*УДК 577.4*

**Возможности in\_situ-технологии контроля экологического состояния водных объектов на основе биоиндикации. Часть 3. Оценка качества вод и достаточности программы наблюдений**

**© 2014 г. А.П. Левич, Д.В. Рисник, Н.Г. Булгаков, П.В. Фурсова, А.К. Юзбеков**

*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 для установления границ нормы, разделяющих "благополучные" и "неблагополучные" значения биоиндикаторов экологического качества вод; определения достаточности программы наблюдений для описания причин неблагополучия экосистемы; анализа причин неблагополучия на отдельных створах наблюдений; сравнения эффективности различных биоиндикаторов.

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

# ВВЕДЕНИЕ

Данная работа – третья в серии статей, посвященных применению in\_situ-технологии, включает в себя анализ влияния на оценки экологического качества погрешностей отбора и обработки проб; примеры установления границ нормы биоиндикаторов экологического состояния водных объектов; определения достаточности программ наблюдений за потенциальными причинами неблагополучия водных экосистем; анализ причин неблагополучия отдельных створов наблюдения; сопоставление эффективности различных биоиндикаторов. В первой части статьи [6] 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. Во второй части статьи [7] приведены примеры определения границ нормы факторов, приводящих к экологическому неблагополучию и сравнение этих границ для различных водных бассейнов России и сопредельных стран.

В работе использован метод установления локальных экологических норм (метод ЛЭН) [1–6, 8].

# Обозначения

Гидрохимические показатели обозначены следующими сокращениями: химическое потребление кислорода (ХПК), концентрации растворенного кислорода (O2), азота нитратного (NO3), нитритного (NO2) и аммонийного (NH4), фосфора фосфатов (PO4), кальция (Ca), магния (Mg), суммы натрия и калия (Na+K), хлоридов (Cl), углекислого газа (CO2), железа общего (Feобщ), меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), общего хрома (Crобщ), кобальта (Co), 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 [6].

**ГНФ** – граница нормы фактора, разделяющая его "допустимые" и "недопустимые" значения [13];

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

Достаточность программы наблюдений – доля наблюдений индикатора, неблагополучие которых обусловлено действием факторов, входящих в программу наблюдений;

Метод **ЛЭН** – метод установления локальных экологических норм [3, 4, 7];

Существенные факторы – факторы, негативно влияющие на состояние биоиндикатора [10-13].

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

## Учет влияния особенностей отбора и обработки проб

Неявно подразумевается, что значения биоиндикаторов в разных наблюдениях вызваны разным качеством среды в местах и в даты отбора проб. Однако эти различия могут быть вызваны и погрешностями измерений.

Для показателей флуоресценции Рыбинского водохранилища проведена работа по обособлению причин различий путем сравнения наблюдаемых разбросов значений интенсивности флуоресценции с величиной разбросов, которая может быть обусловлена погрешностями измерений. Для оценки погрешности интенсивность флуоресценции измеряли в пробах из 20 отдельных объемов воды, последовательно взятых батометром в одном месте [9].

Когда разброс значений индикатора, связанный с погрешностью измерений, превышает разброс, связанный с влиянием факторов среды, наблюдения не должны быть использованы в оценке качества вод. Проведено сравнение доверительных интервалов для распределения 20 повторностей наблюдений с доверительными интервалами для распределения средних значений каждого наблюдения на всем массиве (табл. 1). Использовали доверительные интервалы с уровнем значимости α = 0.05. Как видно из таблицы, доверительные интервалы всех значений превышают аналогичные интервалы повторностей, следовательно, для дальнейшего анализа можно использовать все показатели флуоресценции

## Определение границ нормы индикатора

Для показателей, характеризующих состояние толщи вод и придонного слоя на основании интегрального показателя качества вод для показателей сообществ фитопланктона, зоопланктона, перифитона и зообентоса, граница нормы индикатора была задана экспертно и составила 3 балла (по пятибалльной шкале).

Для остальных исследованных массивов данных ГНИ были рассчитаны методом ЛЭН. Для показателей видовой структуры фитопланктона и среднего объема клеток фитопланктона Нижней Волги значения ГНИ составили: 1) в сезон "с мая по август" для среднего объема клеток верхняя ГНИ – 1.02 ± 0.13 мкм3, нижняя ГНИ – 0.46 ± 0.07 мкм3; 2) в сезон "с сентября по ноябрь" для среднего объема клеток верхняя ГНИ – 0.52 ± 0.04 мкм3, нижняя ГНИ – 0.27 ± 0.03 мкм3; для индекса выравненности *e*1 нижняя ГНИ – 0.655 ± 0.020; 3) в сезон "с мая по июнь" для индекса выравненности *e*1 нижняя ГНИ – 0.56 ± 0.05; для параметра ранговых распределений *z*2 нижняя ГНИ – 0.69 ± 0.05; для параметра ранговых распределений *z*3 нижняя ГНИ – 0.70 ± 0.04; для параметра ранговых распределений β3 верхняя ГНИ – 0.75 ± 0.13. Для уловов и урожайностей рыб граница нормы индикатора была задана экспертно и составила 2 балла (по трехбалльной шкале). Для показателей флуоресценции фитопланктона Рыбинского водохранилища значения верхних ГНИ составили: для *F*0 – 0.96 ± 0.02; для *F*орг – 0.51 ± 0.02; для *F*0 фито – 0.45 ± 0.04; для *Fm* – 1.8 ± 0.4; для *Fm* фито – 1.37 ± 0.11.

## Определение достаточности программы наблюдений для описания причин неблагополучия биоиндикаторов

Достаточность программы наблюдений для описания неблагополучия биоиндикаторов, характеризующих состояние фитопланктона бассейна Нижней Волги, колебалась от 0.75 до 0.97, для Нижнего Дона – от 0.93 до 0.97. Для индикаторов состояния зообентоса водоемов Ханты-Мансийского автономного округа – от 0.90 до 1.00. Для уловов и урожайностей промысловых рыб в Нижнем Дону – от 0.85 до 1.00. Для флуоресценции фитопланктона Рыбинского водохранилища – от 0.59 до 0.70. В целом можно сделать вывод, что программа наблюдений за физико-химическими характеристиками недостаточна для описания всех причин возможного экологического неблагополучия для вод Рыбинского водохранилища. В бассейнах Нижней Волги, Нижнего Дона, водоемах Ханты-Мансийского автономного округа неполнота программы наблюдений от 3 до 25% вероятнее всего обусловлена отсутствием наблюдений исследуемых показателей на некоторых створах, а не наличием посторонних факторов, не учтенных в программе наблюдений.

## Анализ причин неблагополучия на отдельных створах

В каждом отдельном наблюдении степень благополучия качества вод можно оценить, сравнив значение биоиндикационного показателя в этом наблюдении с величиной его ГНИ.

Для примера приведем анализ качества вод на створах Нижней Волги в некоторых из исследованных сезонных групп. В табл. 2 для каждого створа сведены относительные характеристики качества для среднего объема клеток фитопланктона в пробе, равные отношению величины ГНИ к среднемноголетнему значению показателя для створа. В табл. 3 для каждого створа сведены аналогичные характеристики для показателя выравненности *e*1. Если среднемноголетняя величина показателя для створа ближе к верхней ГНИ, характеристику качества рассчитывали как отношение среднемноголетней величины к верхней ГНИ, если ближе к нижней ГНИ – как отношение нижней ГНИ к среднемноголетней величине показателя.

Анализ причин неблагополучия может быть проведен с помощью найденных значений границ норм факторов [7], существенно влияющих на состояние сообществ. В табл. 2 и 3 для каждого створа и каждого существенного фактора приведены характеристики влияния факторов, равные максимальной из двух величин: отношению среднемноголетних значений фактора к значению их верхних ГНФ или отношению значений нижних ГНФ к среднемноголетним значениям фактора.

*Сезонная группа с мая по август.* Судя по значениям средних масс клеток, качество вод неблагополучно на 7 створах и неблагополучно на 6 створах. Наиболее благополучны створы: "поселок Подчалык", "поселок Ильинка" и "поселок ЦКК". Однако в отдельные годы на этих створах наблюдалось превышение среднемноголетними значениями установленных границ норм факторов по содержанию фенолов (более 0,004 мг/л) и H2S (его наличие, более 0 мг/л). Несколько менее благополучны створы "село Красный Яр", "город Камызяк" и "ПОС". На этих створах зафиксировано значительное превышение границы нормы по содержанию фенолов (более 0,004 мг/л), также на створе "село Красный Яр" наблюдается повышенное содержание NO3 и NO2 (более 0,48 и 0,032 мг/л соответственно). Наиболее неблагополучны створы "ниже села Сероглазовка", "Ю.О.С.", "поселок Аксарайский". Неблагополучие на этих и большинстве других створов обусловлено превышением ГНФ по NH4 (более 0,04 мг/л, здесь и далее в скобках приведены значения ГНФ), по NO2 (более 0,032 мг/л), содержанию фенолов (более 0,004 мг/л), высокой водностью (относительным расходом более 1,21). На створах "ниже села Сероглазовка", "Ю.О.С." неблагополучие обусловлено также высокими концентрациями Feобщ (более 0,24 мг/л), высокими концентрациями взвешенных веществ (более 28 мг/л). Наименьший вклад в неблагополучие вносят содержание PO4, кремнекислоты и Na+K.

*Сезонная группа май, июнь.* На основании среднемноголетних значений индекса выравненности *e*1 можно сделать вывод о неблагополучии всех створов. Наименее неблагополучны створы "поселок Подчалык" и "ПОС". Их неблагополучие обусловлено: для "поселка Подчалык" – преимущественно высокими (более 0.052 мг/л) концентрациями PO4, низким (менее 0.51 мг/л) содержанием суммарного минерального азота и низким (менее 15 мг/л) содержанием взвешенных веществ; для "ПОС" – преимущественно низким (менее 1.8 мг/л) содержанием кремния кремнекислоты и высоким (более 0.044 мг/л) содержанием Zn. Наиболее неблагополучны створы "поселок Аксарайский", " рукав Болда, проток Рычан" и "поселок Селитренное". Неблагополучие вызвано преимущественно низким (менее 0.51 мг/л) содержанием суммарного минерального азота, низкими концентрациями нефтепродуктов (менее 0.08 мг/л), высокой (более 35 град.) цветностью и высокой прозрачностью (более 1.8 м). Для менее неблагополучных створов "поселок ЦКК" и "город Камызяк" неблагополучие обусловлено низкими (менее 0.08 мг/л) концентрациями Crобщ и высокими (более 34.5 мг/л) значениями ХПК. Наименьший вклад в неблагополучие вносят содержание Feобщ, Cu, PO4, O2, жесткость и относительная температура.

## Сравнение эффективности биоиндикаторов

Для данных по видовой структуре и среднему объему клеток Нижней Волги было проведено определение эффективности испытанных индикаторов в сезонных группах однородности. Эффективность определяли на основании числа найденных для индикаторов существенных факторов, критерия достаточности программы наблюдений и некоторых других критериев, приведенных в табл. 4. Перечислим наиболее эффективные индикаторы для различных сезонных групп: 1) единственным индикатором в сезоне с мая по август, служит средний объем клетки; 2) в сезоне с сентября по ноябрь также наиболее эффективен показатель среднего объема клетки; 3) в сезоне май, июнь на первом месте стоит индекс выравненности *e*1.

Поясним возможности применения полученной таблицы. При планировании анализа проб в бассейне Нижней Волги за известный период времени целесообразно провести выбор подходящего индикатора для дальнейшего анализа. Если период наблюдений широк, например, с мая по август, то встает вопрос о выборе показателя, который отражает изменение состояния независимо от сезонной изменчивости в этот период. Такими показателями в данном случае является средний объем клетки.

В целом, можно отметить, что средний объем клетки является более эффективным индикатором, чем показатели видовой структуры. Среди показателей видовой структуры наиболее эффективен, прост в расчетах и сохраняет наибольшее число доступных для анализа проб индекс выравненности *e*1. Менее эффективны параметры ранговых распределений *z*2, *z*3, β2, β3. Вероятно, прежде всего, это связано с меньшим числом доступных для анализа наблюдений ввиду отсева проб по числу видов в пробе (не менее 2 для *z*2 и β2, не менее 3 для *z*3 и β3).

# Заключение

В настоящее время существуют две независимые друг от друга и никак не согласованные системы оценки состояния окружающей среды на основании классов качества по химическим или по биологическим показателям.

Предложенная в данном цикле статей in\_situ-технология позволяет рассчитывать границы классов качества по биологическим и физико-химическим характеристикам одновременно и взаимосогласованно (границы по физико-химическим характеристикам см. [7]). Фактически предложен метод генерации объединенных по биологическим и физико-химическим показателям классификаторов качества среды.

In\_situ-технология применяемая в прикладных целях предполагает, что биоиндикатор выбран заранее, однако в исследовательских целях она может помочь с выбором индикатора.

Проведенные исследования показали, что не все данные, полученные на реальных экосистемах, могут быть использованы для анализа ввиду наличия влияния погрешностей отбора и обработки проб.

Программа наблюдений для большинства водных объектов России и сопредельных стран не требует пополнения.

Состояние фитопланктона на большинстве створов Нижней Волги является неблагополучным.

Найденные границы по биоиндикационным показателям позволяют проводить оценку качества вод, основываясь только на значениях этих показателей без необходимости привлекать физико-химические данные.

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

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Рисник Д.В.* "In situ"-технология установления локальных экологических норм // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 32–57.
3. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В.* Экологический контроль окружающей среды по данным биологического и физико-химического мониторинга природных объектов // Компьютерные исследования и моделирование. 2010. Т. 2. № 2. С. 199–207.
4. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Милько Е.С.* Методические проблемы анализа экологических данных и пути их решения: метод локальных экологических норм // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. Вып. 18. № 1. С. 9–22.
5. *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.
6. *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).
7. *Левич А.П., Рисник Д.В., Булгаков Н.Г., Фурсова П.В., Ростовцева Е.Л.* Возможности in\_situ-технологии контроля экологического состояния водных объектов на основе биоиндикации. Часть 2 . Границы нормы факторов среды, приводящих к экологическому неблагополучию // Водные ресурсы. 2014 (в печати).
8. *Левич А.П., Терехин А.Т.* Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на экосистемы (метод ЭДУ) // Водные ресурсы. 1997. №3. С. 328–335.
9. *Рисник Д.В., Корнева Л.Г., Булгаков Н.Г., Левич А.П.* Влияние погрешностей отбора и обработки проб на характеристики фитопланктонного сообщества рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2014 (в печати).
10. *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.
11. *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.
12. *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.
13. *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.** Доверительные интервалы показателей флуоресценции фитопланктона Рыбинского водохранилища по всем измерениям и по повторностям батометрических проб

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Доверительный интервал | $$F\_{0}$$ | $$F\_{орг}$$ | $$F\_{0 фито}$$ | $$F\_{m}$$ | $$F\_{m фито}$$ |
| для всех наблюдений | 0.089 | 0.052 | 0.064 | 0.198 | 0.183 |
| для повторностей  | 0.005 | 0.003 | 0.006 | 0.016 | 0.015 |

**Таблица 2.** Значения отношения среднемноголетнего значения показателей к значениям ГНИ и ГНФ на створах Нижней Волги в сезонной группе с мая по август. (Из таблицы исключены створы с пятью и менее наблюдениями)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | с. Верхнее Лебяжье | с. Красный Яр | п. Ильинка | п. ЦКК | Ю.О.С. | ниже с. Серо-глазовка | г. Камызяк | п. Подчалык | ПОС | п. Цаган-Аман | п. Аксарайский | рук. Болда, прот. Рычан | п. Селитренное | Среднее по створам |
| Число наблюдений | 28 | 25 | 55 | 52 | 6 | 6 | 30 | 18 | 32 | 11 | 19 | 18 | 17 |  |
| Биоиндикатор |
| Средний объем клетки | 0.96 | 0.81 | 0.71 | 0.71 | 1.30 | 1.44 | 0.87 | 0.69 | 0.88 | 1.26 | 1.39 | 1.20 | 1.21 | 1.03 |
| Физико-химические факторы |
| Расход относительный | 0.95 | 0.91 | 0.94 | 0.94 | 1.06 | 1.08 | 0.99 | 0.91 | 0.92 | 0.76 | 1.17 | 1.06 | - | 0.97 |
| Температура относительная | 0.86 | 0.80 | 0.85 | 0.85 | 0.84 | 0.85 | 0.81 | 0.82 | 0.86 | 0.75 | 0.79 | 0.82 | 0.76 | 0.82 |
| O2, мг/л | 1.06 | 1.08 | 0.99 | 0.99 | 1.03 | 1.03 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 1.10 | 1.02 | 1.10 | 1.07 | 1.04 |
| Ca, мг/л | 0.98 | 1.01 | 0.96 | 0.92 | 0.88 | 0.90 | 0.98 | 1.03 | 0.98 | 0.95 | 1.07 | 1.08 | 1.11 | 0.99 |
| Жёсткость, мг-экв/л | 0.87 | 0.88 | 0.85 | 0.83 | 0.82 | 0.83 | 0.89 | 0.91 | 0.87 | 0.81 | 0.97 | 0.96 | 0.98 | 0.88 |
| Взвешенные вещества, мг/л | 0.95 | 0.85 | 0.75 | 0.81 | 1.41 | 1.86 | 0.66 | 0.55 | 0.64 | 0.66 | 0.64 | 0.79 | 0.46 | 0.85 |
| Na+K, мг/л | 0.76 | 0.71 | 0.77 | 0.97 | 0.84 | 0.76 | 0.67 | 0.77 | 0.77 | 0.81 | 0.59 | 0.57 | 0.58 | 0.74 |
| Азот суммарный минеральный, мг/л | 0.99 | 1.12 | 1.12 | 1.00 | 1.63 | 0.90 | 1.03 | 0.59 | 0.91 | 0.69 | 0.78 | 0.75 | 0.73 | 0.94 |
| NH4, мг/л | 2.94 | 0.85 | 1.95 | 3.28 | 13.56 | 2.08 | 0.90 | 0.90 | 0.56 | 1.41 | 1.34 | 1.68 | 0.75 | 2.48 |
| Сумма ионов, мг/л | 0.91 | 0.93 | 0.89 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.95 | 0.93 | 0.90 | 0.84 | 1.08 | 1.08 | 1.09 | 0.93 |
| NO3, мг/л | 0.82 | 1.03 | 0.96 | 1.01 | 1.29 | 0.98 | 0.93 | 0.51 | 0.94 | 0.53 | 0.70 | 0.62 | 0.67 | 0.85 |
| NO2, мг/л | 1.79 | 1.46 | 1.25 | 1.40 | 10.02 | 2.83 | 1.34 | 0.50 | 0.94 | 1.20 | 0.39 | 0.54 | 0.57 | 1.86 |
| Кремнекислота, мг/л Si | 0.53 | 0.58 | 0.61 | 0.54 | 0.48 | 0.41 | 0.56 | 0.66 | 0.83 | 0.47 | 0.74 | 0.80 | 0.94 | 0.63 |
| рН | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 1.00 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.99 |
| СПАВ, мг/л | 0.79 | 0.96 | 0.57 | 0.68 | 0.53 | 0.89 | 0.85 | 0.91 | 0.95 | 0.92 | 0.65 | 0.82 | 0.77 | 0.79 |

Продолжение табл. 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | с. Верхнее Лебяжье | с. Красный Яр | п. Ильинка | п. ЦКК | Ю.О.С. | ниже с. Серо-глазовка | г. Камызяк | п. Подчалык | ПОС | п. Цаган-Аман | п. Аксарайский | рук. Болда, прот. Рычан | п. Селитренное | Среднее по створам |
| Физико-химические факторы |
| Фенолы, мг/л | 2.97 | 5.96 | 1.44 | 4.27 | 1.85 | 0.38 | 18.92 | 4.86 | 2.92 | 10.20 | 0.53 | 0.39 | 0.54 | 4.25 |
| PO4, мг/л | 0.48 | 0.46 | 0.32 | 0.52 | 0.53 | 0.37 | 0.35 | 0.16 | 0.46 | 0.32 | 0.23 | 0.44 | 0.29 | 0.38 |
| Feобщ, мг/л | 1.00 | 0.67 | 0.65 | 0.85 | 2.23 | 5.92 | 1.02 | 0.52 | 0.63 | 0.26 | 0.86 | 0.73 | 0.83 | 1.24 |
| H2S, мг/л | 0.67 | 0.59 | 1.44 | 1.17 | - | - | 0.31 | 2.63 | 0.85 | 0.33 | 0.12 | 0.29 | 0.17 | 0.78 |
| Co, мг/л | 1.08 | 0.78 | 1.30 | 0.76 | - | - | 0.50 | 0.92 | 0.61 | 21.39 | 1.07 | 1.94 | 0.86 | 2.84 |
| Pb, мг/л | 1.10 | 0.89 | 0.67 | 0.77 | - | - | 0.62 | 1.83 | 1.86 | 1.42 | 0.92 | 1.20 | 1.05 | 1.12 |
| Среднее по факторам | 1.12 | 1.12 | 0.96 | 1.16 | 2.27 | 1.33 | 1.68 | 1.09 | 0.97 | 2.23 | 0.79 | 0.89 | 0.76 |  |

**Таблица 3.** Значения отношения среднемноголетнего значения показателей к значениям ГНИ и ГНФ на створах Нижней Волги в сезонной группе май, июнь. (Из таблицы исключены створы с пятью и менее наблюдениями)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | с. Верхнее Лебяжье | с. Красный Яр | п. Ильинка | п. ЦКК | г. Камызяк | п. Подчалык | ПОС | п. Аксарайский | рук. Болда, прот. Рычан | п. Селитренное | Среднее по створам |
| Число наблюдений | 16 | 12 | 30 | 31 | 15 | 9 | 17 | 11 | 11 | 9 |  |
| Биоиндикатор |
| *e*1 | 1.72 | 1.70 | 1.43 | 1.34 | 1.47 | 1.31 | 1.3 | 2.25 | 1.96 | 1.74 | 1.62 |
| Физико-химические факторы |
| Прозрачность, м | 0.92 | 0.93 | 1.01 | 0.91 | 0.95 | 0.98 | 0.92 | 1.12 | 1.06 | 1.03 | 0.98 |
| Температура относительная | 0.95 | 0.92 | 0.81 | 0.81 | 0.92 | 0.83 | 0.81 | 0.82 | 0.93 | 0.86 | 0.87 |
| Взвешенные в-ва, мг/л | 0.41 | 0.45 | 0.63 | 0.52 | 0.63 | 1.46 | 0.78 | 0.71 | 0.75 | 0.95 | 0.73 |
| Цв. по Рt-Co шкале, град | 0.97 | 0.86 | 1.11 | 1.04 | 0.99 | 1.3 | 1.15 | 1.2 | 1.06 | 1.35 | 1.10 |
| Степень насыщения кислородом, % | 0.96 | 1.00 | 0.91 | 0.92 | 0.89 | 0.97 | 0.97 | 0.9 | 0.93 | 0.94 | 0.94 |
| Азот сумм. минер., мг/л | 0.98 | 0.92 | 0.70 | 0.95 | 1.01 | 1.68 | 0.76 | 1.33 | 1.3 | 1.55 | 1.12 |
| Crобщ, мг/л | 0.18 | 0.17 | 0.32 | 1.6 | 8 | 0.13 | 0.48 | 0.1 | 0.21 | 0.14 | 1.13 |
| Zn, мг/л | 0.92 | 1.28 | 1.90 | 0.55 | 0.56 | 0.97 | 1.22 | 1.17 | 0.51 | 0.52 | 0.96 |
| Cu, мг/л | 0.64 | 0.51 | 0.50 | 0.48 | 0.52 | 0.49 | 0.55 | 0.75 | 0.57 | 0.51 | 0.55 |
| ХПК, мг/л | 0.83 | 0.71 | 0.70 | 1.58 | 2.31 | 0.76 | 0.69 | 0.89 | 0.8 | 0.85 | 1.01 |
| Нефтепродукты, мг/л | 0.27 | 0.91 | 0.93 | 0.16 | 1.02 | 0.58 | 0.59 | 1.39 | 1.28 | 1.14 | 0.83 |
| Cl, мг/л | 0.84 | 0.85 | 0.85 | 0.86 | 0.83 | 0.82 | 0.84 | 1.03 | 1.04 | 1.01 | 0.90 |
| Сумма ионов, мг/л | 0.98 | 1.00 | 1.00 | 0.93 | 1.02 | 1.01 | 1.04 | 1.11 | 1.12 | 1.13 | 1.03 |

Продолжение табл. 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | с. Верхнее Лебяжье | с. Красный Яр | п. Ильинка | п. ЦКК | г. Камызяк | п. Подчалык | ПОС | п. Аксарайский | рук. Болда, прот. Рычан | п. Селитренное | Среднее по створам |
| Физико-химические факторы |
| Na+K, мг/л | 0.70 | 0.70 | 0.75 | 0.79 | 0.74 | 0.7 | 0.75 | 0.97 | 1.04 | 1.14 | 0.83 |
| Кремнекислота, мг/л Si | 0.68 | 0.73 | 0.77 | 0.72 | 0.67 | 1.04 | 1.25 | 1.29 | 1.01 | 1.08 | 0.92 |
| O2, мг/л | 0.95 | 0.95 | 0.85 | 0.85 | 0.91 | 0.91 | 0.89 | 0.83 | 0.86 | 0.97 | 0.90 |
| PO4, мг/л | 0.48 | 0.42 | 0.50 | 0.55 | 0.8 | 2.32 | 0.54 | 0.61 | 0.52 | 0.73 | 0.75 |
| Mg, мг/л | 0.86 | 0.83 | 0.87 | 0.85 | 0.88 | 0.85 | 0.87 | 0.87 | 0.88 | 0.88 | 0.86 |
| Feобщ, мг/л | 0.27 | 0.48 | 0.31 | 0.21 | 0.22 | 0.58 | 0.27 | 0.41 | 0.49 | 0.48 | 0.37 |
| Жесткость, мг-экв/л | 0.95 | 0.96 | 0.94 | 0.95 | 0.98 | 0.97 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.93 | 0.96 |
| Среднее по факторам | 0.74 | 0.78 | 0.82 | 0.81 | 1.24 | 0.97 | 0.82 | 0.92 | 0.87 | 0.91 | 0.89 |

**Таблица 4.** Сравнение биоиндикаторов по числу найденных существенных факторов и достаточности программы наблюдений.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Сезон | Биоиндикатор | Число существенных факторов | Достаточность программы наблюдений |
| с мая по август | Средний объем клетки | 21 | 0.82 |
| с сентября по ноябрь | *e*1 | 14 | 0.78 |
| Средний объем клетки | 22 | 0.95 |
| с мая по июнь | *e*1 | 20 | 0.97 |
| *z*2 | 14 | 0.83 |
| *z*3 | 9 | 0.73 |
| β3 | 11 | 0.83 |