

УДК 504.455:504.064.2

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ОСНОВНЫХ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Е. А. Шашуловская, С. А. Мосияш

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии», Саратовский филиал
Россия, 410002, Саратов, Чернышевского, 152
E-mail: shash.elena2010@yandex.ru*

Поступила в редакцию 28.09.2018 г., после доработки 4.12.2018 г., принята 24.01.2019 г.

Шашуловская Е. А., Мосияш С. А. Некоторые подходы к оценке экологического состояния разнотипных водохранилищ на основе взаимосвязи основных гидрохимических параметров // Поволжский экологический журнал. 2019. № 3. С. 371 – 383. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-371-383>

Сделана попытка оценить состояние и тенденции развития экосистем разнотипных водохранилищ Европы и Азии (замыкающих Волжский каскад – Саратовского и Волгоградского, а также самого крупного на р. Урал Ириклинского) на основе взаимосвязи базовых гидрохимических параметров. Экологическое состояние водоёмов рассматривали с позиции устойчивости их экосистем, которую оценивали с помощью некоторых статистических подходов, основанных на данных многолетнего мониторинга. Рассчитывали удельный вес изменчивости главных компонент и показатель пластичности (надежности), соответствующий усредненному модулю коэффициентов корреляции гидрохимических параметров. Для качественной оценки состояния водных экосистем, характеризующихся большим числом гидрохимических параметров, применили метод функции желательности, который позволил свернуть большое количество информации и преодолеть проблему размерности. Результаты применения рассчитанных статистических индексов позволяют рассматривать объем водного стока и летнюю температуру воды в качестве основных факторов, влияющих на содержание базовых гидрохимических ингредиентов в Волгоградском и Ириклинском водохранилищах. Гидрохимический режим Саратовского водохранилища, вследствие его высокой проточности, определяется главным образом водами, поступающими из накопительного Куйбышевского водохранилища, в связи с чем подобные зависимости не установлены. За исследуемый период энтропийный индекс в волжских водохранилищах колеблется на одном уровне, в Ириклинском – он достоверно увеличивается. Наибольшими величинами пластичности характеризуется Ириклинское водохранилище, обладающее наибольшей пространственной и сезонной гетерогенностью водной среды. За исследуемый период наметились тенденции увеличения пластичности в Саратовском водохранилище и уменьшения в Ириклинском. Снижение показателя функции желательности свидетельствует о некоторой дестабилизации их экосистем.

Ключевые слова: гидрохимические компоненты, годовой сток, Волгоградское водохранилище, Саратовское водохранилище, Ириклинское водохранилище, метод главных компонент, устойчивость, функция желательности.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-371-383>

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные изменения природных водных экосистем в настоящее время связаны с нарастающим влиянием человеческой деятельности и отсутствием сдерживающих ее механизмов. Такое воздействие неизбежно ведет к ускорению техногенной сукцессии (Кренева, 2002). В сложившейся ситуации особую важность приобретает ранняя диагностика и прогноз состояния водоёмов, поиск «экологического градусника» (Федоров и др., 1982), с помощью которого можно оценить степень патологичности экосистемы и наметить основные принципы экологического нормирования антропогенной нагрузки.

Качество вод принято оценивать с позиции конкретных водопользователей, которые предъявляют различные требования к их свойствам. Очевидно, что если водная экосистема функционирует устойчиво и способна поддерживать определенный гомеостаз, то качество вод в такой «здоровой» экосистеме можно считать соответствующим требованиям многочисленных потребителей.

Устойчивость водных экосистем (особенно в условиях антропогенного пресса) – это важное свойство, которое обеспечивает их существование. Мы рассматриваем устойчивость как способность системы и ее отдельных частей противостоять колебаниям внешних факторов и сохранять свою структуру и функциональные особенности (Дедю, 1990).

Водная среда является важной частью экосистемы водоёма, от качественного и количественного состава которой зависит жизнедеятельность водных биологических ресурсов. Вместе с тем вода по сравнению с другими абиотическими компонентами является наиболее динамичной системой, быстро реагирующей на внешние воздействия.

Основные методические подходы и многочисленные современные разработки в области экологического нормирования с определенной долей научной критики изложены в работах Д. В. Рисник с соавторами (2012, 2013). Однако на сегодняшний день не существует (вероятно, и не может существовать) универсальной методики оценки состояния природных водоёмов (Зинченко и др., 2000).

Статистические подходы, основанные на данных многолетнего мониторинга, дают возможность оценить тенденции изменения состава воды под влиянием антропогенных и климатических факторов в разные сезоны, при изменении условий на водосборе, а также позволяют определить вероятности и причины появления экстремальных гидрохимических событий, представляющих опасность для водной экосистемы (Долгоносов, Корчагин, 2014).

Базовыми характеристиками состояния водной экосистемы, определяющими ее продукционные свойства и тенденции развития, можно считать органическое вещество и биогенные элементы. Эти две группы компонентов отличаются значительной динамичностью и тесной связью с организмами разного трофического уровня.

В связи с вышесказанным основная цель исследования заключалась в оценке состояния и прогнозировании изменения качества водной среды разнотипных водоёмов Европы и Азии на примере замыкающих каскад волжских водохранилищ (Саратовского, Волгоградского) и самого крупного на р. Урал Ириклинского водохранилища с применением некоторых статистических индексов, рассчитанных на

основе взаимосвязи основных гидрохимических параметров в разнообразных природно-климатических условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Гидрохимические работы выполняли на Саратовском, Волгоградском и Ириклинском водохранилищах с 2009 по 2016 г. Рассматриваемый период включал экстремальные годы по температурному режиму, объему и распределению водного стока за вегетационный сезон. Отбор проб проводили на русловых (поверхностный и придонный горизонты) и литоральных участках водохранилищ весной, летом и осенью по стандартным мониторинговым разрезам. Всего было отобрано 454 пробы на Саратовском, 706 – на Волгоградском и 435 – на Ириклинском водохранилищах. Обработку гидрохимического материала осуществляли по общепринятым методикам (Реестр методик..., 2015). Объем годового водного стока рассчитывали по данным сброса через Саратовский, Волжский и Ириклинский гидроузлы (Волжская ГЭС, 2018; Управление эксплуатации..., 2018). Для оценки многолетней динамики показателей анализировали их среднесезонные концентрации.

Статистическую обработку данных проводили с использованием соответствующих процедур программной среды Microsoft Excel, а также специализированного пакета программы Statgraphics.

Методические подходы, характеризующие различные формы устойчивости водной экосистемы, подробно рассмотрены в работах (Шашуловский, Мосияш, 2010; Розенберг, Зинченко, 2014). В своем исследовании мы использовали некоторые из предложенных в них методов.

Для структурирования многомерного массива исходных гидрохимических параметров использовали метод главных компонент (Лица, 1980; Айвазян и др., 1989). Критерием для выделения оптимального числа факторов служили собственные значения, являющиеся дисперсиями главных компонент (ГК). Для повышения интерпретируемости факторов использовали процедуру вращения осей координат факторного пространства методом «варимакс». Рассматривали только те главные компоненты, дисперсии которых больше единицы (Иберла, 1980). Абсолютное значение нагрузки 0.7 и выше принимали за существенную связь, ниже 0.7 – предполагали отсутствие связи.

В качестве меры устойчивости экосистемы рассматривали удельный вес изменчивости, аккумулированный первой главной компонентой (Уильямсон, 1975).

Для оценки равномерности распределения доли объясненной дисперсии в ряду всех главных факторов использовали энтропийный показатель К. Шеннона (Шашуловский, Мосияш, 2010). В качестве основы для интерпретации такого подхода применяли теорему Ю. Л. Климонтовича (1990), согласно которой информационная энтропия убывает при самоорганизации системы и переходе ее в более упорядоченное состояние.

По Г. Е. Михайловскому (1988) усредненный модуль $\overline{|r_i|}$ коэффициентов корреляции параметров экосистемы, соответствующий средней силе корреляционных связей в ней, можно интерпретировать как ее пластичность (надежность) и считать этот показатель мерой устойчивости.

Для качественной оценки состояния водных экосистем, характеризующихся большим числом гидрохимических параметров, часто применяют метод функции желательности, направленный на свертывание информации и преодоление проблемы размерности (Гелашвили и др., 2006). Натуральные значения показателей переводятся в безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами от 0 и до 1, соответствующим традициям «плохо – хорошо». Мы рассчитывали функцию желательности, используя показатели содержания в воде растворенного кислорода, органического вещества, биогенных элементов, а также меди, концентрация которой в исследуемых водохранилищах повсеместно превышала рыбохозяйственный норматив.

Краткая характеристика района исследования. Саратовское и Волгоградское водохранилища – замыкающие Волжский каскад водоёмы долинного типа (рис. 1). Саратовское водохранилище внутрикаскадное с коэффициентом водообмена 18.9. Волгоградское – менее проточное, смена водных масс в котором происходит около 8 раз в год. Средние глубины 7 и 10 м соответственно. Площадь мелководий с глубиной до 5 м в исследуемых волжских водохранилищах около 47%.

Глубоководное Ириклинское водохранилище, протяженностью 73 км, расположено в продольной зоне Уральского горного сооружения, геоморфология которого создана тектоническими процессами (см. рис. 1). Более половины зеркала воды расположено над глубинами, превышающими 10 м, четвертая часть – над глубинами более 20 м. Площадь мелководий почти в 2 раза меньше, чем в волжских водохранилищах. Для Ириклинского водохранилища характерен слабый водообмен, который происходит один раз в два года, как в озерах слабой проточности. Более подробная характеристика морфометрических и гидрологических особенностей исследуемых водоёмов представлена в работе (Шашуловская и др., 2016, 2019).



Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования

Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования. На карте показана Волга с отмеченными городами и водохранилищами. Ириклинское водохранилище выделено в отдельный блок с увеличением. Стрелки указывают на мониторинговые разрезы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данная статья является продолжением исследований гидрохимического режима Нижневолжских и Ириклинского водохранилищ, результаты которых опубликованы в работе Е. А. Шашуловской с соавторами (2019) и позволяют перейти к оценке состояния и прогнозированию изменений качества водной среды. В итоге

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

были выявлены значительные отличия гидрохимического режима исследуемых водоёмов.

В Ириклинском водохранилище, как правило, в верховьях (Чапаевский и Софинский плёсы), содержание исследуемых веществ существенно выше, чем на остальной части, в то время как в Нижневолжских водохранилищах пространственное распределение ингредиентов достаточно равномерно. В уральском водохранилище зарегистрированы более низкие концентрации минерального азота, кремния, а также показателей, характеризующих аллохтонное органическое вещество, и более высокий уровень общего и легкоокисляемого органического вещества. Отмечены отличия в сезонной динамике ингредиентов, характеризующих трофику водных экосистем водохранилищ.

Была выявлена синхронность колебаний основных показателей, характеризующих трофический статус водных экосистем, а также величин водного стока через Саратовский, Волжский и Ириклинский гидроузлы. С высокими коэффициентами корреляции в этих водохранилищах изменяются величины перманганатной окисляемости, общего и легкоокисляемого органического вещества, азота нитратов (Шашуловская и др., 2019).

Метод главных компонент позволил структурировать многомерный массив гидрохимических показателей, наблюдаемых в водохранилищах в сезонном аспекте в 2009 – 2016 гг., на основе их максимальных дисперсий, выделить факторы, которые «вобрали» в себя большую часть общей изменчивости и «объяснить» некую долю информации, заключенной в исходных переменных.

В результате по итогам анализа на Саратовском водохранилище были отобраны четыре первые компоненты, вбирающие в себя 81.1% изменчивости исходных показателей, на Волгоградском и Ириклинском – по три главные компоненты, учитывающие соответственно 76.8 и 79.4% суммарной накопленной дисперсии (табл. 1, 2).

Таблица 1

Результаты компонентного анализа массива данных и матрица факторных нагрузок гидрохимических показателей Саратовского и Волгоградского водохранилищ

Показатели	Саратовское водохранилище				Волгоградское водохранилище		
	Главные факторы				Главные факторы		
	1	2	3	4	1	2	3
Сток, км ³	0.36	0.86	0.17	0.05	0.11	0.93	0.13
Цветность, град.	0.88	0.25	-0.04	-0.14	0.93	0.12	0.24
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	0.90	-0.17	0.03	0.20	0.93	-0.11	0.04
Бихроматная окисляемость, мгО/дм ³	0.37	-0.14	-0.54	0.29	0.22	0.15	0.76
Азот аммония, мг/дм ³	0.89	0.12	0.08	-0.21	0.45	0.69	0.28
Азот нитритов, мг/дм ³	0.12	0.01	0.90	0.24	0.16	0.68	0.42
Азот нитратов, мг/дм ³	-0.13	0.93	0.05	0.16	-0.22	0.73	-0.04
Фосфор минеральный, мг/дм ³	-0.27	-0.41	-0.51	0.26	-0.01	-0.05	-0.86
Кремний, мг/дм ³	0.56	-0.11	0.15	0.61	0.58	0.67	-0.12
Железо, мг/дм ³	0.79	0.57	0.05	0.11	0.75	0.50	0.29
Медь, мг/дм ³	0.22	-0.32	0.06	-0.83	0.58	0.09	0.56
Собственные значения факторов	4.15	2.16	1.43	1.19	5.08	1.99	1.38
Дисперсия, %	37.7	19.6	13.0	10.8	46.2	18.1	12.6

Примечание. Приведены главные факторы, собственные значения которых более 1; полужирным шрифтом отмечены значимые нагрузки.

Таблица 2

Результаты компонентного анализа массива данных и матрица факторных нагрузок гидрохимических показателей Ириклинского водохранилища

Показатели	Главные факторы		
	1	2	3
Сток, км ³	-0.21	0.53	0.75
Цветность, град.	0.57	0.61	0.36
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	0.86	0.25	0.18
Бихроматная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	0.49	0.02	0.65
Азот аммония, мг/дм ³	0.65	-0.07	0.57
Азот нитритов, мг/дм ³	0.92	0.04	-0.07
Азот нитратов, мг/дм ³	0.55	0.74	0.16
Фосфор минеральный, мг/дм ³	-0.02	0.91	-0.11
Кремний, мг/дм ³	0.48	0.62	0.41
Железо, мг/дм ³	0.71	0.46	0.16
Медь, мг/дм ³	0.10	0.02	0.82
Собственные значения факторов	5.57	1.64	1.52
Дисперсия, %	50.7	14.9	13.8

Примечание. Приведены главные факторы, собственные значения которых более 1; полужирным шрифтом отмечены значимые нагрузки.

Первый главный фактор, характеризующий генеральное направление изменчивости гидрохимических параметров исследованных водохранилищ и имеющий, как следствие, максимальное собственное значение, выбрал в себя самую мощную плеяду показателей: цветность, перманганатную окисляемость, железо, а также азот аммония и нитритов (см. табл. 1, 2). В структуру первого главного фактора для Ириклинского водохранилища не вошел показатель цветности, однако по своей величине факторная нагрузка по этому показателю приближается к значимому уровню. Следует отметить, что окраска воды может быть также связана с содержанием неорганических соединений некоторых металлов как природного, так и техногенного происхождения, что, возможно, наблюдается в уральском водохранилище, расположенном в индустриальном «металлургическом» регионе. К значимому уровню приближается и нагрузка по кремнию, содержание которого наряду с нитратами и фосфатами в Ириклинском водохранилище имеет, как правило, выраженную пространственную динамику.

Следуя рекомендациям об интерпретации и названии факторов (Коросов, 1996), условно назовем первый фактор «водосборным». Компоненты, включающие в себя изменения сезонного стока и нитратов, как в Нижневолжских водохранилищах, или изменения стока и меди, как в Ириклинском водохранилище, можно назвать «сезонными», поскольку водный режим водохранилищ имеет четкий сезонный характер. Третий и четвертый факторы Саратовского водохранилища, включающие высокие нагрузки по меди и нитритам, т.е. веществам, обладающим высокой токсичностью и, как следствие, тормозящим биохимические процессы, можно условно обозначить как «техногенные». Наконец, фактор Ириклинского водохранилища, включающий содержание нитратов, фосфатов, кремния, значения

которых подвержены иногда значительным колебаниям по участкам, можно определить как «пространственный».

Таким образом, исследование структуры многомерного массива общих гидрохимических показателей методом главных компонент позволило выявить наиболее важные факторы, лежащие в основе изменчивости процессов, происходящих в экосистемах исследованных водохранилищ. Поверхностный сток определяет величины цветности, перманганатной окисляемости, аммонийного азота и железа, объединяя их в структуре первой ГК с максимальной долей дисперсии. В связи с этим значительный интерес представляет рассмотрение динамики удельного веса первого главного фактора за исследуемый период по каждому водохранилищу.

Наиболее тесная положительная связь величины первого главного фактора с объемом водного стока через соответствующий гидроузел и летней температурой отмечена в Ириклинском и Волгоградском водохранилищах (рис. 2, 3). Очевидно, в этих водоёмах водность года и летний термальный режим определяют динамику показателей, входящих в плеяду первой главной компоненты. Связь первой ГК и стока в Ириклинском водохранилище значима при $r = 0.87$ и $p = 0.011$, в Волгоградском – слабее ($r = 0.62$ при $p = 0.099$) и интерпретируется как тенденция. Очевидно, определенный дисбаланс в структуру первой главной компоненты волжского водоёма внесло аномально жаркое лето 2010 г. и, как следствие, более сильный прогрев водных масс, о чем свидетельствует статистически значимая связь ($r = 0.71$ при $p = 0.048$) ГК с июльской температурой воды (рис. 3, а). Для более глубоководного Ириклинского водохранилища зависимость первой главной компоненты от летней температуры следует рассматривать лишь как тенденцию ($r = 0.59$ при $p = 0.16$) (рис. 3, б). Интересно, что для Саратовского водохранилища связь главных компонент с этими факторами не установлена.

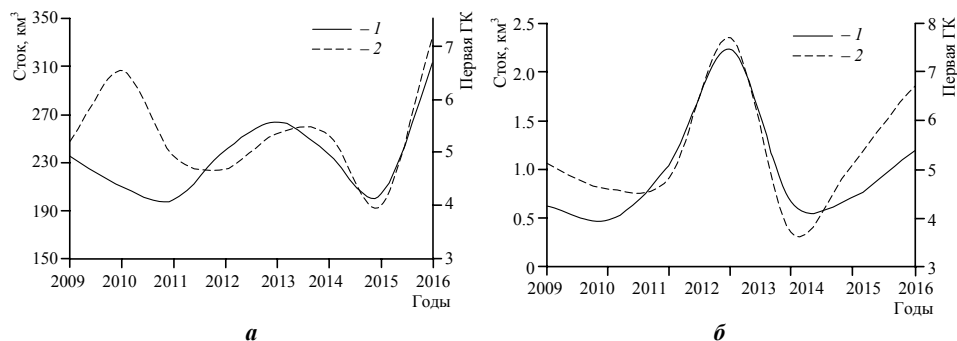


Рис. 2. Динамика стока (1) и первой главной компоненты (2) в Волгоградском (а) и Ириклинском (б) водохранилищах в 2009 – 2016 гг.

Наибольшими величинами пластичности характеризуется Ириклинское водохранилище. При интерпретации этого показателя необходимо учитывать, что корреляционные связи между ингредиентами определяются преимущественно пространственной и сезонной гетерогенностью водной среды. Деление Ириклинского водохранилища в отдельные годы на два участка с существенными разли-

чениями в концентрации веществ также изменяет величину показателя. Максимальное значение пластичности в Ириклинском водохранилище наблюдали в многоводном 2013 г. Возможно, повышенная водность как-то сгладила эту неоднородность, что привело к усилению связей между ингредиентами.

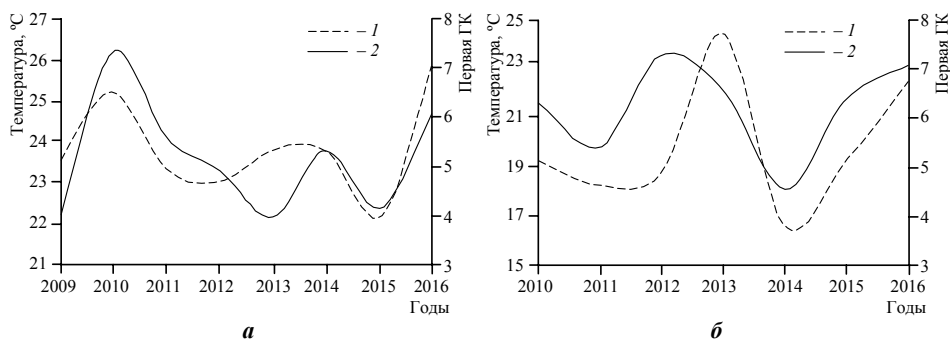


Рис. 3. Динамика первой главной компоненты (1) средней температуры воды за июль (2) в Волгоградском (а) и Ириклинском (б) водохранилищах в 2009 – 2016 гг.

За исследуемый период наметились тенденции увеличения пластичности в Саратовском водохранилище и уменьшения в Ириклинском. Показатель пластичности связан с величиной первой главной компоненты корреляционными отношениями: в Ириклинском водохранилище – $r = 0.61$, $p = 0.05$, в Саратовском – $r = 0.92$, $p = 0.03$, в Волгоградском – $r = 0.89$, $p = 0.002$. В первой главной компоненте находит свое отражение самая мощная плеяда, охватывающая наибольшее число признаков с высокой степенью зависимости от общего фактора. Поэтому показатель пластичности, величина которого в большей степени определяется значимыми коэффициентами корреляции в исследуемой выборке, тесно связан с первой компонентой.

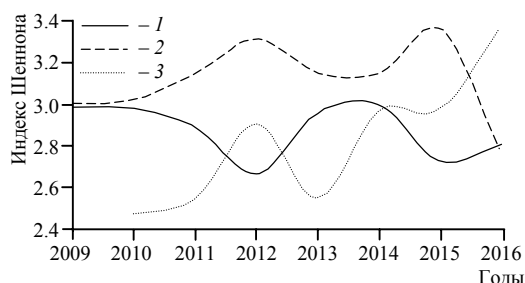


Рис. 4. Динамика значений индекса Шеннона за период 2009 – 2016 гг. в Саратовском (1), Волгоградском (2) и Ириклинском (3) водохранилищах

энтропийный показатель колеблется на одном уровне, в Ириклинском он достоверно увеличивается ($R^2 = 0.74$, $p = 0.013$) (рис. 4).

Наиболее высокое среднее значение энтропийного показателя за исследуемый период рассчитано для Волгоградского водохранилища (3.10 ± 0.07) по сравнению с Саратовским (2.88 ± 0.05) и Ириклинским (2.83 ± 0.12). Во всех водоёмах выявлена обратная зависимость пластичности и индекса Шеннона. В наиболее устойчивой экосистеме энтропийный показатель снижается. В период 2009 – 2016 гг. в Волжских водохранилищах энтропийный показатель колеблется на одном уровне, в Ириклинском он достоверно увеличивается ($R^2 = 0.74$, $p = 0.013$) (рис. 4).

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Среднее значение функции желательности в исследуемых водохранилищах колебалось в одном диапазоне: 0.65 – 0.69. В 2009 г. пределы колебания показателя составили около 0.78 – 0.89, а к 2016 г. значения снизились до 0.60 – 0.74 (рис. 5). Изменения величины функции желательности статистически не доказаны ($p > 0.05$), поэтому корректно говорить только о тенденции уменьшения показателя в исследуемых водоёмах. Минимальные значения функции желательности в водохранилищах отмечены в разные годы. Например, в Саратовском – в 2013 (год максимального стока), в Ириклинском – в 2011 (год минимального водного стока).

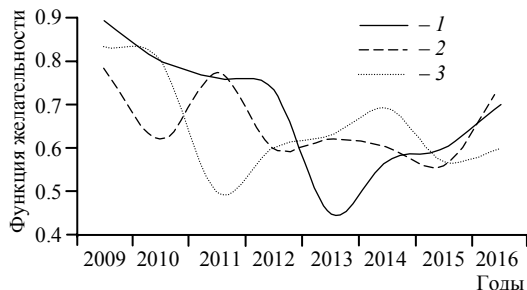


Рис. 5. Динамика значений функции желательности за период 2009 – 2016 гг. в Саратовском (1), Волгоградском (2) и Ириклинском (3) водохранилищах

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты применения рассмотренных нами показателей дают основание полагать, что по динамике пластичности и величине первой ГК можно выделить факторы, влияющие на содержание базовых гидрохимических ингредиентов. Для Волгоградского водохранилища это объем годового водного стока и летняя температура воды, для глубоководного Ириклинского – только водность года. Гидрохимический режим Саратовского водохранилища, вследствие его высокой проточности, определяется главным образом водами, поступающими из накопительного Куйбышевского водохранилища, в связи с чем подобные зависимости не установлены.

Энтропийный показатель в Волжских водохранилищах колеблется на одном уровне, в Ириклинском – он достоверно увеличивается. Для трех водоёмов отмечена тенденция уменьшения показателя функции желательности, свидетельствующая о некоторой дестабилизации их экосистем. Очевидно, что оценивать состояние водных экосистем за такой небольшой период времени не вполне корректно. Тем не менее, применение рассмотренных методических подходов позволяет выделить главные факторы, влияющие на динамику основных наиболее изменчивых компонентов гидрохимического состава водохранилищ – биогенных элементов и органического вещества, связанных с жизнедеятельностью организмов различного трофического уровня, и получить некоторое представление об основных тенденциях развития водной экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М. : Финансы и статистика, 1989. 333 с.

Волжская ГЭС. Волжский, 2018. URL: <http://www.volges.rushydro.ru/> (дата обращения: 16.05.2018).

Гелаишвили Д. Б., Королев А. А., Басуров В. А. Зонирование территории по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщенной функции желательности // Поволж. экол. журн. 2006. № 2/3. С. 129 – 138.

Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев : Гл. ред. Молд. сов. энцикл., 1990. 408 с.

Долгоносков Б. М., Корчагин К. А. Сезонные изменения в распределении вероятностей показателей качества речной воды // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 1. С. 39 – 48.

Зинченко Т. Д., Выхристюк Л. А., Шитиков В. К. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2000. Т. 2, № 2. С. 233 – 243.

Иберла К. Факторный анализ. М. : Статистика, 1980. 367 с.

Климонтович Ю. Л. Турбулентное движение и структура хаоса : новый подход к статистической теории открытых систем. М. : Наука. 1990. 320 с.

Коросов А. В. Экологические приложения компонентного анализа. Петрозаводск : Изд-во Петрозавод. гос. ун-та, 1996. 152 с.

Кренева С. В. Применение принципа сукцессионного анализа для оценки и прогноза состояния водных экосистем : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2002. 51 с.

Лица И. Я. Математические методы в биологических исследованиях. Факторный и компонентный анализы. Рига : Изд-во ЛатГУ, 1980. 104 с.

Михайловский Г. Е. Описание и оценка состояния планктонных сообществ. М. : Наука, 1988. 214 с.

Реестр методик количественного химического анализа и оценки состояния объектов окружающей среды, допущенных для государственного экологического контроля и мониторинга (ПНД Ф). М., 2015. URL: <http://fcao.ru/metodiki-kkha.html> (дата обращения: 01.12.2015).

Рисник Д. В., Беляев С. Д., Булгаков Н. Г., Левич А. П., Максимов В. Н., Мамихин С. В., Милько Е. С., Фурсова П. В., Ростовцева Е. Л. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Законодательные и научные основы существующих систем экологического нормирования // Успехи современной биологии. 2012. Т. 132, № 6. С. 531 – 550.

Рисник Д. В., Беляев С. Д., Булгаков Н. Г., Левич А. П., Максимов В. Н., Мамихин С. В., Милько Е. С., Фурсова П. В., Ростовцева Е. Л. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Методы, альтернативные существующей системе нормирования в Российской Федерации // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133, № 1. С. 3 – 18.

Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Устойчивость гидроэкосистем : обзор проблемы // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20, № 4. С. 11 – 23.

Уильямсон М. Анализ биологических популяций. М. : Мир, 1975. 272 с.

Управление эксплуатации Ириклинского водохранилища. Энергетик, 2018. URL: <http://www.ueiv.ru/> (дата обращения: 07.08.2018).

Федоров В. Д., Сахаров В. Б., Левич А. П. Количественные подходы к проблеме оценки нормы и патологии экосистем // Человек и биосфера. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1982. Вып. 6. С. 3 – 42.

Шашуловская Е. А., Мосияш С. А., Филимонова И. Г., Гришина Л. В., Кузина Е. Г. Гидрохимические основы биологической продуктивности в замыкающих водохранилищах Волжского каскада // Тр. Зоол. ин-та РАН. 2016. Т. 320, № 3. С. 367 – 376.

Шашуловская Е. А., Мосияш С. А., Филимонова И. Г., Гришина Л. В., Кузина Е. Г., Шашуловская О. В. Особенности многолетней динамики некоторых гидрохимических показателей водохранилищ Нижней Волги и реки Урал (на примере Саратовского, Волгоградского и Ириклинского водохранилищ) // Водное хозяйство России. 2019. № 3. С. 72 – 93.

Шашуловский В. А., Мосияш С. С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. 249 с.

**Some Approaches to the Assessment of the Ecological State
of Different-Type Reservoirs Based
on the Relationship among their Main Hydrochemical Parameters**

Elena A. Shashulovskaya, <https://orcid.org/0000-0003-1072-7046>; shash.elena2010@yandex.ru
Svetlana A. Mosiyash, <https://orcid.org/0000-0003-0875-6358>; shash.elena2010@yandex.ru

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Saratov branch
152 Chernyshevskogo St., Saratov 410002, Russia*

Received 28 September 2018, revised 4 December 2018, accepted 24 January 2019

Shashulovskaya E. A., Mosiyash S. A. Some Approaches to the Assessment of the Ecological State of Different-Type Reservoirs Based on the Relationship among their Main Hydrochemical Parameters. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 3, pp. 371–383 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-371-383>

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 License

An attempt has been made to assess the status and trends of ecosystems of different-type reservoirs in Europe and Asia (the Saratov and Volgograd ones, closing the Volga cascade, and the Iriklin sky one, which is the largest on the Ural river) on the basis of the relationship of basic hydrochemical parameters. The ecological status of water bodies was considered from the position of the stability of their ecosystems, which was evaluated using some statistical approaches based on the data of long-term monitoring. The proportion of variability of the main components, the index of plasticity (reliability) corresponding to the average module of the correlation coefficients of hydrochemical parameters were calculated. The desirability function method for qualitative assessment of aquatic ecosystems, characterized by a large number of hydrochemical parameters, was applied. This method allowed minimizing a large amount of information and overcoming the dimension problem. The results of the application of the calculated statistical indices allow us to consider the volume of water flow and summer water temperature as the main factors affecting the content of basic hydrochemical ingredients in the Volgograd and Iriklin reservoirs. The hydrochemical regime of the Saratov reservoir, due to its high flow rate, is determined mainly by the waters coming from the Kuibyshev storage reservoir, and therefore such dependencies were not established. During the study period, the entropy index in the Volga reservoirs fluctuated at the same level, but significantly increased in the Iriklin sky one. The highest values of plasticity are characteristic for the Iriklin sky reservoir, which has the greatest spatial and seasonal heterogeneity of its aquatic environment. During the study period, there have been trends of increasing plasticity in the Saratov reservoir and decreasing in the Iriklin sky one. A decrease in the desirability function indicates some destabilization of their ecosystems.

Keywords: hydrochemical components, annual flow, Volgograd reservoir, Saratov reservoir, Iriklin sky reservoir, principal component method, stability, desirability function.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-371-383>

REFERENCES

- Aivazyan S. A., Buchstaber V. M., Enyukov I. S., Meshalkin L. D. *Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizhenie razmernosti* [Applied Statistics: Classification and Dimension Reduction]. Moscow, Finance and statistics Publ., 1989. 333 p. (in Russian).
- Volzhskaya GES* [Volzhskaya hydroelectric power station]. Volzhskii, 2018. Available at: <http://www.volges.rushydro.ru/> (accessed 16 May 2018) (in Russian).
- Gelashvili D. B., Korolev A. A., Basurov V. A. Zoning of the Territory According to the Degree of Load of Sewage With the Help of Generalized Desirability Function. *Povolzhskiy J. of Ecology*, 2006, no. 2/3, pp. 129–138 (in Russian).
- Dedu I. I. *Ekologicheskii entsiklopedicheskii slovar'* [Ecological Encyclopedic Dictionary]. Kishinev, Glavnaia redaktsiya Moldavskoi sovetskoi entsiklopedii Publ., 1990. 408 p. (in Russian).
- Dolgonosov B. M., Korchagin K. A. Seasonal changes in the probability distribution of river water quality indicators. *Water Resources*, 2014, vol. 41, no. 1, pp. 39–48 (in Russian).
- Zinchenko T. D., Vykhristjuk L. A., Shitikov V. K. Methodological approach to the assessment of the ecological status of river systems for hydrochemical and hydrobiological indicators, *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2000, vol. 2, no. 2, pp. 233–243 (in Russian).
- Iberla K. *Faktornyi analiz* [Factor Analysis]. Moscow, Statistics Publ., 1980. 367 p. (in Russian).
- Klimontovich Yu. L. *Turbulentnoe dvizhenie i struktura khaosa: novyi podkhod k statisticheskoi teorii otkrytykh sistem* [Turbulent Motion and Chaos Structure: a New Approach to the Statistical Theory of Open Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 320 p. (in Russian).
- Korosov A. V. *Ekologicheskie prilozheniya komponentnogo analiza* [Ecological Applications of Component Analysis]. Petrozavodsk, Izdatel'stvo Petrozavodskogo universiteta, 1996. 152 p. (in Russian).
- Kreneva S. V. *Primenenie printsipa suksessionnogo analiza dlia otsenki i prognoza sostoianiia vodnykh ekosistem* [Application of the Principle of Succession Analysis for the Assessment and Prediction of the State of Aquatic Ecosystems]. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Moscow, 2002. 51 p. (in Russian).
- Liepa I. Ya. *Mathematical Methods in Biological Research. Factor and Component Analyses*. Riga, University of Latvia Publ., 1980. 104 p. (in Russian).
- Mikhailovsky G. E. *Opisanie i otsenka sostoianiia planktonnykh soobshchestv* [Description and Assessment of Plankton Communities]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 214 p. (in Russian).
- Reestr metodik kolichestvennogo khimicheskogo analiza i otsenki sostoianiia obektov okruzhaiushchei sredy, dopushchennykh dlia gosudarstvennogo ekologicheskogo kontrolya i monitoringa (PND F)* [Register of methods of quantitative chemical analysis and assessment of the state of environmental facilities approved for state environmental control and monitoring]. Available at: <http://fcao.ru/metodiki-kkha.html> (accessed 1 December 2015) (in Russian).
- Reznik D. V., Belyaev S. D., Bulgakov N. G., Levich A. P., Maximov V. N., Mamikhin S. V., Milko E. S., Fursov V. P., Rostovtsev, E. L. Approaches to regulation of environmental quality. Legislative and scientific basis of existing systems of environmental regulation. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2012, vol. 132, no. 6, pp. 531–550 (in Russian).
- Reznik D. V., Belyaev S. D., Bulgakov N. G., Levich A. P., Maximov V. N., Mamikhin S. V., Milko E. S., Fursov V. P., Rostovtsev, E. L. Approaches to regulation valuation of environmental quality. Methods alternative to the existing system of rationing in the Russian Federation. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2013, vol. 133, no. 1, pp. 3–18 (in Russian).
- Rosenberg G. S., Zinchenko T. D. Stability of hydroecosystems: review of the problem. *Arid Ecosystems*, 2014, vol. 20, no. 4 (61), pp. 11–23 (in Russian).

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Williamson M. *Analysis of Biological Populations*. Moscow, Mir Publ, 1975. 272 p. (in Russian).

Upravlenie ekspluatatsii Iriklienskogo vodokhranilishcha [Irikliensk Reservoir Operations Department]. Energetik, 2018. Available at: <http://www.ueiv.ru/> (accessed 7 August 2018) (in Russian).

Fedorov V. D., Sakharov V. B., Levich A. P. Quantitative approaches to the problem of evaluation of norm and pathology of ecosystems. In: *Chelovek i biosfera* [Man and the Biosphere]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1982, iss. 6, pp. 3–42 (in Russian).

Shashulovskaya E. A., Mosiyash S. A., Filimonova I. G., Grishina L. V., Kuzina E. G. Hydrochemical basis of biological productivity in closing the reservoirs of the Volga cascade. *Proc. of the Zoological Institute RAS*, 2016, vol. 320, no. 3, pp. 367–376 (in Russian).

Shashulovskaya E. A., Mosiyash S. A., Filimonova I. G., Grishina L. V., Kuzina Y. G., Shashulovskaya O. V. Features of the Long-term Dynamics of Hydrochemical Indicators of the Lower Volga and the Ural River Reservoirs (the Saratov, Volgograd and Irikliensky Reservoirs as Examples). *Water Sector of Russia*, 2019, no. 3, pp. 72–93.

Shashulovskiy V. A., Mosiyash S. S. *Formation of Biological Resources of the Volgograd Reservoir During the Succession of Its Ecosystem*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2010. 249 p. (in Russian).