

УДК 504.064.2

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
БЛАГОПОЛУЧИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

© 2018 г. П.Д. Засыпкин, О.С. Ушакова, Г.А. Оболдина, Т.Е. Павлюк

*ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного
использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург, Россия***Ключевые слова:** р. Рожайка, р. Белая, р. Тура, гидрохимические показатели, гидробиологические показатели, биотические индексы, оценка качества вод, водная экосистема, показатель антропогенной нагрузки, классы качества вод.

П.Д. Засыпкин

О.С. Ушакова

Г.А. Оболдина

Т.Е. Павлюк

На примере рек разных географических зон (тайги, лесостепи и смешанного леса) определены уровни загрязнения и установлены классы качества воды по гидробиологическим данным (биотическим индексам) и по значениям комплексного физико-химического показателя антропогенной нагрузки. Исследована и установлена через классы качества проб воды взаимосвязь натуральных величин биотических индексов и соответствующих показателей антропогенной нагрузки.

Полученные результаты по данным гидрохимического и биотического мониторинга обеспечивают оперативное выявление участков водных объектов с повышенной антропогенной нагрузкой и риском истощения, нарушения биологического разнообразия и деградации.

Одним из важнейших для человечества ресурсов является пресная вода. В современных условиях важно не только наличие данного ресурса, но и его качественные характеристики, обуславливающие стабильность функционирования экосистем и экологическую безопасность. Реки обладают удивительной способностью к самоочищению, позволяющей противостоять антропогенной нагрузке от хозяйственной деятельности человека. Изучение водных экосистем рек и оценка качества их вод являются актуальной задачей экологических исследований, для выполнения которой требуются самые передовые и совершенные инструменты мониторинга и методов диагностики состояния водных объектов.

Обзор работ по категоризации качества поверхностных водных объектов позволяет сделать вывод об отсутствии к настоящему времени единой, достаточно полной и сбалансированной комплексной методики оценки качества водных экосистем, использующей одновременно гидрохимические и гидробиологические показатели, основанной на современных методах формализации, лишенной профессионального субъективизма используемых критериев, технологичной и легитимной для широкого использования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Наиболее распространенными являются методы, методики выполнения измерений, руководящие документы по гидрохимическому мониторингу, но за последние десятилетия гидрохимическая парадигма уступила лидирующее положение биотической парадигме. Многочисленными исследованиями установлено, что экологическая безопасность водных объектов (сохранение биологического разнообразия) надежно подтверждается биотическими параметрами, в частности, индексами Biological Monitoring Working Party (BMWP') [1], индексом трофической комплектности (ИТК) [2, 3], бельгийским биотическим индексом (ББИ) [4], которые и были использованы в данной работе при обработке проб биоты исследуемых водных экосистем.

Попытки создать универсальный инструмент для мониторинга водных объектов, включающий результаты гидрохимических и гидробиологических показателей, предпринимались неоднократно [5–8]. В настоящее время интенсивно развивающаяся биотическая концепция мониторинга водных ресурсов практически утратила преемственность классической гидрохимической концепции.

В проведенном исследовании на примере рек разных географических зон определены уровни загрязнения и установлены классы качества воды по гидробиологическим данным (биотическим индексам) и по показателю антропогенной нагрузки (ПАН) [9]. ПАН рассчитывали по группе общих физико-химических аналитов, характеризующих фундаментальное качество воды исследуемого водного объекта в соответствии с классификацией качества поверхностных вод, выполненной с экологических позиций [10]. Эта классификация включает в себя наряду с гидрохимическими сопряженные биотические показатели. Исследована и установлена зависимость/корреляция классов качества, установленных по натуральным величинам биотических индексов и ПАН (табл. 1).

Индекс BMWP' выражаемый, как и метод Чендлера, в виде безразмерных баллов [1], признан фундаментальным показателем в области трактовки экологического состояния водоемов и водотоков по биологическому разнообразию зообентического сообщества. Разработанный для фауны

Таблица 1. Шкалы значений для оценки гидробиологических индексов и ПАН

Классы качества	BMWP', баллы	ББИ, баллы	ИТК, баллы	ПАН, усл. м ³ /м ³
1	> 101	9–10	> 27,52	0–4,2
2	61–100	7–8	20,64–27,52	4,3–10,8
3	36–60	5–6	13,76 – 20,64	10,9–24,0
4	16–35	3–4	6,88 – 13,76	24,1–70,0
5	≤ 15	1–2	< 6,88	70,0–135,0

Великобритании показатель впоследствии был модифицирован для европейской фауны, к уже учитываемым был добавлен ряд маркерных семейств, олигохеты и др. [11]. В ходе установления BMWP' различным семействам насекомых и некоторым другим группам животных присваивают определенное количество баллов – от 1 до 10. В итоге, чем больше баллов «наберет» проба, тем выше уровень биологического разнообразия и больше доля индикаторных организмов.

Шкала Бельгийского биотического индекса (ББИ) [4] варьирует в достаточно незначительных пределах – от 0 до 10. При этом, чем больше чувствительных групп и систематических единиц присутствуют на исследуемом участке водного объекта, тем выше величина ББИ. Минимальное значение индекса – 0 (очень большое загрязнение) достигается, когда все группы макрозообентоса отсутствуют. В случае, если ББИ равен пяти или меньше, ситуация трактуется авторами как критическая.

Относительно новым в биологическом мониторинге является Индекс трофической комплектности (ИТК) [2–3]. Система оценки по методу ИТК включает пять классов качества в зависимости от количества трофических групп макрозообентоса, обитающих в исследуемом водном объекте. Ограничительным условием для применения ИТК является преимущественное определение донных организмов до вида, тогда как для ББИ и BMWP' в ряде случаев требуется определение макрозообентоса до рода или даже семейства.

ПАН – комплексный удельный показатель, разработанный в РосНИИВХ для комбинированной характеристики качества воды и состояния водных экосистем по гидрохимическим показателям с экологических позиций [9]. Выражается в условных удельных кубических метрах воды, необходимой для виртуального разбавления, чтобы компенсировать негативное воздействие. Общий ПАН определяется суммированием ПАН, рассчитанных для индивидуальных негативных воздействий (закисление, засоление, эвтрофирование и т. д.).

В данной работе расчет ПАН производился по общим типам воздействия (приложение А [9]), по сопряженным макрокомпонентам без учета токсичности и экотоксикации вод, возможной деградации биологических

цепей в силу отсутствия данных [12–14]. Анализировалась сходимость выводов, полученных по ПАН и биотическим индексам о качестве вод и экологическом благополучии водных экосистем.

ПАН имеет нелинейную шкалу значений соответствия классам качества воды, установленным с экологических позиций. Увеличенные интервалы ПАН между классами загрязненных вод обеспечивают повышенную информативность результатов мониторинга деградации водных объектов. Для удобства интерпретации и сравнения результатов классов качества вод по ПАН и биотическим индексам применен средний биотический индекс (СБИ). Прием осреднения часто применяют при использовании нескольких аналогичных методов оценки. Среднее арифметическое значение интегрирует особенности оценок по разным методам. При этом оценка качества воды становится более объективной.

$$\text{СБИ} = (\text{ВМWP}' + \text{ББИ} + \text{ИТК})/3. \quad (1)$$

В рамках проведенной работы исследованы водные объекты с разными типами антропогенной нагрузки: р. Рожайка и ее притоки – нагрузка по биогенным загрязняющим веществам [12]; р. Белая – высокая минерализация [13]; р. Тура – комбинированный тип воздействия (ионы металлов, органические и биогенные загрязнения [14]).

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НА РЕКЕ РОЖАЙКА И ЕЕ ПРИТОКАХ

Река Рожайка – небольшой водоток ближайшего южного Подмосковья, протекающий с юго-запада на северо-восток на расстоянии до 55 км. Река Рогожка – левый приток Рожайка длиной 12 км и площадью водосбора 81,5 км². Реки протекают по территории, для которой характерна высокая сельскохозяйственная освоенность [12]. Схема расположения створов наблюдений на исследуемых водных объектах представлена на рис. 1.

Результаты гидробиологических исследований р. Рожайка и ее притоков представлены в табл. 2. Результаты гидрохимических исследований (для расчета ПАН) в створах р. Рожайка и ее притоках – в табл. 3.

На рис. 2 представлены результаты оценки качества вод по ПАН в створах р. Рожайка и ее притоках, а также оценки состояния экосистем по биотическим индексам и СБИ.

Створы на рис. 2 расположены в порядке ухудшения качества воды по ПАН. С повышением антропогенной нагрузки на водный объект гидробиологические индексы должны свидетельствовать о деградации структуры водных экосистем, ухудшении качества, чему не соответствуют биотические данные створа 13. Качество воды в створе 13 по ПАН соответствует второму классу качества, в то время как биотические индексы сигнализируют о значительной деградации водной экосистемы (3 класс качества по ББИ, ИТК и 4 класс качества по ВМWP' и СБИ).

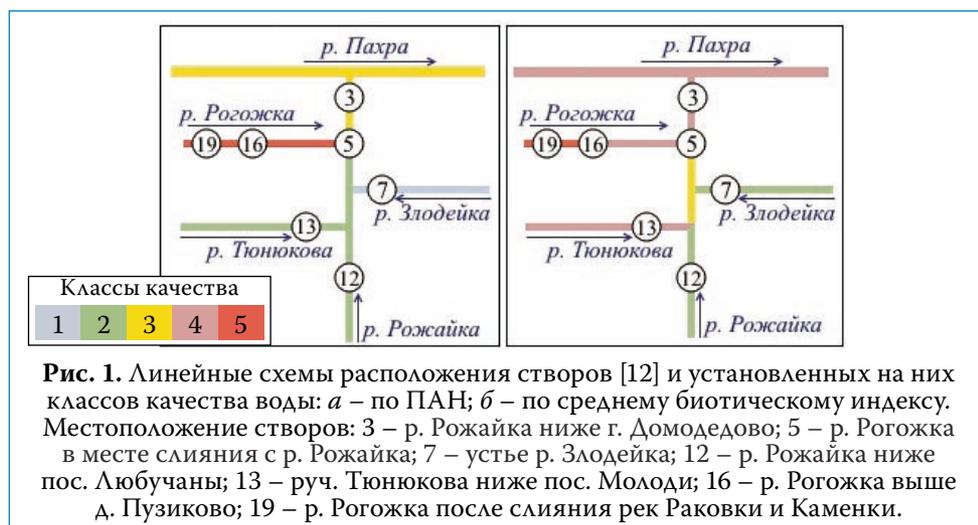


Рис. 1. Линейные схемы расположения створов [12] и установленных на них классов качества воды: *а* – по ПАН; *б* – по среднему биотическому индексу. Местоположение створов: 3 – р. Рожайка ниже г. Домодедово; 5 – р. Рогожка в месте слияния с р. Рожайка; 7 – устье р. Злодейка; 12 – р. Рожайка ниже пос. Любучаны; 13 – руч. Тюнюкова ниже пос. Молоди; 16 – р. Рогожка выше д. Пузиково; 19 – р. Рогожка после слияния рек Раковки и Каменки.

Таблица 2. Значения биотических индексов в створах р. Рожайка и ее притоках

Биотический критерий	Створы на р. Рожайка и ее притоках						
	3	5	7	12	13	16	19
ИТК, баллы	15	15	23	27	14	12	7
ВМВР', баллы	15	42	127	99	20	12	11
ББИ, баллы	4	6	10	10	5	4	3
СБИ, класс качества	3,6	2,9	1,1	1,1	3,3	3,8	4,1

Классы качества

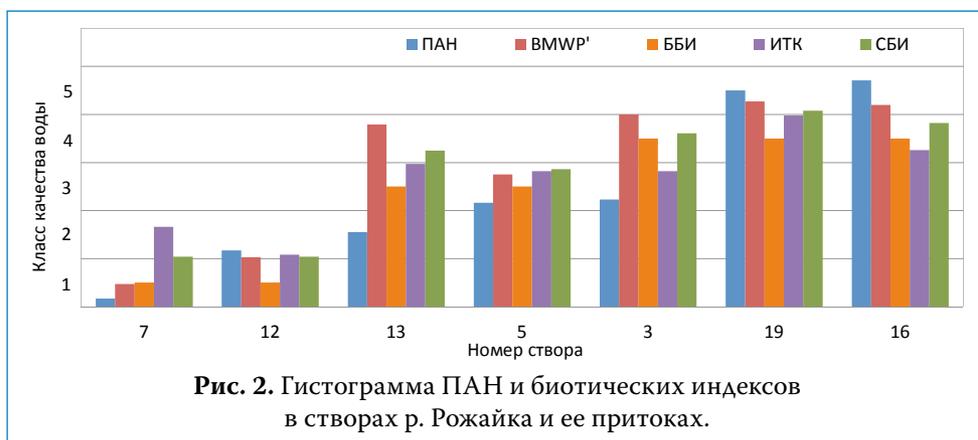


Таблица 3. Результаты гидрохимических исследований и оценки качества воды по ПАН для р. Рожайка и ее притоков

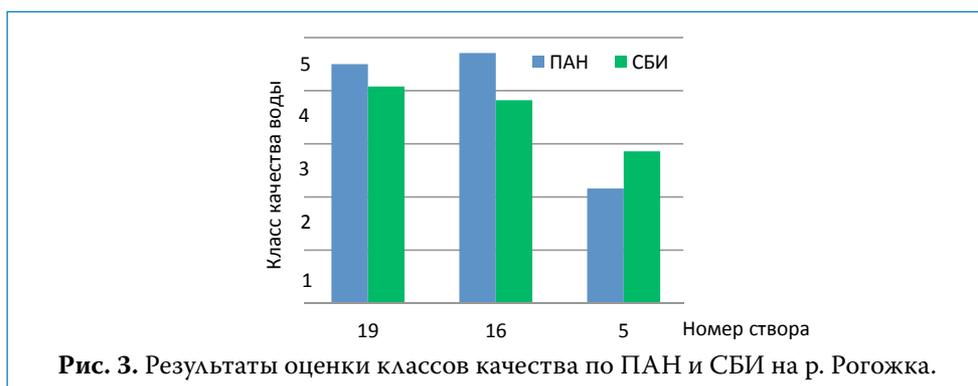
Аналит	Номер створа отбора проб воды						
	3	5	7	12	13	16	19
N (NH ₄ ⁺), мг/дм ³	< 0,4	1,2	< 0,4	0,75	0,55	6	13,7
N (NO ₂ ⁻), мг/дм ³	0,85	0,71	< 0,02	< 0,02	< 0,02	5,06	2,15
N (NO ₃ ⁻), мг/дм ³	22	23	7	18	4	20	3
P _{общий} , мг/дм ³	0,1	0,1	0,12	0,11	0,09	5,98	7,9
ХПК, мг O ₂ /дм ³	18	21	16,8	10	17,8	10	28
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	10,4	12,5	9,1	5,6	10	4,5	15,5
pH, ед. pH	8	7,8	8,1	7,9	9,2	–	–
Fe _{общее} , мг/дм ³	0,2	0,2	0,24	0,36	0,18	0,05	0,75
Mn, мг/дм ³	0,05	0,09	0,045	0,53	0,04	0,04	0,430
ПАН в створе, усл. м ³ /м ³	13,8	13,0	0,7	5,3	7,9	116	103
ПАН, класс качества	2,2	2,2	0,2	1,2	1,6	4,7	4,5

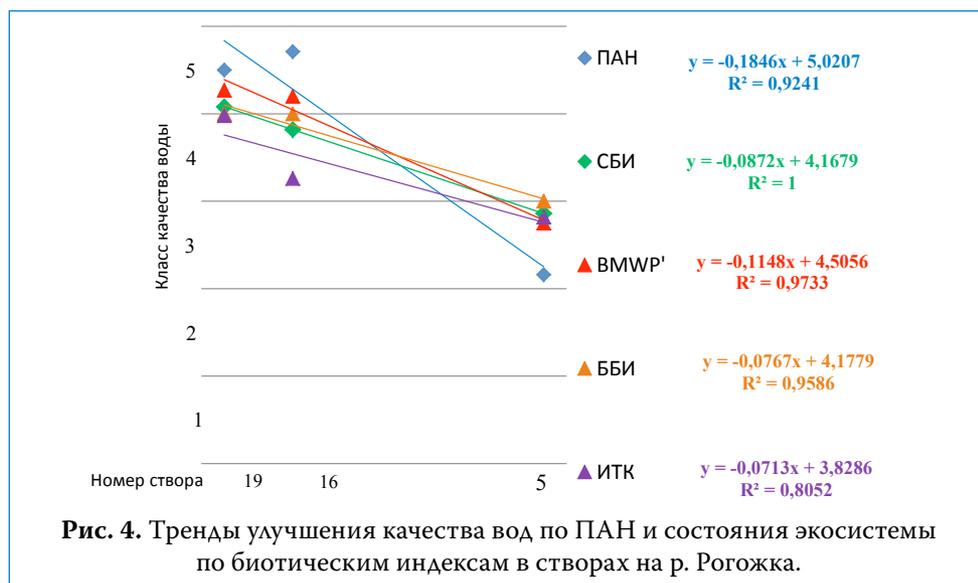
Несоответствие полученных результатов объяснимо результатами обследования створа, в котором биотические показатели характеризуют ухудшение состояния водной экосистемы не как следствие загрязнения, а из-за фактической нестабильности физических условий существования макрозообентоса, обусловленной резким перепадом расхода воды, периодическим пересыханием русла руч. Тюнюкова, суглинистыми грунтами. В подобных случаях применение биотических индексов для оценки состояния водных экосистем может приводить к искаженной трактовке их истинного состояния.

В створе 16, как и в створе 19, на р. Рогожка значительное воздействие на водный объект оказывают хозяйственно-бытовые сточные воды, загрязненные биогенными элементами.



Унифицированные значения ПАН и СБИ в створах на р. Рогожка приведены на рис. 3, графики трендов биотических индексов и ПАН представлены на рис. 4.





Створы 19, 16 и 5 расположены последовательно, вниз по течению. Наблюдаемое расхождение в оценке качества вод по гидрохимическим и гидробиологическим данным в створах 16 и 19 (ПАН увеличивается, а гидробиологические параметры улучшаются) может быть объяснено:

- адаптацией биоты на существующую биогенную нагрузку вниз по течению, от створа 19 к створу 16;
- изменчивостью антропогенной нагрузки.

Из анализа трендов следует, что биотические критерии свидетельствуют примерно об одинаковом улучшении качества воды между створами 19 и 5, равном одному классу. Для сравнения: тренд по ПАН равен в среднем двум классам качества, что может оказаться более перспективным при оперативной характеристике улучшающегося качества воды водного объекта и оценки его варьирования.

Для р. Рожайка оценка классов качества по ПАН и СБИ в исследованных створах представлена на рис. 5. Результаты корреляции ПАН и биотических индексов приведены на рис. 6.

Таким образом, о процессе деградации водной экосистемы на участке водного объекта может свидетельствовать как тренд значений ПАН, так и тренд биотических индексов. Результаты усредненных значений биотических индексов в створах на р. Рожайка и ее притоках (рис. 2) указывают на то, что вода в створах 7 и 12 приемлемого качества, которое обеспечивает относительно хорошее состояние водной экосистемы – переходное из 1 во 2 класс. Состояние р. Рогожка в створе 5 оценивается как зона регулярного

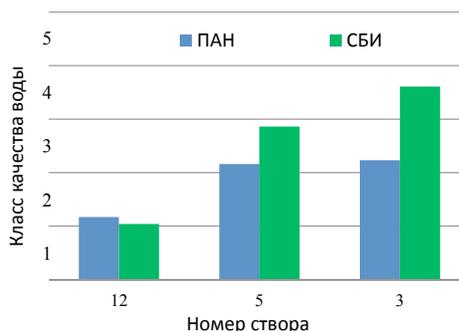


Рис. 5. Взаимосвязь ПАН и СБИ в створах р. Рожайка.

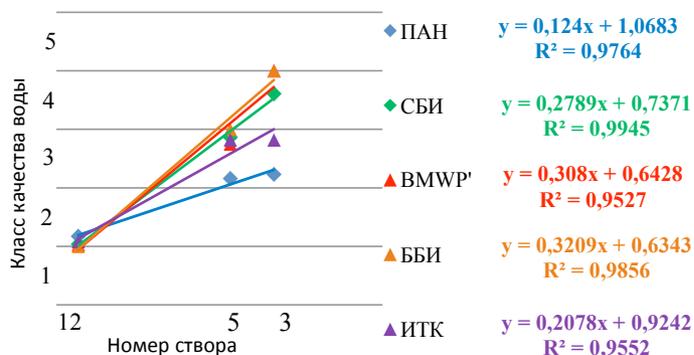


Рис. 6. Тренды ухудшения качества вод по ПАН и состояния экосистемы по биотическим индексам в створах на р. Рожайка.

умеренного загрязнения воды, «проявления процессов деградации экосистемы» (3 класс качества по гидробиологическим и гидрохимическим показателям) [12]. В категорию «значительной деградации» попадает створ 3 – по ПАН он соответствует 3 классу качества, по СБИ – 4 классу качества (состояние истощения качества воды и деградации водной экосистемы). Неудовлетворительное качество вод в этом створе является следствием интенсивной антропогенной деятельности.

Полученные результаты показывают, что между гидрохимическими показателями ПАН и гидробиологическими индексами или их средними значениями прослеживается четкая взаимосвязь. Даже если отсутствует абсолютное совпадение классов качества воды и состояния экосистем, установленная комбинация значений ПАН и биотических характеристик позволяет сделать вполне определенные выводы. Например, участок реки между створами 19 и 16 находится под влиянием хозяйственно-бытовых

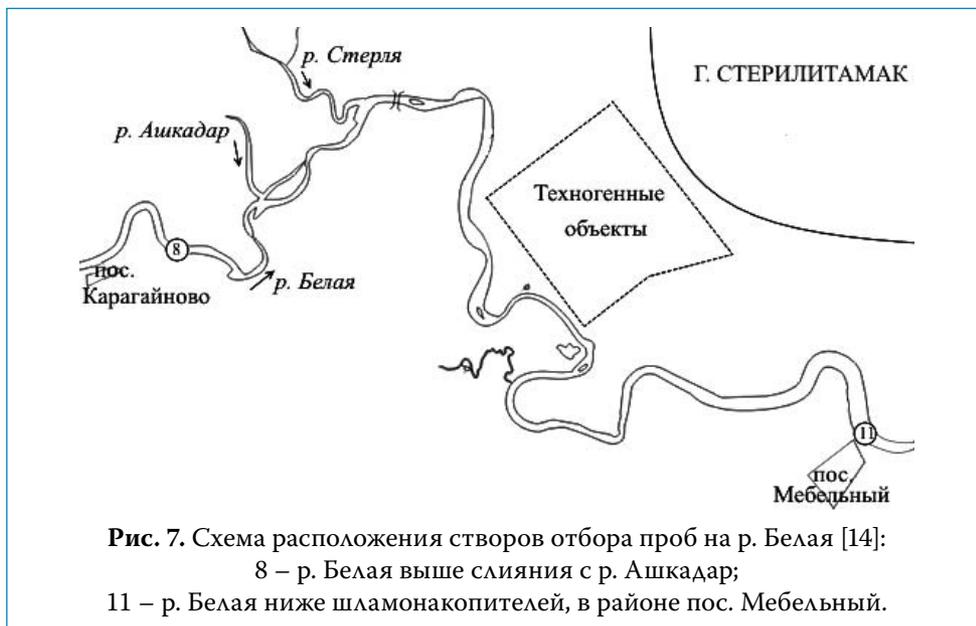
сточных вод. В створе 16 пробы воды по ПАН и СБИ 5 и 4 класса качества соответственно (деградация экосистемы – обратимая).

Коэффициент детерминации R^2 данных ПАН и СБИ р. Рожайка и ее притока Рогожка составляет соответственно 0,95 и 0,93. Коэффициент корреляции R Пирсона [15–16] между ПАН и СБИ для р. Рожайка – 0,95, для р. Рогожка – 0,93, что свидетельствует о весьма сильной связи между рассматриваемыми параметрами. При этом обнаруженные несоответствия результатов оценки классов качества водного объекта по гидрохимическим и гидробиологическим показателям имеют логическое объяснение.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НА РЕКЕ БЕЛАЯ

Река Белая – типично равнинная река, водный режим которой характеризуется весенним половодьем, прерывистой летне-осенней и устойчивой зимней меженью, как и на реках Рожайка и Рогожка. Основную долю в питании реки составляют поверхностные воды, испытывающие мощный «антропогенный пресс» промышленного региона (сброс сточных вод г. Стерлитамака).

Схема расположения створов наблюдений представлена на рис. 7, результаты расчета классов качества воды по ПАН, биотическим индексам и СБИ в створах р. Белая отражены на рис. 8. Данные рис. 8 свидетельствуют об идентичных результатах изменения класса качества воды и состояния экосистемы в 11 створе по отношению к соответствующим данным 8 створа.



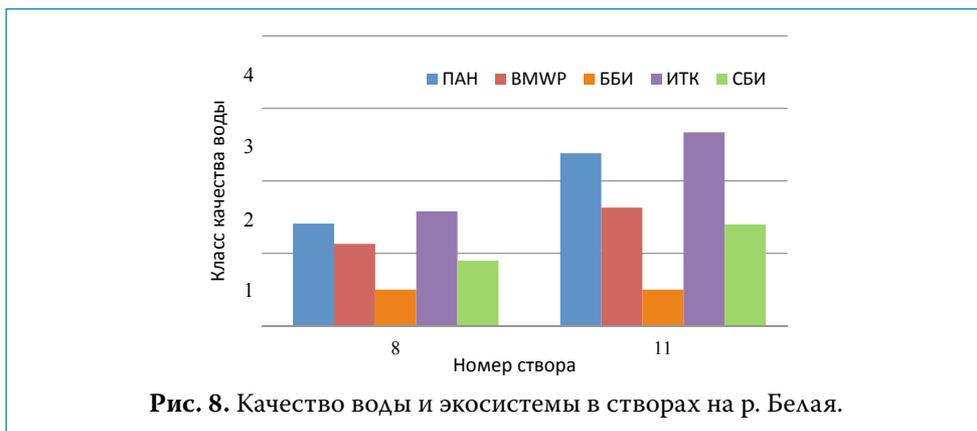


Рис. 8. Качество воды и экосистемы в створах на р. Белая.

Участок р. Белая от створа 8 до створа 11 испытывает засоление. Качество воды с экологических позиций ухудшается на класс. Причем, из биотических индексов ИТК является наиболее чувствительным показателем к изменению минерализации воды. Качество воды в створе 11 соответствует 3 классу по показателю ПАН и 2 классу по СБИ (умеренное антропогенное воздействие). Не отзывается на изменение минерализации воды ББИ.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НА РЕКЕ ТУРА

Река Тура – левый приток р. Тобол (Западная Сибирь) длиной 1030 км, площадь водосбора – 80,4 тыс. км² [14]. Схема расположения створов наблюдений представлена на рис. 9.

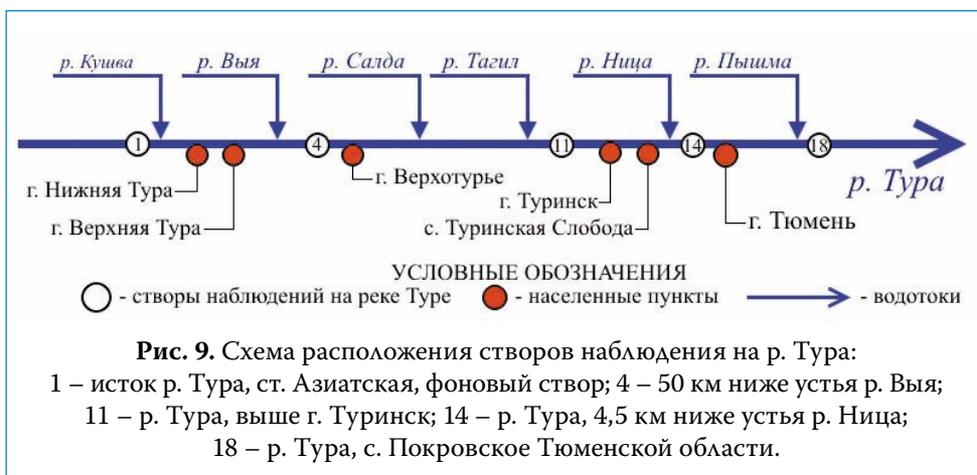


Рис. 9. Схема расположения створов наблюдения на р. Тура:

- 1 – исток р. Тура, ст. Азиатская, фоновый створ; 4 – 50 км ниже устья р. Выя;
- 11 – р. Тура, выше г. Туринск; 14 – р. Тура, 4,5 км ниже устья р. Ница;
- 18 – р. Тура, с. Покровское Тюменской области.

На рис. 10 приведена гистограмма классов качества воды и состояния экосистемы в исследуемых створах р. Тура по ПАН и СБИ.

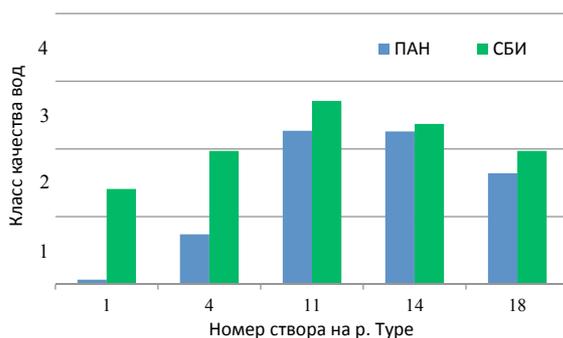


Рис. 10. Качество воды по ПАН и состояния водной экосистемы по СБИ в створах р. Тура.

Полученные в рамках исследования данные свидетельствуют о том, что в створах 1 и 4 у истока р. Тура информативность ПАН выше, чем у биотических показателей. Это объясняется тем, что макрозообентос в верховьях водных объектов еще не сформирован и представлен не всеми маркерными организмами. Поэтому, по объективным причинам, в створах у истока рек биотические индексы уступают лидирующую роль ПАН. Взаимосвязь биотических индексов и ПАН для р. Тура представлена на рис. 11.

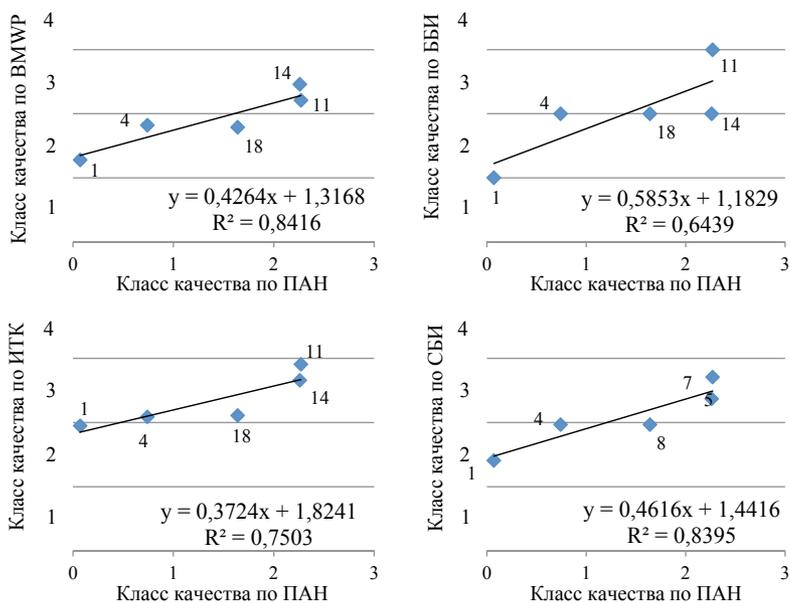
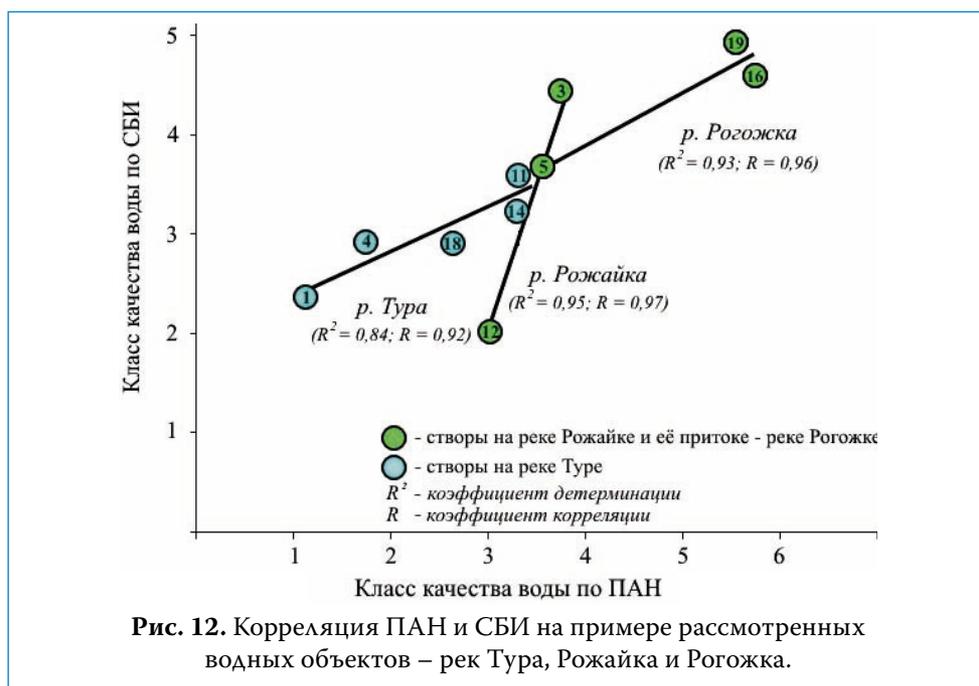


Рис. 11. Корреляция значений ПАН и биотических индексов в створах на р. Тура.

Полученные результаты демонстрируют наличие связи между гидрохимической оценкой качества воды в створах по ПАН и соответствующими гидробиологическими индексами или их средними значениями [15–16]. Коэффициент детерминации R^2 для р. Тура составляет 0,84, коэффициент линейной корреляции $R = 0,92$, что свидетельствует о весьма сильной (полной) связи [15–16]. Результаты корреляции не изменяются при использовании вместо классов качества воды натуральных значений ПАН и соответствующих биотических индексов, СБИ.

Сводные результаты корреляции ПАН и СБИ по рассмотренным водным объектам представлены на рис. 12.



Коэффициент корреляции (R) данных ПАН и СБИ в створах исследуемых рек колеблется от 0,92 до 0,97, что соответствует высокому уровню корреляции ($> 0,90$) и статистически значимой тесной связи биотических индексов и комплексного гидрохимического показателя – ПАН. При этом ПАН может являться относительно объективным показателем оценки истощения, самоочищения и деградации состояния водных экосистем.

Расхождение оценок классов качества по ПАН и биотическим индексам может быть объяснено:

- стандартной погрешностью в 0,3–0,5 класса качества, обусловленной методом оценки;

- приспособляемостью водной экосистемы (ПАН > СБИ) в достаточно широком интервале антропогенной нагрузки;
- инерцией водной экосистемы (ПАН < СБИ), когда биота водного объекта уже сформирована под влиянием антропогенного воздействия и, при временном снижении нагрузки на водный объект, продолжает находиться в угнетенном состоянии;
- нестабильностью, периодическим характером антропогенной нагрузки, когда при отборе проб на химический анализ некоторые загрязняющие вещества отсутствуют или представлены в меньших концентрациях.

ВЫВОДЫ

В настоящее время пробелы действующего природоохранного законодательства позволяют уклоняться от ответственности за причиненный экологический вред. Комплексное использование биотических индексов совместно с гидрохимическим показателем антропогенной нагрузки дает возможность выполнить достоверную оценку качества вод и состояния экосистем в контролируемых створах водных объектов, выявить участки рек с повышенной антропогенной нагрузкой, риском снижения биологического разнообразия, подтвердить факты нанесения вреда и ущерба водному объекту.

В рамках проведенного исследования по результатам биотического и гидрохимического мониторинга в створах водных объектов установлена коррелируемая связь между гидробиологическими индексами состояния их экосистем и соответствующими комплексными гидрохимическими показателями антропогенной нагрузки, характеризующими качество воды, в которой экосистемы формируются и развиваются.

Выявленные несоответствия оценок качества воды и состояния экосистем водных объектов в створах имеют логическое объяснение. Результаты физико-химического анализа качества природных вод отражают факт негативного воздействия хозяйственной деятельности на момент отбора проб и могут содержать погрешность, если выполняются в режиме предварительного предупреждения хозяйствующего субъекта. Результаты биологических и физико-химических исследований имеют высокую степень корреляции, эквивалентны при длительном стабильном негативном воздействии. Биологические методы позволяют обнаружить последствия произошедших в предыдущий период времени устойчивых негативных воздействий на водные экосистемы, т. е. они более интегральны и объективны.

О степени истощения качества воды водного объекта и деградации водной экосистемы на участке реки свидетельствует как тренд значений ПАН, так и тренд биотических индексов.

Исследование трендов биотических показателей, показателя антропогенной нагрузки обеспечивает обоснование допустимого негативного

воздействия на исследуемом участке реки, позволяет ответить на вопрос, является ли фактическая антропогенная нагрузка приемлемой для природного сообщества макрозообентоса, соответствующей нормативам допустимого воздействия путем выявления процессов самоочищения, истощения или деградации.

Сопряженные результаты гидрохимического и биотического мониторинга обеспечивают оперативное выявление участков водных объектов с повышенной антропогенной нагрузкой и риском истощения и нарушения биологического разнообразия. Результаты гидрохимического мониторинга по ПАН обеспечивают оперативное выявление участков водных объектов с улучшающимся экологическим состоянием.

Полученные данные могут быть использованы в различных экспертных заключениях, связанных с оценкой оказываемых на поверхностные водные объекты последствий негативного воздействия сбросов сточных вод, поступления ливневых вод с водосборной территории, подземных вод от шламонакопителей и хвостохранилищ, а также при обосновании условий водопользования и программ повышения экологической эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Alba-Tercedor J. & Sanchez-Ortega A.* Un metodo rapido y simple para evaluar le calidad biologica de las aguas corrintes basado en el de hellawell (1988) // *Limnetica* Vol. 4. P. 51–56.
2. Результаты разработки Индекса трофической комплектности и его апробация на реках с разным типом загрязнения // Отчет о выполнении НИР «Разработать методику определения различных типов загрязнения рек с помощью макрозообентоса». Ч. 2. Екатеринбург, 1998.
3. *Pavluk T.I., Abraham bij de Vaate & Heather A. Leslie.* Development of an Index of Trophic Completeness for benthic macroinvertebrate communities in flowing waters. *Hydrobiologia* 427. Kluwer Academic Publishers. 2000. P. 135–141.
4. *De Pauw N.* Biological assessment of Surface Water Quality: the Belgian Expirience/ La qualita delle acque superficiali. Criteri per una metodologia omogenea di valutazione. *Atti del Convegno internazionale. Riva del Garda. Pallazzo dei Congressi. 28–29 Aprile, 1988.*
5. *Балушкина Е.В.* Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение внешних условий. СПб.: ЗИН РАН, 1997. С. 266–292.
6. *Балушкина Е.В.* Оценка качества вод и состояния водоемов и водотоков северо-запада России по характеристикам сообществ донных животных // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов: мат-лы Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. М.: КМК 2011. 69 с.

7. *Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К.* Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Водные экосистемы. Известия Самарского научного центра РАН. Т. 2. № 2. 2000. С. 233 – 243.
8. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти, 2003. 470 с.
9. ГОСТ Р 57075-2016 Методология и критерии идентификации наилучших доступных технологий водохозяйственной деятельности.
10. Критерии качества вод. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран-членов СЭВ. М., 1982.
11. *Friedrich G., Chapman D., Beim A.* The Use of Biological Material in Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. / 2nd ed. Deborah Chapman (ed.). E & FN Spon, New York. 1996.
12. Гидрологические, гидрохимические и биологические исследования, оценка экологического состояния, определение источников загрязнения в бассейне р. Рожайка в черте г. Москвы // Отчет о НИР/ РосНИИВХ. Екатеринбург, 2012. 143 с.
13. Оценка воздействия на окружающую среду от шламонакопителя «Белое море» // Отчет о НИР / РосНИИВХ. Кн. 1. Екатеринбург, 2015. 339 с.
14. Оценка влияния хозяйственной деятельности на территорию водосбора, акваторию р. Тура, на экосистему, качество и токсичность ее воды и разработка мероприятий по ее восстановлению // Отчет о НИР, РосНИИВХ. Екатеринбург, 2016. 258 с.
15. Анализ данных и математическое моделирование в экологии и природопользовании: учеб. пособие / И. С. Белюченко и др. Краснодар: КубГАУ, 2015. 313 с.
16. Корреляционно-регрессионный анализ в Excel: инструкция выполнения // Режим доступа: <http://exceltable.com/otchetu/korrelyacionno-regressionnyu-analiz> (дата обращения 04.06.2018).

Сведения об авторах:

Засыпкин Павел Дмитриевич, инженер, сектор технического регулирования, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: PavZa@bk.ru

Ушакова Ольга Сергеевна, научный сотрудник, сектор гидробиологических исследований, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: darilindan@gmail.com

Оболдина Галина Анатольевна, заведующая сектором технического регулирования, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: elizgalina@mail.ru

Павлюк Тимур Евгеньевич, заведующий сектором гидробиологических исследований, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 23; e-mail: t.pavluk@mail.ru