём насыщения кислородом.

Коэффициент переноса кислорода K зависит от скорости диффузии кислорода через пограничный слой. Турбулизация поверхности раздела фаз уменьшает толщину этого слоя и увеличивает скорость диффузии, а конвекция в глубинных слоях воды усиливается с повышением температуры.

Отношение A_{ϕ}/W_e характеризует удельную площадь контакта воды с воздухом и при неизменных остальных факторах увеличивает массообмен.

Таким образом, факторами интенсификации массообмена, которые целесообразно оценивать и использовать при создании и эксплуатации технических средств аэрирования водных объектов являются: повышение давления в фазах, изменение температуры среды (при снижении повышается растворимость, а при повышении увеличивается конвекция), очистка воды от примесей, выравнивание концентрации кислорода в массе воды, турбулизация пограничного слоя фаз, усиление конвекции воды в глубинных слоях воды, увеличение площади и времени контактирования фаз.

С учётом этого приведённое выше выражение может быть представлено в следующем виде:

$$I = f \{ (C'_t \rightarrow C''_t), K_{mz}, S_k, t_k \}$$

где $(C'_t$ и C''_t – соответственно концентрации кислорода в отдельных слоях и полученной смеси; K_{mz} – коэффициент турбулизации границы раздела фаз; S_k и t_k – площадь в время контактирования фаз.

Хотя это выражение не имеет аналитического решения в замкнутом виде, оно позволяет классифицировать способы аэрации и построить структурную схему аэрирования водного объекта, которые с разных сторон обобщают и конкретизируют определённые аспекты, позволяя выбрать схему и технические средства аэрации.

5.2.2 Гидромеханическое перемешивание водной толщи

Существует несколько способов аэрации, использующих гидромеханическое перемешивание:

- образование течений, сопровождающихся перемещением больших объёмов воды, при этом потоки воды движутся по замкнутым, сильно вытянутым траекториям, размеры которых соизмеримы с размерами водоёма; плоскость, в которой перемещаются слои воды, как правило, вертикальная;
- образование вихрей, характеризующихся движением слоёв воды по круговым траекториям, расположенных в горизонтальных плоскостях; такое перемещение обычно сопровождается образованием воронок в центре вращения;
- образование волнения, возникающего в результате возмущения поверхности водоёма и сочетающего в себе круговое движение воды в вертикальной плоскости (Стоксово течение) [34].

Для аэрации небольших водоёмов и изолированных объёмов могут успешно применяться различные способы гидромеханического перемешивания и их комбинации, а аэрация больших акваторий возможна только способами гидромеханического перемешивания.

5.2.3. Примеры низкзатратных способов аэрации заморных водоёмов

Как отмечалось выше, наиболее эффективны два способа аэрации заморных водных объектов – диффузная аэрация водной толщи, основанная на поступлении кислорода воздуха в водную толщу, а также гидромеханическое перемешивание водной толщи. Использование небольших по размерам, низкзатратных в изготовлении и

эксплуатации ветряных установок в целях аэрации заморных водных объектов можно рассматривать как наиболее доступные для условий Беларуси.

В мировой практике наиболее распространены два вида небольших по размерам ветроустановок:

- ветроустановки, передающие энергию ветра непосредственно на лопасти винта, производящего гидромеханическое перемешивание водной массы;
- ветрогенераторы, вырабатывающие электроэнергию и подающие её на погруженные компрессоры, производящие диффузную аэрацию водной толщи кислородом воздуха.

Ниже рассматриваются два способа аэрации заморных водных объектов с использованием низкочередных ветряных установок.

На *рисунке 5.1* представлена ветроустановка, с горизонтальной осью вращения ветрового пропеллера, передающего энергию ветра на погруженные в воду лопасти, производящие гидромеханическое перемешивание водной массы заморного водоёма, обогащая его кислородом. Данный тип гидромеханической аэрации применим для условий создания в зимнее время прорубей во льду и установки в них аэраторов, либо в летнее время для предотвращения предутренних заморов. В зимнее время проруби оборудуются устройствами из камыша или соломы для предотвращения их замерзания, либо комбинируются с другими устройствами, предотвращающими замерзание, например, указанными в работе И.Н. Алешкова, «Незамерзающие проруби» [36].

Размеры ветрового пропеллера и погруженных лопастей рассчитываются исходя из параметров водоёма и силы господствующих ветров данной местности. В летнее время ветроустановка монтируется на поплавках и крепится к шесту, установленному на дне водоёма, что позволяет ей перемещаться в соответствии с направлением ветра по большой площади акватории водоёма.

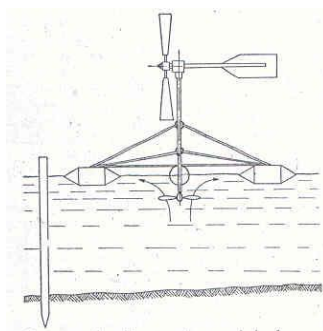


Рисунок 5.1 – Ветроустановка гидромеханического перемешивания водной массы [38]

На *рисунке 5.2* представлена ветроустановка-генератор с горизонтальной осью вращения пропеллера.

Ветряной пропеллер вращает электрогенератор, от которого электроэнергия передаётся по кабелю на погружённый компрессор, обеспечивающий прокачку кислорода воздуха через водную толщу. Данный тип ветрогенератора может устанавливаться непосредственно на льду заморного водоёма в зимнее время, либо на поплавках, как указывалось выше, в летнее время.

Как и в первом случае, расчёты размеров ветряного пропеллера, мощности электрогенератора и компрессора производятся в зависимости от целей и задач аэрации водоёма.

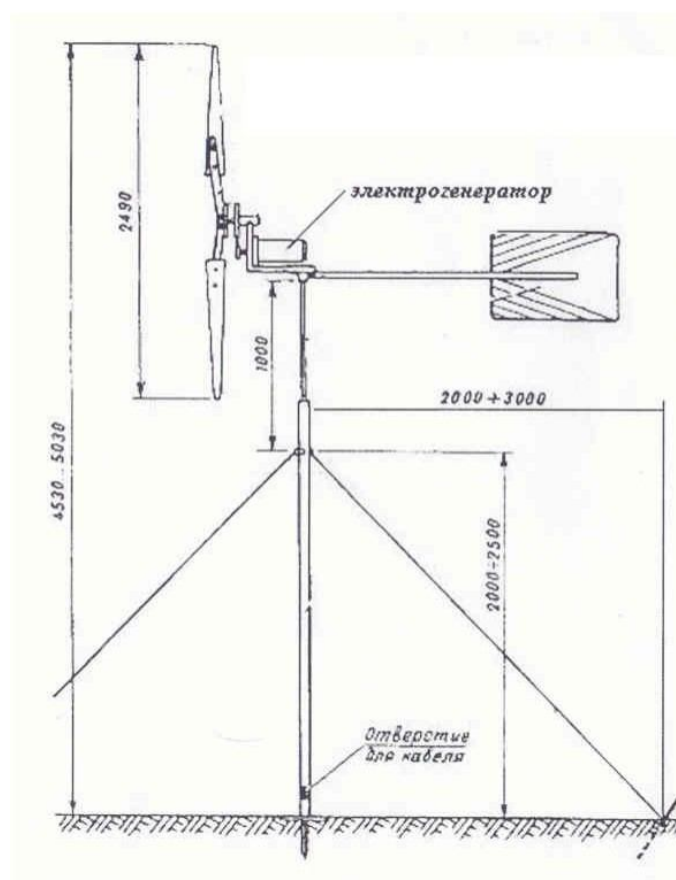


Рисунок 5.2 – Ветрогенератор с горизонтальной осью вращения пропеллера [39]

Для больших по площади заморных водоёмов может устанавливаться несколько ветроустановок, предназначенных как для гидромеханического перемешивания водной массы, так и ветрогенераторов, *рисунк 5.3*.

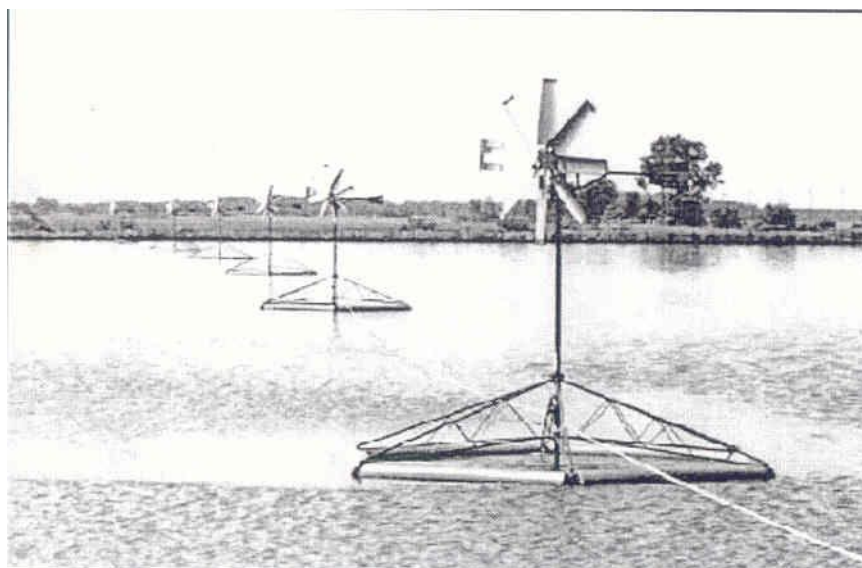


Рисунок 5.3 – Установка нескольких ветрогенераторов на водоёме большой площади [39]

В указанном выше интернет-источнике приводится описание ветрогенератора с вертикальной осью вращения ветроколеса, *рисунок 5.4*.

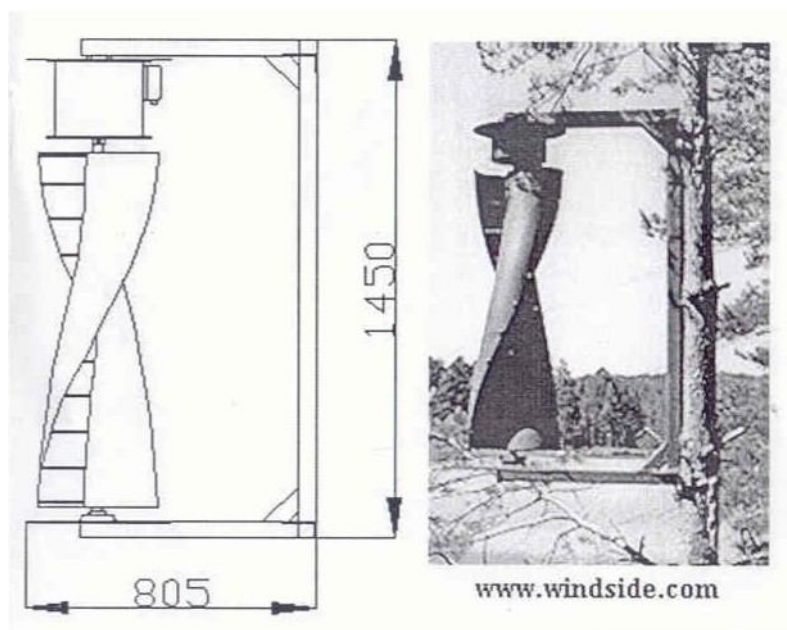


Рисунок 5.4 – Ветрогенератор с вертикальной осью вращения ветроколеса [39]

Здесь же указывается, что ветрогенераторы данного типа несложно изготовить из подручного материала – ненужной стальной, алюминиевой, либо пластмассовой бочки. Эта установка может быть применена и для гидромеханического перемешивания водной массы с использованием подводных лопастей.

На *рисунке 5.5* представлена ещё одна модификация ветрогенератора с вертикальной осью вращения ветроколеса.

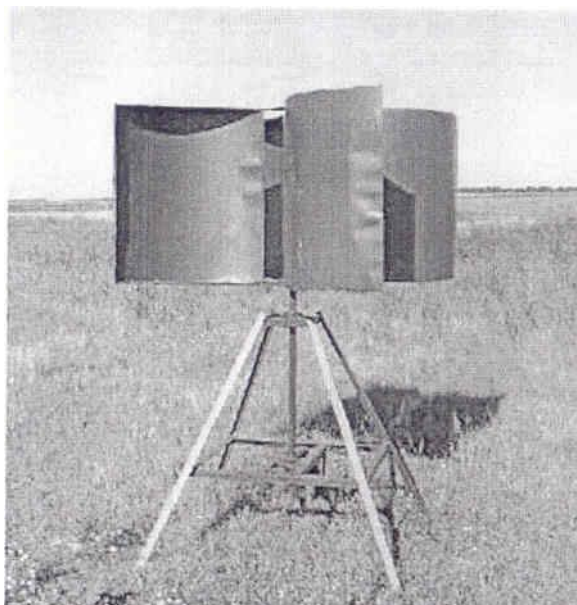


Рисунок 5.5 – Одна из модификаций ветрогенератора с вертикальной осью вращения ветроколеса [39]

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костоусов, В.Г. Оценка современного состояния рыбных ресурсов и рыбохозяйственного фонда водоемов Беларуси / В.Г. Костоусов // Стратегия развития аквакультуры в условиях XXI века: матер. Междунар. науч.-практич. конф. (Минск, 23-27 августа 2004 г.). – Мн.: ОДО «Тонпик», 2004. – С. 192-196.
2. Жуков, П.И. Справочник по ихтиологии, рыбному хозяйству и рыболовству в водоёмах Беларуси / П.И. Жуков. – Мн.: ОДО «Тонпик», 2004, Т. 2. – 168 с.
3. СТБ 17.06.02-02-2009. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация поверхностных и природных вод. Введен 2009-07-01.- Мн. : Госстандарт, 2009. – 12 с.
4. Правила ведения рыболовного хозяйства и рыболовства [утверждено Указом Президента Республики Беларусь 08.12.2005 № 580].
5. Костоусов, В.Г. О состоянии рыбных ресурсов и рыболовства в естественных водоёмах Республики Беларусь / В.Г. Костоусов, И.И. Оношко, А.В. Лещенко //Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. Сборник научных трудов. – Вып. 22. – Мн. : ОДО «Тонпик», 2006. - С. 77 – 89.
6. Тюльпанов, А. И. Краткий справочник рек и водоемов БССР / А. И. Тюльпанов, И. А. Борисов, В. И. Благутин //. – Мн.: Госиздат БССР, 1948. – 626 с.
7. Боровик, Е. А. Озера Белорусской ССР / Е. А. Боровик. – Минск, 1964.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озёр. Белоруссия и Верхнее Приднепровье. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – Т. 5. – Ч. 1. – С. 911-1008.
9. Якушко, О. Ф. Озера Белоруссии / О. Ф. Якушко [и др.]. – Мн. : Ураджай, 1988. – 215 с.
10. Озера Беларуси: Справочник / Б.П. Власов [и др.].- Мн. : БГУ, 2004 - 284 с.
11. Водохранилища Беларуси: Справочник. / М.Ю. Калинин [и др.]. - Мн. : ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа», 2005. - 182 с.
12. Юревич, Р.А. Особенности создания и народнохозяйственное использование водохранилищ Белоруссии / Р.А. Юревич, А.П. Кулешов // Гидрографическая сеть Белоруссии и регулирование речного стока. – Мн.: Университетское, 1992. – С. 120 – 127.
13. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила токсации рыбохозяйственных водных объектов. Введен 01.07.78. Ограничение срока действия снято Постановлением Госстандарта СССР от 26.88 № 99. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 13 с. – (Межгосударственный стандарт).
14. Пидгайло, М.Л. Краткая биопродукционная характеристика водоёмов Северо-Запада СССР / М.Л. Пидгайло [и др.] // Известия ГосНИОРХ, 1968. - Т.67. – С. 205-228

15. Оксикюк, О.П.. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксикюк [и др.] // Гидробиологический журнал, 1993. - Т. 29. - № 4. - С. 62-76.
16. Жуков, П.И. Справочник по ихтиологии, рыбному хозяйству и рыболовству в водоёмах Беларуси / П.И. Жуков. – Мн.: ОДО «Тонпик», 2004, Т. 1. – 286 с.
17. Алабастер, Дж. Критерии качества воды пресноводных рыб / Дж. Алабастер, Р. Ллойд. – М.: «Лёгкая и пищевая промышленность», 1984. -344 с.
18. Лукьяненко, В.И. Токсикология рыб / В.И. Лукьяненко. – М.: «Пищевая промышленность», 1967. – 201 с.
19. Богословский, Б.Б. Озероведение / Б.Б. Богословский. – М. : Издательство Московского университета, 1960. – 335 с.
20. Якушко, О.Ф. Озероведение. География озер Белоруссии / О.Ф. Якушко.- Мн. : «Вышэйшая школа», 1981. – 223 с.
21. О некоторых вопросах нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов / Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 8 мая 2007 г. № 43/42 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г. № 132, 8/16491).
22. Астапович, И.Т. Инструкция по определению предзаморного состояния в рыбоводных прудах / И.Т. Астапович, Г.П. Воронова // Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре в Беларуси. – Мн. : «Топник», 2006. С.246 – 249.
23. Карелин Я.В. Самоочищение воды в водоёме: Канализация / С.Я. Яковлев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1957. – С. 186 – 198/
24. Караушев, А.В. Теория и методы расчёта речных наносов / А.В. Караушев – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 272 с.
25. Бобровицкая, Н.Н. Изучение смыва почвы со склонов / Н.Н. Бобровицкая // Труды ГГИ. Режим, теория, методы расчёта и измерения наносов и сточных вод. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – С. 22- 30.
26. Соколовский, Д.Л. Речной сток (основы теории и методики расчётов) / Д.Л. Соколовский - Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 539 с.
27. Нацыянальны атлас Беларусі / кам. Па зямельных рэсурсах, гeadзэіі І картаграіі пры Савеце Міністраў Беларусі; гл. рэд. М.У. Мясніковіч [І інш.]. – Мінск: РУП «Белкартаграфія», 2002. – 292 с.
28. Грядунова О.И. Формирование минимального стока рек Беларуси в современных условиях : диссертация ... кандидата географических наук : 25.00.27 / О.И. Грядунова // [Место защиты: Российский государственный гидрометеорологический университет]. – Санкт-Петербург, 2009. 172 с.
29. Об утверждении инструкции о порядке известкования прудов рыбоводных организаций / Постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 18 марта 2005 г. № 18 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 13.04.2005, №56, рег. № 8/12365 от 04.04.2005).
30. Мосевич, Н.А., Причины зимнего кислородного дефицита в озёрах и пути борьбы с заморами рыб / Н.А. Мосевич, П.М. Решетников, М.Д. Тиронов // Заморные явления в озёрах и меры их предупреждения. – Новосибирск : Новосибирское книжное издательство, 1959, С. 6 – 11.
31. Мосевич, Н.А. Пневматическая аэрация водоёмов / Н.А. Мосевич // Заморные явления в озёрах и меры их предупреждения. – Новосибирск : Новосибирское книжное издательство, 1959. – С. – 12 – 36.

32. Шпет, Г.И. Заморы, их причины, последствия и меры предупреждения / Г.И. Шпет. – М., 1963. – 17 с.
33. Профилактика замора рыб/ В.Я. Линник [и др.]. – Мн. : Урожай, 1967. – 36 с.
34. Акимов, В.А. Технические средства аэрации рыбоводных прудов / В.А. Акимов, В.С. Гуенко, Ю.Н. Савченко. – М. : Агропромиздат, 1990. – 79 с.
35. Мухачёв, И.С. Новые подходы к развитию товарного рыбоводства в Зауралье / И.С. Мухачёв, И.П. Силкин, Н.Б. Чудинов – Рыбное хозяйство, М., 2006. № 3. С. 23-26.
36. Алешков, И.Н. Незамерзающие проруби / И.Н. Алешков [и др.] - Рыбоводство и рыбное хозяйство, М., 2006. - № 3. –С. 69-71.
37. Помогаева, В.В. Повышение эффективности струйной аэрации естественных водоёмов и биологических прудов : . дис. ...канд. техн.. наук: 05.23.04 / В.В. Помогаева. – Москва, 2009. – 176 с.
38. Mechanizacja urzadzen zabezpieczajacych dostep tlenu na zimowiska ryb / Gopodarka rybna, 1938 - Rok VIII. – s. 17
39. Ветряк в борьбе с заморами рыбы на водоёмах..- Mode access: <http://c-a-m.narod.ru/info/zamor.html>. - Date of access : 24.09/2010.