

БУЛГАКОВ Н.Г., РИСНИК Д.В., ЛЕВИЧ А.П., МИЛЬКО Е.С.

**АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОД ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ СТВОРОВ
НИЖНЕЙ ВОЛГИ НА ОСНОВЕ БИОИНДИКАЦИИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ
ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ***

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Биологический факультет, кафедры общей экологии и биофизики. Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1-12, Тел.: (495)939-55-60, E-mail: apl@chronos.msu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Поскольку видовое разнообразие зависит от факторов, влияющих на качество среды [1-10], для биоиндикации могут быть использованы показатели видового разнообразия (ПВР) экологических сообществ – параметры ранговых распределений (ПРР) численностей видов и индексы выравненности.

Перечислим основные результаты, полученные в данном направлении в предшествующих работах с участием авторов [11-15].

1) Расчеты ПРР по приближенным формулам или по линейным регрессионным моделям дают искаженные результаты в сравнении с нелинейными моделями. Модели ранговых распределений одинаково адекватны.

2) Требование статистической достоверности результатов [16] обуславливает расчет ПРР без учёта видов, составляющих менее 5% от общей численности, и проб, в которых обилия видов известны менее чем для 30% общей численности сообщества.

* Работа поддержана грантами РФФИ № 09-04-00541-а, 09-07-00204-а

3) Сопоставлять ПВР можно только в пробах с одинаковым числом видов, т.к. ПВР зависят от видового богатства.

4) Метод экологически допустимых нормативов (метод ЭДН, см. раздел о методах исследования) позволил рассчитывать величины границ экологического благополучия (ГЭБ) биологического индикатора и величины экологически допустимых уровней (ЭДУ) факторов. Для каждого ПВР граница ГЭБ оказалась одинакова для всех исследованных факторов в пределах статистической погрешности. Были предложены критерии для отбора индикаторов в соответствии с задачами исследования.

5) Метод ЭДН позволил проранжировать физико-химические факторы по их вкладу в степень экологического неблагополучия вод и оценить степень достаточности программы физико-химического мониторинга для выявления возможных причин неблагополучия.

Для Нижней Волги были найдены значимые для экологического неблагополучия факторы окружающей среды, для которых рассчитаны экологически допустимые уровни, выход за пределы которых приводит к экологическому неблагополучию [17].

Предложенные ранее подходы применены в данной статье к задачам оценки качества вод на различных створах Нижней Волги.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные данные. Были использованы данные государственного мониторинга поверхностных вод России по численности фитопланктона и по сапробности вод на створах Нижней Волги за 1989-2006 гг., полученные из информационно-аналитической системы "Экологический контроль природной среды по данным биологического и физико-химического мониторинга" (<http://ecograde.belozersky.msu.ru>).

Значимые для экологического неблагополучия Нижней Волги факторы приведены в табл. 1. Факторы, для которых не был найден ЭДУ, включали: азот аммонийный, азот нитритный, сульфаты, сумму ионов, БПК₅, медь, цинк, ртуть, величину насыщения кислородом, окисляемость бихроматную, относительную температуру, относительный расход воды.

Методы расчёта показателей видового разнообразия. В работе были апробированы две модели ранговых распределений:

1) Экспоненциальная модель или модель геометрических рядов Мотомуры $n_i = n_1 z^{i-1}$ [18], где n_i – численность особей ранга i , z – параметр модели.

2) Гиперболическая модель $n_i = \frac{n_1}{i^\beta}$ [19], где β – параметр модели.

Для определения параметров этих моделей был использован метод нелинейной регрессии.

Также использованы индексы выравненности [15]: индекс e_k , равный

$$e_k = 1 - \frac{1}{k} \left(\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^w n_i} \right), \text{ где } w - \text{общее число видов в сообществе, } k - \text{число видов,}$$

используемых в анализе.

Метод расчёта экологически допустимых нормативов (метод ЭДН). Алгоритм метода можно представить в виде диаграммы, где по оси x отложены значения физико-химического показателя (концентрации веществ, рН и т.д.), а по оси y – значения индикаторных биологических характеристик (рис. 1), и разбиении диаграммы горизонтальной и вертикальной линией на области, обозначенные латинскими буквами "a", "b", "c", "d". Вертикальная линия (ЭДУ) на диаграмме разделяет значения фактора на допустимые и недопустимые. Горизонтальная линия (ГЭБ) разделяет значения индикатора, соответствующие благополучным и неблагополучным состояниям биоты.

Для поиска ЭДУ и ГЭБ использовали: критерий точности, заимствованный из работ по анализу социально-экономических данных [20] и критерий представительности.

Точность для индикатора $T_{и} = \frac{n(a)}{n(a+b)}$, точность для фактора: $T_{ф} = \frac{n(d)}{n(b+d)}$.

Представительность индикатора $ПР_{и} = \frac{n(a+b)}{n(a+b+c+d)}$, представительность фактора:

$ПР_{ф} = \frac{n(b+d)}{n(a+b+c+d)}$ где $n(a)$, $n(a+b)$, $n(d)$, $n(b+d)$ и $n(a+b+c+d)$ – количества наблюдений

в соответствующих областях. Максимуму результирующего критерия точности ($T = \sqrt{T_{и}T_{ф}}$) соответствует минимальное количество наблюдений в области "b", максимуму результирующего критерия представительности ($ПР = \sqrt{ПР_{и}ПР_{ф}}$) – максимальная степень достоверности полученных результатов. Совместная максимизация T и ПР достигается путём введения критерия $K = \sqrt{(ПР + \Delta)T}$, где Δ – поправка, вызванная формальным требованием близости по величине сомножителей при поиске экстремума произведения.

Значения минимальных точности $T_{мин}$, представительности $ПР_{мин}$, минимального количества анализируемых наблюдений $N_{мин}$ и значение поправки Δ (которое может быть принято, например, как $T_{мин} - ПР_{мин}$) задаются исследователем. В данной работе $T_{мин} = 0,8$, $ПР_{мин} = 0,25$, $N_{мин} = 86$, $\Delta = 0,5$.

Для дальнейшего анализа введена характеристика полноты $\Pi = \frac{n(d)}{n(c+d)}$ [20],

которая показывает долю неблагополучных по индикатору наблюдений с недопустимыми значениями фактора $n(d)$ среди всех неблагополучных наблюдений $n(c+d)$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели видового разнообразия фитопланктона. В целом по большинству критериев (количеству значимых факторов, результирующей представительности, суммарной полноте) из исследованных ПВР предпочтительными оказываются индексы выравненности e_1 , e_2 , и e_3 . Дальнейший анализ проведен для индекса e_1 .

Экологически допустимые уровни. В табл. 1 приведены значения ЭДУ для значимых факторов для индикатора e_1 . Факторы расположены по убыванию их вклада в степень неблагополучия индикатора.

Анализ качества вод на створах Нижней Волги. В каждом наблюдении степень благополучия качества вод можно оценить, сравнив значение ПВР в этом наблюдении с найденной величиной его ГЭБ.

В табл. 2 для каждого створа сведены относительные характеристики качества для показателя разнообразия e_1 , равные отношению величины ГЭБ к среднемуголетнему значению показателя для створа, и для индекса сапробности фитопланктона S , равные отношению среднегоголетней величины S для створа к значению его ГЭБ.

Индикатор сапробности оказался существенно менее чувствительным к комплексу воздействий, нарушающих экологическое благополучие.

Качество вод на всех створах оказалось неблагополучным, наиболее неблагополучен створ "село Каменный Яр", чуть менее – "село Подчалык". Самые благополучные – "поселок Аксарайский" и "село Селитренное".

Анализ причин неблагополучия может быть проведен с помощью найденных значений ЭДУ факторов, значимо влияющих на состояние сообществ. В табл. 2 для каждого створа и значимого фактора приведены характеристики влияния факторов, равные отношению среднегоголетних значений фактора к значениям их верхних ЭДУ или (и) отношению значений нижних ЭДУ к среднегоголетним значениям фактора. Неблагополучие биоты преимущественно вызвано существенными превышениями ЭДУ фенола, ДДТ, в меньшей степени – нефтепродуктов, для ряда створов – взвешенных

веществ, а для створа "село Каменный Яр" – также недостатком железа и превышением ЭДУ суммарного азота. Наименьший вклад в неблагополучие вносят недостаток содержания: фосфора фосфатов, углекислого газа, железа (кроме створа "село Каменный Яр"), нитратного азота, суммы ионов натрия и калия.

Отметим, что показатели, подобные усредненным по всем факторам величинам относительных (к значениям ЭДУ) характеристик загрязнения, часто применяемые для оценок качества по химическим показателям, оказываются малоинформативными, поскольку недопустимые значения для одних факторов при усреднении нивелируются допустимыми значениями других. Это замечание подчеркивает основное преимущество биотического подхода к оценке качества вод перед подходом, основанным на физико-химических показателях.

О нормативах качества вод. Величины ГЭБ и ЭДУ, устанавливаемые методом ЭДН, выше были названы экологически допустимыми нормативами качества среды соответственно для биологических индикаторов и физико-химических факторов. В существующем экологическом законодательстве этим нормативам соответствуют концепция целевых показателей качества для биологических и химических характеристик среды [21, ст. 35] и концепция нормативов ПДК (основные недостатки этой концепции перечислены в работе [22]). Нормативы ЭДУ представляют собой прямые аналоги нормативов ПДК, но полученные методами биоиндикации непосредственно в природных условиях, отягченных хозяйственной деятельностью человека.

Преимущества нормативов ЭДУ заключаются в том, что они: 1) носят региональный характер, т.е. учитывают фоновое загрязнение окружающей среды (без необходимости его измерения), климатические, хозяйственные и другие специфические характеристики природного объекта; 2) применимы к любым абиотическим факторам, воздействующим на природные сообщества, например, к температуре, скорости ветра, уровням воды, интенсивности водопотребления, радиоактивным загрязнениям и т.п. [23, 24]; 3)

учитывают реально сложившиеся в природе комплексы потенциально вредных воздействий, многочисленные косвенные эффекты воздействия, совокупное действие которых может быть более сильным, нежели эффект прямых влияний; 4) дифференцированы для водных объектов различного целевого назначения и для различных требований к качеству воды; 5) допускают уточнение по мере накопления новых экологических данных о природном объекте; 6) могут быть рассчитаны не только для текущих значений физико-химических факторов, но и для их экстремальных значений в заданные периоды и средних значений за различные периоды усреднения.

Лабораторные методы установления ПДК сохраняют свою роль в случаях, когда натурные данные мониторинга о каких-либо веществах отсутствуют или недостаточны для использования метода ЭДН.

Кроме того, нормативы ЭДУ могут играть роль паллиативных фоновых концентраций химических веществ в воде. Обычно фоновыми считают концентрации веществ в створе, заведомо не наносящие ущерба гидробионтам. Экологически более целесообразно в качестве фоновых концентраций использовать для данного региона (речного бассейна или подбассейна, участка течения водотока, сектора водоема, створа) ЭДУ, полученные на основе биоиндикации данной экосистемы. Такие «адаптивные» фоновые концентрации (в виде ЭДУ) могут быть определены не только на фоновых створах, но и на участках водотока, подверженных промышленным, сельскохозяйственным, бытовым стокам, поскольку они объективно отражают максимально допустимые уровни воздействия физико-химических факторов на конкретную локальную экосистему, приспособившуюся к этим уровням за счет адаптации. Таким образом, метод ЭДН в части установления нормативов ЭДУ может служить также методом установления адаптивных фоновых концентраций загрязняющих веществ по биологическим показателям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечислим задачи, решение которых становится возможным или необходимым на основании результатов, полученных в данной работе.

1. Необходим подробный методический анализ влияния параметров $PP_{\text{мин}}$, $T_{\text{мин}}$, $K_{\text{мин}}$, $N_{\text{мин}}$ на поиск ЭДН.

2. Возникновение в проведенных расчетах антиинтуитивных величин ЭДУ требует тщательного экологического анализа. Например, что из себя представляют неблагоприятная выравненность численностей фитопланктонных сообществ, при высоких концентрациях растворенного в воде кислорода, или гораздо более жесткие, чем ПДК, величины ЭДУ для концентраций нитратного азота и взвешенных веществ – факты природы или артефакты метода?

3. Необходимо методическое оснащение для задачи увеличения набора градаций качества вод.

4. Необходимо (и возможно) адаптировать предложенный метод в задачах расчета дифференцированных нормативов как для водных объектов различного целевого назначения (заповедных вод; рекреационных водоемов; водоемов, используемых в техногенных целях и т.п.), так и для различных категорий использования воды (орошение, использование вод для технических нужд, питьевое водоснабжение, рыбоводство и т.п.).

5. Метод ЭДН может быть встроен в технологию прогнозирования возможного нарушения экологического благополучия водной биоты по сценариям будущих абиотических воздействий на природные объекты.

6. Развитие метода ЭДН может превратить его в инструмент для анализа и сопоставления сценариев восстановления качества вод.

7. Полезно исследовать влияние запаздывающего воздействия физико-химических факторов на состояние биоты.

Более адекватными антропоцентрическим целям экологического контроля в качестве биоиндикаторов могут быть не характеристики гидробионтов, а показатели здоровья и смертности популяций человека, населяющих и использующих природные экосистемы. Метод ЭДН, проиллюстрированный в данной работе для индикаторов в виде ПВР, полностью пригоден для оценки качества среды, экологической диагностики и нормирования на основе любых способов биоиндикации.

Литература

1. Berger W.H. Diversity of planktonic Evraminifera in deepsea sediments / Berger W.H., Parker F.L. // Science. 1970. V. 168. №3937. pp.1345-1347.
2. Inagaki H. Une etude d'ecologie evolutive: application de la loi de Motomura aux fourmis / Inagaki H., Lenoir A. // Bul. Ecol. 5. №3. 1974. pp.207-219.
3. Левич А.П. Структура экологических сообществ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 181 с.
4. Левич А.П. Анализ ценозов в экологии сообществ с помощью ранговых распределений // Общая и прикладная ценология. 2007. № 5. с. 14-19.
5. Сироткина Н.В. Влияние тяжелых металлов на видовую и надвидовую структуры фитопланктонного сообщества Рыбинского водохранилища / Сироткина Н.В., Левич А.П. // Человек и биосфера. М.: Изд-во МГУ, 1981. С.142-150.
6. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.
7. Максимов В.Н. Ранговые распределения размерно-морфологических групп микроводорослей в перифитоне и их связь с уровнем загрязнения водоема / Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Джабруева Л.В. // Известия РАН. Серия биологическая 1997. № 6. С. 697-704.
8. Левич А.П. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. / Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. М.: РЭФИА, 2004. 271 с.
9. Барина С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. / Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Тель Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
10. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. / Под ред. О.В.Бухарина, Г.С.Розенберга. М.: Наука, 2007. 403 с.

11. Булгаков Н.Г. Методические вопросы применения ранговых распределений численности фитопланктона к анализу массовых данных экологического мониторинга пресных вод. Приближенные расчеты / Булгаков Н.Г., Абакумов В.А., Максимов В.Н., Левич А.П., Забурдаева Е.А. // Известия РАН. Сер. Биол. 2005. №5. С. 1-7.
12. Забурдаева Е.А. Методические вопросы применения ранговых распределений численности фитопланктона к анализу массовых данных экологического мониторинга пресных вод. Регрессионная модель / Забурдаева Е.А., Абакумов В.А., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Левич А.П. // Известия Самарского научного центра РАН. 2005. Вып. 4. Актуальные проблемы экологии. С. 84-91.
13. Забурдаева Е.А. Исследование разнообразия бентофауны озер Республики Марий Эл методом ранговых распределений для целей биоиндикации качества вод / Забурдаева Е.А., Бедова П.В., Максимов В.Н. // Вестник МГУ. Серия 16. Биология. 2010. № 2. С. 21-26.
14. Забурдаева Е.А. Методические аспекты использования данных биологического мониторинга по фитопланктону для биоиндикации качества вод в бассейне Волги / Забурдаева Е.А., Левич А.П. // Известия Самарского научного центра РАН. 2007. Т. 9. №1. С. 195-211.
15. Левич А.П. Поиск целевых показателей качества для биоиндикаторов экологического состояния и факторов окружающей среды (на примере водных объектов р. Дон) / Левич А.П., Забурдаева Е.А., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Мамихин С.В. // Водные ресурсы. 2009. Т.36. № 6. С. 730-742.
16. Максимов В.Н. О ранговых распределениях в экологии сообществ с точки зрения статистики // Известия РАН. Серия биологическая. 2004. № 3. С. 352-361.
17. Левич А.П. Методические вопросы применения показателей видового разнообразия фитопланктона для анализа качества вод Нижней Волги / Рисник Д.В., Булгаков Н.Г., Милько Е.С., Леонов А.О. // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2010.
18. Motomura I. Statistical treatment of association // Japan J. Zool. 1932. V.44. pp.379-383.
19. Левич А.П. Экстремальный принцип в теории сообществ // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1978. Т.1. С. 164-182.
20. Чесноков С.В. Детерминационный анализ социально-экономических данных. М.: Наука, 1982. 168 с.

21. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (принят ГД ФС РФ 12.04.2006) (ред. от 27.12.2009) (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.04.2010).
22. Левич А.П. Лабораторные методы определения ПДК следует дополнить методами установления экологически допустимых нормативов вредных воздействий по данным экологического мониторинга / Левич А.П., Забурдаева Е.А., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Мамихин С.В. // Материалы конференции "Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок". Часть 1. Борок: ИВП РАН, 2008. С. 92-107.
23. Максимов В.Н. Методика экологического нормирования воздействий на водоемы, не нормируемых методами биотестирования (на примере водных объектов бассейна Дона) / Максимов В.Н., Соловьев А.В., Левич А.П., Булгаков Н.Г., Абакумов В.А., Терехин А.Т. // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 2. С. 335- 340.
24. Максимов В.Н. Исследования сезонной динамики экологически допустимых уровней водности, температуры и рН в водных объектах бассейна Дона / Максимов В.Н., Левич А.П., Булгаков Н.Г., Соловьев А.В., Абакумов В.А., Терехин А.Т. // Вестник МГУ. Серия 16. Биология. 2010. (в печати).

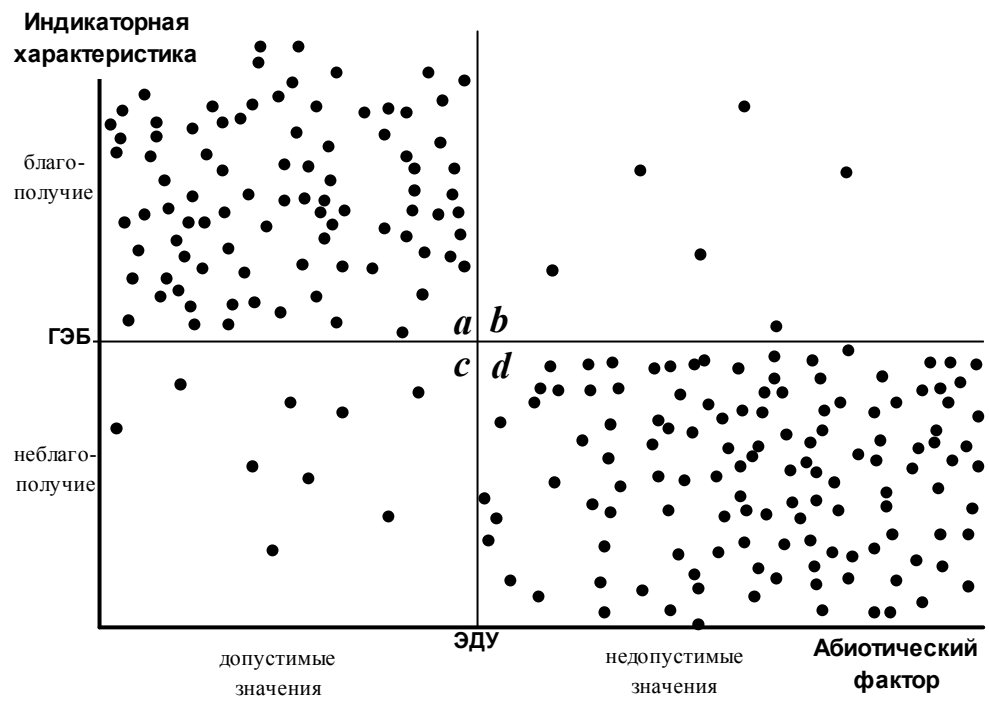


Рисунок 1. Диаграмма распределения значений индикаторной биологической характеристики и физико-химического фактора среды

Таблица 1. ЭДУ факторов, значимых для экологического неблагополучия по индикатору e_1 , и характеристики их поиска.

Фактор	ЭДУ	Полнота фактора	Результурующая точность	Результурующая представительность	Критерий поиска К	ПДК
Na+K, мг/л, н.у.	20	0,57	0,97	0,38	0,92	
Цветность по Pt-Co шкале, град., н.у.	21	0,54	0,83	0,39	0,86	20
Железо общее, мг/л, н.у.	0,04	0,44	0,83	0,33	0,83	
Растворенный кислород, мг/л, в.у.	10	0,44	0,81	0,34	0,83	
Взвешенные вещества, мг/л, в.у.	21	0,44	0,9	0,3	0,85	0,25
pH, в.у.	8,2	0,39	0,84	0,31	0,82	8,5
Азот суммарный минеральный, мг/л, в.у.	0,54	0,38	0,88	0,33	0,85	
ДДТ, мкг/л, в.у.	0,002	0,37	0,96	0,30	0,87	0,001
Азот нитратный, мг/л, н.у.	0,24	0,36	0,81	0,31	0,81	
Азот нитратный, мг/л, в.у.	0,47	0,35	0,86	0,32	0,84	9
Жёсткость, мг-экв/л, в.у.	4	0,35	0,85	0,33	0,84	7
Кремнекислота, мг/л Si, в.у.	2,7	0,35	0,83	0,28	0,8	
Прозрачность, см, н.у.	13	0,35	0,84	0,31	0,83	
Фосфаты, мг/л P, н.у.	0,008	0,34	0,93	0,28	0,85	
Углекислый газ, мг/л, н.у.	1	0,34	0,92	0,27	0,84	
Фенолы, мг/л, в.у.	0,004	0,32	0,83	0,28	0,81	0,001
Гидрокарбонатный анион мг/л, н.у.	85	0,31	0,91	0,25	0,83	
Нефтепродукты, мг/л, в.у.	0,19	0,31	0,89	0,26	0,82	0,05

н.у. – нижний уровень ЭДУ.

в.у. – верхний уровень ЭДУ.

Таблица 2. Анализ экологического неблагополучия для створов Нижней Волги
(прочерк означает отсутствие наблюдений за концентрациями ДДТ и Na+K)

Створ	пос. Аксарайский	Рукав Болда, проток а Рычан	с. Верхнее Лебяжье	с. Ильяинка	с. Каменный Яр	Рукав Кизань, г. Камызяк	с. Красный Яр	с. Подчалык	г. Астрахань, ПОС	с. Селитренное	с. Цаган-Аман	г. Астрахань, ЦКК	Среднее по створам
Число наблюдений	9	19	17	45	6	19	23	24	47	8	14	40	
Биологические индикаторы													
e_1	1,09	1,26	1,23	1,19	3,80	1,16	1,24	1,40	1,17	1,09	1,31	1,22	1,43
S	1,05	0,95	0,98	0,96	0,94	0,96	0,96	0,95	0,95	0,97	0,92	1,01	0,97
Физико-химические факторы													
Прозрачность, см	0,63	0,82	0,81	0,79	0,69	0,86	0,80	0,78	0,84	0,63	0,90	0,82	0,78
Цветность по Pt-Co шкале, град	0,39	0,76	0,71	0,69	1,02	0,69	0,65	0,52	0,77	0,42	0,92	0,84	0,70
Взвешенные в-ва, мг/л	0,88	1,81	1,29	1,12	0,65	1,08	1,34	0,72	1,02	0,45	1,03	0,99	1,03
pH, ед-цы pH	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99
Раствор. кислород, мг/л	0,95	1,00	1,00	0,97	1,08	0,94	0,99	0,95	0,93	0,94	1,03	0,95	0,98
Углекислый газ, мг/л	0,41	0,56	0,58	0,70	0,61	0,67	0,69	0,57	0,61	0,43	0,56	0,61	0,58
Жёсткость, мг-экв/л	0,94	0,82	0,86	0,92	0,85	0,85	0,84	0,89	0,85	0,97	0,79	0,83	0,87
Гидрокарбонатный анион мг/л	0,60	0,79	0,72	0,66	0,84	0,76	0,76	0,74	0,76	0,61	0,81	0,77	0,74
Кальций нижняя граница, мг/л	0,79	0,87	0,84	0,79	0,82	0,86	0,85	0,82	0,85	0,77	0,89	0,86	0,83
Азот нитратный верхняя гр., мг/л	0,58	0,91	0,80	1,01	1,09	0,85	0,80	0,54	1,00	0,69	0,55	0,84	0,81
Азот нитратный нижняя гр., мг/л	0,89	0,56	0,65	0,51	0,47	0,60	0,64	0,95	0,52	0,75	0,94	0,62	0,68
Азот сумм. минер., мг/л	0,65	0,92	0,89	0,99	1,18	0,90	0,83	0,57	0,95	0,65	0,63	0,83	0,83
Фосфаты, мг/л P	0,12	0,33	0,32	0,29	0,37	0,29	0,30	0,30	0,28	0,16	0,31	0,29	0,28
Кремнекислота, мг/л Si	0,59	0,75	0,93	0,74	0,88	0,89	0,93	0,73	0,75	0,57	1,25	0,86	0,82
Железо общее, мг/л	0,20	0,36	0,35	0,26	1,90	0,27	0,38	0,34	0,50	0,20	0,54	0,35	0,47
Фенолы, мг/л	0,61	8,74	6,72	2,68	21,73	11,61	3,75	4,02	2,34	0,53	8,80	8,00	6,63
Нефтепродукты, мг/л	0,37	0,62	0,63	1,65	1,12	1,04	0,74	0,51	1,13	0,33	1,28	1,62	0,92
ДДТ, мкг/л	0,11	4,11	7,63	2,39	15,38	7,04	3,65	17,00	12,20	–	4,87	8,05	7,49
Na+K мг/л	0,70	0,84	0,36	0,68	–	0,70	0,70	0,90	0,67	0,77	0,53	0,68	0,69
Среднее по факторам	0,60	1,40	1,43	0,99	2,87	1,68	1,09	1,73	1,47	0,60	1,45	1,57	1,41
Суммарная полнота (по e_1)	100	100	100	95	100	100	100	100	87	100	100	96	96,7