*УДК 577.4*

**Возможности in\_situ-технологии контроля экологического состояния водных объектов на основе биоиндикации. Часть 2. Границы нормы факторов среды, приводящих к экологическому неблагополучию**

**© 2014 г. Н.Г. Булгаков, А.П. Левич, Д.В. Рисник, П.В. Фурсова, Е.Л. Ростовцева**

*МГУ имени М.В.Ломоносова, биологический факультет,*

*119899 Москва, Воробьевы горы, д. 1, стр. 12*

*E-mail: apl@chronos.msu.ru*

В настоящей части статьи проиллюстрированы возможности in\_situ-технологии в установлении границ, разделяющих "допустимые" и "недопустимые" значения факторов среды, проведен анализ региональных особенностей найденных границ.

*Ключевые слова*:качество вод, экологический контроль, состояние экосистем, фитопланктон, зообентос, ихтиофауна

# ВВЕДЕНИЕ

Данная работа – вторая в серии статей, посвященных применению in\_situ-технологии, включает в себя примеры определения границ нормы физико-химических факторов, приводящих к экологическому неблагополучию водных объектов, и сравнение границ для различных водных бассейнов России и сопредельных стран. В первой части статьи [8] описаны материалы и методы исследования, освещены вопросы обнаружения групп однородности по отношению к факторам, не оказывающим негативного влияния на качество среды, но, возможно, влияющих на биоиндикаторы; а также для различных бассейнов и биоиндикационных показателей выявлены и ранжированы факторы, вносящие существенный вклад в экологическое неблагополучие.

# Обозначения

Гидрохимические показатели обозначены следующими сокращениями: биологическое потребление кислорода за 5 суток (БПК5), химическое потребление кислорода (ХПК), концентрации растворенного кислорода (O2), азота нитратного (NO3), нитритного (NO2) и аммонийного (NH4), фосфора фосфатов (PO4), общего фосфора (Pобщ), кальция (Ca), магния (Mg), суммы натрия и калия (Na+K), сульфатов (SO4), хлоридов (Cl), железа (Fe2+), железа общего (Feобщ), меди (Cu), цинка (Zn), никеля (Ni), свинца (Pb), хрома (Cr), кадмия (Cd), кобальта (Co), мышьяка (As), синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), сероводорода (H2S).

Обозначения индикаторов: $F\_{0}$ – фоновый уровень переменной флуоресценции пробы (все реакционные центры фотосистемы 2, возбуждаемой светом в коротковолновой части спектра, находятся в "открытом" состоянии); $F\_{m}$ – максимальный уровень переменной флуоресценции пробы (все реакционные центры фотосистемы 2 находятся в "закрытом" состоянии); $F\_{орг}$ – уровень флуоресценции растворенных органических веществ; $F\_{0 фито}=F\_{0}-F\_{орг}$ – фоновый уровень переменной флуоресценции фитопланктона; $F\_{m фито}=F\_{m}-F\_{орг}$ – максимальный уровень переменной флуоресценции фитопланктона; ***zk***, **β*k*** – параметры экспоненциальной и гиперболической моделей ранговых распределений численностей *k* доминирующих в пробе видов; $e\_{k}$ – индекс выравненности численностей *k* доминирующих в пробе видов; $\overbar{v}$ – средний объем клетки. Определения и методы расчета индикаторных показателей описаны в части 1 настоящего цикла статей [8].

**ГНФ** – граница нормы фактора, разделяющая его "допустимые" и "недопустимые" значения;

**ГНИ** – граница нормы индикатора, разделяющая его "благополучные" и "неблагополучные" значения;

**Метод ЛЭН** – метод установления локальных экологических норм [4, 5, 8];

Существенные факторы – факторы, негативно влияющие на состояние биоиндикатора [15].

# Примеры применения in\_situ-технологии для водных объектов России и сопредельных стран

## Установление границ нормы факторов

Результаты расчетов и сравнения верхних ГНФ с нормативами предельно допустимых концентраций (**ПДК**) для рек Европы и азиатской части России и Узбекистана приведены в табл. 1 (для организмов водной толщи) и табл. 2 (для организмов придонного слоя).

Обращает на себя внимание то, что по большинству переменных значения ГНФ мягче нормативов ПДК. Исключение составляют: концентрация NO3 (для всех экосистем), NH4 (для Западной Двины, Немана, Дуная, Верхней и Нижней Волги), Cr (для Дуная), БПК5 (для Верхней Волги), NO2 (для Верхней Волги), СПАВ (для Немана, Дуная, Волги и всех ее подбассейнов), Fe2+ (для Днестра).

Примечательно, что в пределах одного бассейна или подбассейна те гидрохимические факторы, превышение ГНФ по которым связано с неблагополучием оценок водной толщи, являются экологически существенными и для зообентоса, причем соответствующие ГНФ чаще всего равны или близки по значениям (оба подбассейна Амура). В то же время список существенных переменных толщи значительно отличается от такового для придонного слоя в бассейне Лены и Енисея (район Забайкалья). Совпадение или несовпадение данных по придонному слою и водной толще может зависеть от различной степени запаздывания отклика гидробионтов (бентоса и планктона) на неблагоприятные воздействия среды.

Очевидно, в водных объектах Амура, Уссури, Енисея и Ангары неблагополучие донных биоценозов сопровождается неблагополучием биоценозов пелагиали. В других бассейнах такого соответствия нет. В бассейне Лены и подбассейне Забайкалья ГНФ для зообентоса, как правило, более строгие, чем для планктона и перифитона.

Набор существенных факторов сильно отличается для разных бассейнов и подбассейнов. Наиболее часто сопряженными с экологическим неблагополучием оказываются БПК5, азот аммонийный и нитритный, растворенный кислород, СПАВ.

В целом можно сделать вывод, что экосистемы водных объектов Дальневосточного региона являются наименее чувствительными к неблагоприятным воздействиям. Отметим, что бассейн Амура уникален также тем, что бентосные организмы здесь более толерантны по отношению к факторам среды, чем представители планктона и перифитона. Что касается бассейна Енисея, то отдельные его участки качественно отличаются друг от друга по степени отклика на внешние воздействия. Если в Забайкальском регионе даже небольшое содержание в воде загрязнителей приводит к неблагополучию оценок, то в водной толще Ангары организмы менее чувствительны к факторам среды.

Соотношение между ГНФ и ПДК для одного и того же фактора также зависит от бассейна наблюдения. Например, в Амуре почти по всем факторам, кроме Cr, СПАВ, α-гексахлорана и γ-гексахлорана, ГНФ выше ПДК. В других бассейнах факторы ведут себя по-разному. Существуют, однако, факторы, для которых отношение ГНФ/ПДК всегда либо больше (нефтепродукты, Cu), либо меньше (NO3) единицы.

В таблице 3 приведены значения ГНФ для факторов, которые оказались существенными для индикаторов состояния фитопланктонного сообщества Нижней Волги и Нижнего Дона.

Обращает на себя внимание намного более строгое по сравнению с ПДК значение ГНФ для аммонийного азота и азота нитратов [12-14]. В данном случае, очевидно, нормативы ПДК являются завышенными. Например, для азота нитратов значение ПДК 9 мг/л крайне редко встречается в природных водах и может свидетельствовать о крайне высокой степени антропогенной загрязненности. Аналогичный вывод можно отнести и к аммонийному азоту, более 75% наблюдений которого находятся в диапазоне от 0 до 0.04 мг/л, что по величине более соразмерно с ГНФ, а не с ПДК. Кроме того, значения ГНФ оказались строже ПДК по таким показателям как содержание кальция, магния и хлоридов.

Для содержания азота нитритов, взвешенных веществ, железа общего, кобальта, меди, никеля, нефтепродуктов, свинца, фенолов и цинка значения ПДК ниже найденных верхних границ нормы. Это может свидетельствовать, как об адаптированности фитопланктона к подобным концентрациям, так и о том, что наиболее слабым звеном в экосистеме (используемым для определения ПДК по данным показателям) является не фитопланктон, а другая группа организмов, для фитопланктона же такие концентрации не выходят за пределы нормы.

Для pH и фосфора фосфатов (с учетом того, что водоемы бассейна Нижней Волги относятся преимущественно к олиго- и мезотрофным) значения ГНФ можно считать близкими к ПДК.

В Нижнем Дону для большинства анализируемых факторов величины ГНФ оказались мягче, чем нормативы ПДК. Так, например, для аммонийного азота, нитритов, pH, БПК5, нефтепродуктов, цинка, меди, общего железа, сульфатов, магния нормативы ГНФ выше, чем ПДК, что может свидетельствовать об адаптации фитопланктонного сообщества в бассейне Дона к данным факторам. Для хлоридов, кальция значения ГНФ и ПДК оказались близки.

Для большинства факторов помимо верхних ГНФ найдены нижние, что свидетельствует о том, что низкие значения показателей также довольно часто являются причиной неблагополучия состояния экосистемы. Однако, нормирование низких значений факторов не проводят в силу отсутствия практики антропогенного снижения содержания химических веществ в водах.

В таблице 4 представлены результаты поиска существенных факторов и расчета их ГНФ для всех исследованных бентосных индикаторов в водоемах Ханты-Мансийского автономного округа.

Наибольшее количество существенных факторов отмечено для семейства мокрецов (Ceratopogonidae) – 20 (10 для индикатора численности и 10 для индикатора биомассы). Также довольно большое количество существенных факторов выявлено для зообентоса в целом – 14 (6 для численности и 8 для биомассы), олигохет – 12 (8 для численности и 4 для биомассы), нематод – 11 (8 для численности, 3 для биомассы).

Чаще других существенными факторами (для 6–7 индикаторов) оказываются нефтепродукты, флуорантен, фенантрен, флуорен+аценафтен, пирен, бенз(b)флуорантен, единственным тяжелым металлом, существенным для довольно большого числа индикаторов (7), является кадмий. Остальные тяжелые металлы существенны не более чем для двух индикаторов. Очевидно, что нефтепродукты и ПАУ оказывают большее негативное влияние на бентофауну исследованных водоемов. Значения ГНФ сильно различаются в зависимости от индикатора для следующих факторов: флуорантен (в 2.6 раза), пирен (в 4.2 раза), цинк (в 2.2 раза), мышьяк (в 2.2 раза), нафталин (в 6.3 раза), бенз(a)пирен (в 5.1 раза), бенз(k)флуорантен (в 3 раза), антрацен (в 2.5 раза). Также достаточно высок разброс ГНФ нефтепродуктов – от 900 до 1700 мг/кг. ГНФ остальных факторов варьируют незначительно при переходе от одного индикатора к другому.

Определенные вопросы может вызвать наличие негативного влияния повышенных концентраций вредных веществ на численность и биомассу олигохет. Последние являются индикаторами загрязнения, увеличивая свою относительную численность в зообентосном сообществе при интоксикации водоема. На этой их особенности основан олигохетный индекс Гуднайта-Уитли [11]. Однако у экологов существуют сомнения относительно эффективности биоиндикации по этому индексу: "Основной недостаток индекса Гуднайта и Уитли – его слабая чувствительность вследствие полного пренебрежения к особенностям видового состава олигохет, существенно меняющемуся в зависимости от степени загрязнения. Лабильную фракцию олигохет составляют в основном виды рода Nais, чутко реагирующие на изменение концентрации органического вещества в воде, но не меняющие показателей своего обилия при загрязнении другими токсическими ингредиентами" [1]. Поэтому снижение численности и биомассы олигохет в целом вполне может быть обусловлено повышением концентраций загрязнителей как органического, так и минерального происхождения.

В таблице 5 сведены все существенные факторы для каждого ихтиологического показателя Донских водохранилищ. Наиболее существенными оказались следующие факторы: для уловов судака и берша – ХПК и концентрация Zn; для уловов леща – концентрации NO2, взвешенных веществ, Cl, а также среднесезонное значение pH; для уловов чехони – концентрации NO3, NO2, NH4, Cu, майская температура, майская, октябрьская, ноябрьская и среднесезонная водность, апрельский уровень pH, БПК5; для урожайности леща и осетра в Дону – концентрации NO2, гексахлорана, SO4, pH в марте и мае.

В таблице 6 сведены все существенные факторы для показателей флуоресценции фитопланктона Рыбинского водохранилища и их сравнение с ПДК. Наибольшее число существенных факторов найдено для показателя *Fm* фито. Значения найденных ГНФ по БПК5 и прозрачности близки к ПДК.

## Сравнение границ нормы факторов в различных бассейнах

Для сравнения верхних границ нормы факторов, полученных на основании интегрального показателя качества вод для фито-, зоопланктона и перифитона в водной толще, а также зообентоса в придонном слое в крупнейших бассейнах европейской и азиатской частей России и сопредельных стран, использованы данные табл. 1 и 2. Для отдельных факторов водной среды сравнивали значения ГНФ и на основе этого изучали адаптированность гидробионтов в разных бассейнах к варьированию уровней нагрузки.

Наиболее мягкие ГНФ из всех бассейнов для сообществ организмов водной толщи обнаружены в Нижнем Дону, Средней Волге, Амуре (кроме концентрации NO3, нефтепродуктов, pH и ХПК) и Сырдарье (кроме Cu, NH4 и СПАВ). По-видимому, фитопланктон, зоопланктон и перифитон данных бассейнов наиболее приспособлены к отрицательному антропогенному и природному воздействию и способны выдерживать неблагоприятные нагрузки по большинству факторов. С другой стороны, наиболее строги верхние ГНФ факторов в районе КАТЭК бассейна Оби (кроме взвешенных веществ), в районе Забайкалья бассейна Енисея (кроме Pобщ), в подбассейне Иртыша бассейна Оби (кроме Cu и Zn) и бассейне Лены (кроме NO2). Обращает на себя внимание бόльшая адаптированность к физико-химическим воздействиям планктонных сообществ в реках европейской части России (исключение среди азиатских рек – большая адаптированность в Амуре) и реках Узбекистана, где расположено больше объектов промышленного и сельскохозяйственного производства и, как следствие, более высок уровень антропогенной нагрузки.

Сообщества зообентоса наиболее адаптированы к вредным воздействиям в Нижнем Дону (кроме Zn), в бассейне Немана (кроме NO3) и бассейне Амура (кроме нефтепродуктов и ХПК). Напротив, самые строгие ГНФ наблюдаются, как правило, в Западной Двине (кроме ХПК), в районе Забайкалья бассейна Енисея (кроме Pобщ) и в бассейне Лены. При исследовании адаптированности сообществ придонного слоя прослеживается примерно та же тенденция, что и для сообществ водной толщи – наиболее мягкие ГНФ наблюдаются в европейской части, наиболее строгие – в азиатской (за исключением Западной Двины и Амура).

По данным табл. 3 можно сравнить ГНФ Нижней Волги и Нижнего Дона. Для Нижнего Дона характерны более высокие концентрации ионов по сравнению с Нижней Волгой, что проявляется в адаптированности организмов к более высокой сумме ионов и более высоким концентрациям большинства катионов и анионов (кальций, магний, сумма натрия и калия, сульфаты, хлориды). Адаптированность проявляется в различном положении областей нормы для фактора. Если для Нижнего Дона нормой являются суммы ионов от 713 до 1660 мг/л, то для Нижней Волги от 236–278 до 354–369 мг/л в различные сезоны. Аналогична ситуация для кальция: от 52.1 до 168 мг/л (Дон), от 38.7–39.1 до 49.2–51.3 мг/л (Волга); магния: от 30.2 до 61.8 мг/л (Дон), от 9.7–12 до 17.3 мг/л (Волга); жесткости: от 6.48 до 11.1 мг-экв/л (Дон), от 2.73 до 4.05–4.37 мг-экв/л (Волга); суммы натрия и калия: от 35 до 353 мг/л (Дон), от 14.3–18.7 до 28.9–34 мг/л (Волга); хлоридов: до 282 мг/л (Дон), от 28.4–30.5 до 37.6–46.1 мг/л (Волга). Как можно увидеть, диапазоны, ограничивающие норму по этим факторам, для Нижнего Дона и Нижней Волги часто не перекрываются. Значения, соответствующие сильному антропогенному воздействию для Нижней Волги, являются нормальными для Нижнего Дона. Здесь мы сталкиваемся с таким недостатком (в данном контексте) ПДК как его универсальность для всей территории страны. Требовать одинаковых значений ПДК для Нижней Волги и Нижнего Дона некорректно, поскольку в этом случае либо достаточно чистые (фоновые) створы Нижнего Дона окажутся "загрязненными", что не соответствует действительности, либо загрязненные створы Нижней Волги окажутся "чистыми". В данном случае мы видим, что ПДК, перечисленных выше веществ, близки к ГНФ Нижнего Дона, для Нижней Волги такие ПДК неоправданно завышены.

# Заключение

Наиболее мягкие значения найденных границ норм факторов для сообществ фито-, зоопланктона и перифитона найдены в Нижнем Дону, Средней Волге, Амуре и Сырдарье, наиболее строгие – в районе КАТЭК бассейна Оби, в районе Забайкалья бассейна Енисея, в подбассейне Иртыша бассейна Оби и бассейне Лены. Для сообщества зообентоса наиболее мягкие значения ГНФ найдены в Нижнем Дону, в бассейне Немана и бассейне Амура, наиболее строгие – в Западной Двине, в районе Забайкалья бассейна Енисея и в бассейне Лены.

Перечислим особенности предложенного подхода:

* Границы классов качества установлены не по экспертным оценкам, а путем расчетов, основанных на строгом формальном методе анализа данных.
* Предложенный метод не использует никакие модельные предпосылки. Расчеты границ основаны только на частоте встречаемости тех или других значений характеристик в предыстории экосистемы.
* Метод позволяет изучить не изолированные воздействия, а их реально сложившиеся комплексы.
* Рассчитанные границы не универсальны, а имеют региональный и даже локальный характер в той степени, в которой опираются на данные региональных или локальных наблюдений как в пространстве, так и во времени.
* Метод позволяет устанавливать границу между допустимыми и недопустимыми значениями не только для "слишком высоких", но и для "слишком низких" уровней факторов.
* Границы классов качества могут быть установлены не только для химических, а для любых (физических, климатических, гидрологических и т.п.) характеристик.

Расчеты границ классов качества вод апробированы в настоящей работе на примере двух классов качества. Метод ЛЭН позволяет устанавливать границы для нескольких классов, что может быть проделано при достаточном количестве наблюдений. Полученные границы могут быть уточнены по мере накапливания данных или адаптации биоты.

Работа частично поддержана грантом РФФИ №13–04–01027.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балушкина Е.В., Финогенова Н.П.* Структурные характеристики зообентоса как основа оценки состояния экосистем Невской губы и восточной части Финского залива // Структурно-функциональная организация пресноводных экосистем разного типа. Труды ЗИН РАН. СПб.: Наука, 1999. Т. 279. С. 269–292.
2. *Булгаков Н.Г., Дубинина В.Г., Левич А.П., Терехин A.Т.* Метод поиска сопряженностей между гидробиологическими показателями и абиотическими факторами среды (на примере уловов и урожайности промысловых рыб) // Известия РАН. Сер. биол. 1995. №2. С.218–225.
3. *Булгаков Н.Г., Трофимов С.Я., Рябинкин А.В., Рисник Д.В., Левич А.П.* Влияние нефтепродуктов и других загрязнителей на зообентос водоемов, испытывающих воздействие нефтегазового комплекса // Региональная экологическая политика в условиях существующих приоритетов развития нефтегазодобычи: материалы III cъезда экологов нефтяных регионов. Ханты-Мансийск: Профикс, 2013. С. 221–231.
4. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н.* Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа, 2004. 271 с.
5. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Гончаров И.А., Ершов Ю.В., Конюхов И.В., Корнева Л.Г., Лазарева В.И., Литвинов А.С., Максимов В.Н., Мамихин С.В., Осипов В.А., Отюкова Н.Г., Поддубный С.А., Пырина И.Л., Соколова Е.А., Степанова И.Э., Фурсова П.В., Цельмович О.Л.* Поиск связей между биологическими и физико-химическими характеристиками экосистемы Рыбинского водохранилища. Часть 3. Расчет границ классов качества вод // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т. 5, № 3. С. 451–471.
6. *Левич А.П., Забурдаева Е.А., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Мамихин С.В.* Поиск целевых показателей качества для биоиндикаторов экологического состояния и факторов окружающей среды (на примере водных объектов р. Дон) // Водные ресурсы. 2009. Т.36. № 6. С. 730–742.
7. *Левич А.П., Рисник Д.В., Булгаков Н.Г., Леонов А.О., Милько Е.С.* Методические вопросы применения показателей видового разнообразия фитопланктона для анализа качества вод Нижней Волги // Использование и охрана природных ресурсов. 2010. №5. С. 44–48. №6. С. 33–37.
8. *Левич А.П., Рисник Д.В., Булгаков Н.Г., Фурсова П.В.* Возможности in\_situ-технологии контроля экологического состояния водных объектов на основе биоиндикации. Часть 1. Выявление и ранжирование факторов среды, приводящих к экологическому неблагополучию // Водные ресурсы. 2014 (в печати).
9. *Максимов В.Н., Абакумов В.А., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Терехин А.Т.* Экологически допустимые уровни абиотических факторов. Исследование водных экосистем Восточной Европы // Вестник МГУ. Серия 16. Биология. 2001. №4. С.36–61.
10. *Максимов В.Н., Абакумов В.А., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Терехин А.Т.* Экологически допустимые уровни абиотических факторов. Исследование пресноводных объектов Азиатской части России и Узбекистана // Известия РАН. Серия биологическая. №5. 2002. С. 614–624.
11. *Goodnight C.J., Whitley L.S.* Oligochaetes as indicators of pollution // Proc. 15th Indust. Waste Conf. Purdue Univ. Eng. Ext. 1961. Ser.106. №45. Pp.139–142.
12. *Levich A.P.* Phytoplankton requirements in environmental substrate factors and methods of algocoenosis structure management // Zhurnal obschei biologii. 1989. V. 50. № 3. P. 316-328.
13. *Levich A.P., Zamolodchikov D.G., Alekseev V.L.* Limiting link rule for the multispecies community consuming essential resources // Zhurnal obschei biologii. 1993. V. 54. № 3. P. 271-286.
14. *Levich A.P., Artyukhova V.I.* Changes in phytoplankton requirements for environmental substrate factors // Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya biologicheskaya. 1991. № 1. P. 114-123.
15. *Maksimov V.N., Bulgakov N.G., Milovanova G.F., Levich A.P.* Determination analysis in ecosystems: Contingencies for biotic and abiotic components // Biology Bulletin. 2000. V. 27. № 4. P/ 405-413.

**Таблица 1.** Границы нормы факторов (ГНФ), существенных для экологического неблагополучия в различных водных бассейнах, установленные при помощи интегрального показателя качества вод на основании данных по фито-, зоопланктону и перифитону [4, 9, 10]. (Все факторы кроме pH приведены в мг/л. Для O2 приведена нижняя ГНФ. Для сравнения в таблице также приведены значения ПДК. Прочерк означает, что соответствующая ГНФ не найдена, в столбце ПДК прочерк означает отсутствие значений ПДК. КАТЭК – Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Факторы | Нижний Дон | Дунай | Днестр | Средняя Волга | Нижняя Волга | Обь (район КАТЭК) | Обь (подбассейн Иртыша) | Енисей (район Забайкалья) | Енисей (подбассейн Верхнего Енисея) | Лена | Амур (подбассейн Амура) | Амур (подбассейн Уссури) | Сырдарья | ПДК |
| Cr | - | 0.002 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.008 | 0.004 | 0.005 | 0.02 |
| Cu | - | 0.012 | 0.009 | - | - | 0.006 | 0.011 | 0.003 | - | - | - | - | 0.006 | 0.001 |
| NH4 | - | 0.05 | 1.05 | 0.68 | - | 0.21 | 0.38 | - | 0.57 | 0.06 | 1.26 | 1.76 | 0.18 | 0.4 |
| NO2 | - | 0.05 | - | - | - | - | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.02 |
| NO3 | - | - | - | - | 0.74 | - | 0.73 | - | - | - | 0.37 | - | 2.33 | 9 |
| O2 | 4.03 | - | - | - | - | - | - | - | 8.8 | - | - | 8.6 | - | 4 |
| P | - | 0.29 | - | - | 0.066 | - | 0.38 | 0.99 | - | - | - | - | - | - |
| pH | 7.83 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.2 | - | - | 8.5 |
| SO4 | - | - | - | - | - | - | 54 | - | - | 90 | - | - | - | 100 |
| Zn | - | 0.02 | - | - | - | 0.03 | 0.04 | - | - | - | - | - | - | 0.01 |
| БПК5 | - | 4.6 | 4.48 | - | - | 0.64 | 1.96 | - | 2.75 | 1.41 | 6.49 | 3.74 | 3.79 | 3 |
| Взвешенные вещества | - | 128 | 153 | - | - | - | 37 | - | - | - | - | - | - | 10 (для моря) |
| Нефтепродукты | - | 0.22 | 0.13 | - | - | - | - | - | 0.59 | - | 0.09 | - | 0.15 | 0.05 |
| СПАВ | - | 0.02 | - | - | - | - | 0.06 | - | - | - | 0.11 | 0.04 | 0.03 | - |
| Фенолы | - | - | - | - | - | 0.003 | - | - | - | 0.004 | - | 0.016 | 0.005 | 0.001 |
| ХПК | - | - | - | - | 24 | - | - | - | - | - | 21 | 26 | - | - |

**Таблица 2.** Границы нормы факторов (ГНФ), существенных для экологического неблагополучия в различных водных бассейнах, установленные при помощи интегрального показателя качества вод на основании данных по зообентосу [4, 9, 10]. (Все факторы, кроме пестицидов, приведены в мг/л, пестициды – в мкг/л. Для O2 приведена нижняя ГНФ. Для сравнения в таблице также приведены значения ПДК. Прочерк означает, что соответствующая ГНФ не найдена, в столбце ПДК прочерк означает отсутствие значений ПДК)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Факторы | Нижний Дон | Западная Двина | Неман | Верхняя Волга | Средняя Волга | Нижняя Волга | Енисей (район Забайкалья) | Енисей (подбассейн Верхнего Енисея) | Лена | Амур (подбассейн Амура) | Амур (подбассейн Уссури) | ПДК |
| NH4 | - | 0.1 | 0.38 | 0.36 | 0.52 | - | 0.02 | 0.49 | 0.04 | 1.49 | 1.76 | 0.4 |
| Ni | - | 0.026 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.007 | 0.01 |
| NO2 | - | 0.02 | - | 0.01 | - | - | - | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | 0.02 |
| NO3 | 1.179 | - | - | - | - | 0.83 | - | - | - | - | 0.63 | 9 |
| O2 | 5.25 | - | - | - | - | - | - | 9.5 | 11.5 | - | 8.7 | 4 |
| P | - | 0.033 | - | - | - | 0.081 | 0.11 | - | - | - | - | - |
| Zn | 0.01 | - | - | - | - | 0.05 | - | - | - | - | - | 0.01 |
| БПК5 | - | 3.15 | 4.31 | 2.85 | - | - | - | 2.75 | 1.41 | 9.22 | 3.74 | 3 |
| Гексахлоран | 0.011 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.006 | 0.00001 |
| Нефтепродукты | - | - | - | - | 0.21 | - | - | 0.63 | 0.12 | 0.12 | - | 0.05 |
| Пестициды | - | - | - | - | 0.062 | 0.058 | - | - | - | - | - | - |
| Фенолы | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.003 | - | 0.014 | 0.001 |
| ХПК | - | 39 | 34 | 30 | - | - | - | - | - | 18 | 24 | - |

**Таблица 3.** Границы нормы факторов (ГНФ) для различных водных бассейнов в разные сезоны, установленные на основании показателей видовой структуры и средних объемов клеток [6, 7]. (В скобках приведены нижние ГНФ. Для сравнения в таблице также приведены значения ПДК. Прочерк означает, что соответствующая ГНФ не найдена, в столбце ПДК прочерк означает отсутствие значения ПДК)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Фактор | Нижняя Волга | Нижний Дон | ПДК |
| с мая по август | с сентября по ноябрь | с мая по июнь | осенний и летний сезоны | весенний сезон |
| Средний объем клетки | *e*1 | Средний объем клетки | *e*1 | *z*2 | *z*3 | β3 | *e*1, *e*2, *z*2, *z*4 | *e*1, *e*2, *z*2, *z*4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Na+K, мг/л | (18.71) | (17) | (16.5) | 34 (14.3) | 33.4 (15.5) | 19.8 (15.5) | 19.8 (15.5) | 353 (35) | - | - |
| NH4, мг/л N | 0.04 | - | - | (0.51) | - | (0.04) | (0.04) | 2.14 (0.09) | 2.82 (0.22) | 0.4 |
| NO3, мг/л N | 0.48 | - | 0.43 (0.2) | - | - | - | - | 3.71 (0.09) | - | 9 |
| NO2, мг/л N | 0.032 | - | (0.004) | - | - | - | - | 0.34 (0.02) | 0.18 (0.01) | 0.02 |
| N суммарный минеральный, мг/л  | 0.51 | 0.43 (0.08) | 0.45 (0.23) | - | - | - | - | - | - | - |
| БПК5 | - | (1.49) | (1.68) | - | - | - | - | 4.19 | 5.24 | 3 |
| Водность | 1.21 | 0.74 (0.39) | - | - | - | - | (1.42) | - | - | - |
| Feобщ, мг/л | 0.24 | - | 0.32 (0.03) | (0.07) | - | - | - | 0.28 | - | 0.1 |
| Жесткость, мг-экв/л | 4.05 | 3.38 (2.69) | (2.74) | 4.37 | - | - | - | 11.1 (6.48) | - | - |
| Ca, мг/л | 51.3 | - | (38.9) | - | - | - | - | 168 (52.1) | - | 180 |
| Co, мг/л | 0.18 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.01 |
| Кремнекислота, мг/л Si | (1.3) | - | 2.4 | (1.8) | (1.6) | (2.8) | (2.8) | 17.4 (2.8) | - | - |
| Mg, мг/л | - | (9.5) | (9.7) | 17.3 (12) | - | - | - | 61.80 (30.20) | - | 40 |

Продолжение таблицы 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| Cu, мг/л | - | - | (0.004) | 0.013 (0.003) | (0.004) | - | (0.004) | 0.018 | - | 0.001 |
| Нефтепродукты, мг/л | - | 0.16 | 0.21 (0.05) | (0.08) | (0.08) | - | - | 0.85 | 0.31 | 0.05 |
| Прозрачность, м | - | - | - | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | - | - |
| O2, мг/л | 9.34 | - | - | 11.81 | 11.27 | - | - | 5.24 | 6.58 | (6) – нижняя ПДК |
| рН | 8.26 | 8.17 | 8.08 | - | 8.22 | - | - | 7.97 (7.6) | 7.9 (7.55) | 6.5–8.5 |
| H2S, мг/л | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| СПАВ, мг/л | (0.02) | - | - | - | (0.011) | - | - | 0.1 | 0.11 | 0.5 |
| Степень насыщения кислородом, % | - | - | - | 111 (88) | 111 | - | - | - | - | - |
| SO4, мг/л | - | (47) | (49.1) | - | 77.5 | 74 | 74 | 408 | - | 100 |
| Сумма ионов, мг/л | 354 | (219) | (277) | 369 | - | - | - | 1660 (712) | - | - |
| Температура относительная | (0.92) | - | - | (0.71) | (0.72) | - | - | - | - | - |
| Фенолы, мг/л | 0.004 | - | - | - | - | - | - | 0.005 | 0.017 | 0.001 |
| PO4, мг/л Р | (0.01) | - | (0.017) | 0.052 (0.008) | - | 0.042 (0.008) | 0.042 (0.008) | 0.34 (0.08) | - | 0.016 – олиготрофные,0.049 – мезотрофные,0.065 – эвтрофные водоемы |
| Cl, мг/л | - | 49.3 (25.9) | 37.6 | 46.1 (30.5) | - | - | - | 348 | 282 | 300 |
| ХПК, мг/л | - | - | 43.2 (16.8) | 34.5 (16.4) | - | (16.4) | (16.4) | - | - | - |
| Cr общий, мг/л | - | - | - | (0.008) | - | - | - | 0.004 | - | - |
| Цветность по Рt-Co шкале, град. | - | 53 (18) | (25) | 38 | 34 | - | - | - | - | - |
| Zn, мг/л | - | (0.013) | 0.017 | 0.044 (0.011) | 0.037 (0.009) | 0.037 (0.014) | 0.037 (0.014) | 0.016 | - | 0.01 |

**Таблица 4.** Верхние границы нормы факторов (ГНФ) для различных показателей, характеризующих состояние сообщества зообентоса в водоемах Ханты-Мансийского автономного округа [3]. (Все факторы в мг/кг. Обозначения: N – численность, B– биомасса. Прочерк означает, что соответствующая ГНФ не найдена)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Фактор | Макрозообентос в целом | Nematoda | Oligochaeta | Mollusca | Hirudinea | Chironomidae | Ceratopogonidae | Наиболее строгая ГНФ по всем индикаторам |
| N | B | N | B | N | B | N | N | B | N | B | N | B |
| As | - | 4.8 | 2.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.2 |
| Cd | - | 0.28 | 0.27 | - | - | - | - | - | 0.28 | - | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.27 |
| Pb | - | 15 | 9.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.5 |
| Zn | - | 74 | 34 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 34 |
| Антрацен | - | - | 0.072 | 0.072 | 0.055 | - | - | - | 0.035 | - | 0.077 | 0.086 | 0.086 | 0.035 |
| Бенз(b)-флуорантен | 0.11 | - | - | - | 0.11 | 0.11 | - | - | - | 0.1 | 0.11 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Бенз(а)-пирен | - | - | - | - | 0.015 | 0.02 | - | 0.076 | - | - | - | 0.017 | 0.017 | 0.015 |
| Нафталин | - | - | - | 0.038 | - | - | - | - | - | - | - | 0.24 | 0.24 | 0.038 |
| Нефте-продукты | 900 | 1700 | - | - | - | 1700 | 1700 | 900 | 960 | 900 | - | 960 | 1700 | 900 |
| Пирен | 0.063 | 0.063 | 0.015 | 0.061 | - | - | - | - | - | - | 0.055 | 0.063 | 0.063 | 0.015 |
| Фенантрен | 0.1 | - | - | - | - | - | 0.1 | 0.1 | 0.1 | - | - | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Флуорантен | 0.081 | 0.081 | 0.031 | - | 0.081 | 0.013 | 0.031 | - | - | 0.051 | - | 0.051 | 0.051 | 0.013 |
| Флуорен +аценафтен | 0 | 0 | - | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | 0 | 0 |

**Таблица 5.** Границы нормы факторов (ГНФ) для различных показателей, характеризующих уловы и урожайности промысловых рыб в Донских водохранилищах [2]. (В скобках приведены нижние ГНФ. Прочерк означает, что соответствующая ГНФ не найдена)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Фактор | Уловы  | Урожайность леща и осетра |
| леща | судака и берша | чехони |
| pH (средний за год), | 8.17 | - | - | - |
| Азот нитритный, мг/л. | 0.045 | - | 0.008 | - |
| ХПК, мг/л. | - | 20.5 | - | - |
| Цинк, мг/л. | - | 0.016 | - | - |
| pH (апрель) | - | - | 7.62 | - |
| Азот нитратный, мг/л. | - | - | 0.175 | - |
| БПК45, мг/л. | - | - | 3.73 | - |
| Водность (май) | - | - | 0.93 | - |
| Водность (ноябрь) | - | - | 0.888 | - |
| Водность (октябрь) | - | - | 0.905 | - |
| Водность (средняя за год) | - | - | 0.969 | - |
| Медь, мг/л. | - | - | 0.004 | - |
| 7γ-гексахлоран, мг/л. | - | - | - | 0.002 |
| pH (май) | - | - | - | (8.17) |
| pH (март) | - | - | - | (7.9) |
| Сульфаты, мг/л. | - | - | - | 195 |

**Таблица 6.** Границы нормы факторов (ГНФ) для различных показателей флуоресценции в Рыбинском водохранилище [5]. (*F*0 – фоновый уровень флуоресценции пробы, *F*орг – уровень флуоресценции растворенных органических веществ, *F*0 фито – фоновый уровень флуоресценции фитопланктона, *Fm* – максимальный уровень флуоресценции пробы, *Fm*фито – максимальный уровень флуоресценции фитопланктона. В скобках приведены нижние ГНФ. Прочерк означает, что соответствующая ГНФ не найдена, в столбце ПДК прочерк означает отсутствие значения ПДК)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Фактор | *F*0 | *F*орг | *F*0 фито | *Fm* | *Fm* фито | Наиболее строгая ГНФ по всем индикаторам | ПДК |
| NO3, мг/л N | - | 0.04 | - | - | - | 0.04 | 9 |
| Nобщ, мг/л N | - | - | - | - | (0.78) | (0.78) | - |
| pH | - | - | - | - | 8.3 | 8.3 | - |
| Pобщ, мг/л P | (0.073) | 0.1 (0.058) | (0.073) | (0.073) | (0.073) | 0.1 (0.073) | - |
| БПК5, мг/л | - | (1.82) | 2.96 (1.55) | 2.96 (1.05) | 2.96 (1.55) | 2.96 (1.82) | 3 |
| Прозрачность, м | 1.2 | - | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.4 |
| Температура воды, оС | - | - | 25.7(18.1) | 25.7(18.1) | 25.7(18.1) | 25.7(18.1) | - |
| ХПК, мг/л | (34.5) | (34.2) | (33.5) | - | (33.5) | (34.5) | - |
| Электропроводность, мкСм/см | (170) | - | - | - | (178.2) | (178.2) | - |