
УДК 574.524(504.058)

Канд. биол. наук

В.Н. Тальских¹Л.Ю. Шардакова¹

РАЗРАБОТКА ИНДИКАТОРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОПУСТИМОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ключевые слова: лимнические системы в зонах формирования и потребления поверхностного стока, система критериев экологического состояния, абиотические и биотические критерии, реперные биоценозы, перифитон, зообентос, фитопланктон, зоопланктон

На основе анализа существующей информации и результатов экспедиционных исследований авторов по 13 водоемам озерного типа проведена оценка их современного экологического состояния, обоснован выбор индикаторов и критериев для мониторинга и управления водным режимом озера, сделаны выводы относительно антропогенного изменения озерных экосистем нижнего течения и дельты Амударьи.

Введение. Озера Узбекистана – наименее изученный компонент водных ресурсов региона, поскольку эти водные объекты не охвачены регулярной системой комплексного мониторинга. Это в равной степени относится как к озерам зоны формирования стока – горной территории, так и к озерам зоны потребления стока - равнинной территории.

Текущий статус озерных экосистем зоны формирования стока. Большинство горных озер этой зоны в связи с большой глубиной и малой относительной площади водного зеркала характеризуются очень низкими значениями показателя открытости (<1) и в долгосрочной перспективе менее зависимы от климатических и антропогенных факторов [16]. Поэтому, считается, что в силу отсутствия прямого антропогенного воздействия основные черты гидрологического и гидрохимического режима большинства озер горных территорий, не претерпели каких-либо изменений. Большинство из них имеют низкую минерализацию – от 100 мг/дм³ в высокогорных

¹НИГМИ Узгидромета, г. Ташкент, Узбекистан.

озерах с высоким показателем водообмена ($K_2 > 10$) до 200 мг/дм³ в озерах с более низким показателем водообмена ($K_2 > 1$) [8]. В этих лимнических системах, как правило, уже на протяжении времени их существования сохраняются олигосапробные условия и их олиготрофный статус [16].

Текущий статус озерных экосистем зоны потребления стока.

Равнинные озера зоны потребления стока расположены в районах с недостаточным увлажнением и до недавнего времени были представлены *дельтовыми, плесово-конечными и старичными* типами. С изменением условий питания практически все старичные водоемы исчезли, а плесово-конечные перешли в категорию ирригационно-сбросовых [8].

По сути, в зоне потребления стока теперь преобладают ирригационно-сбросовые озера (ИСО) с доминирующим вкладом в их питание коллекторно-дренажных вод (КДВ), которые, в основном, приурочены к периферии орошаемых массивов в среднем и нижнем течении Амударьи и Сырдарьи, но встречаются также и в их дельтах.

Образование ИСО следует рассматривать как появление новых элементов ландшафта, имеющих определенный социально-экологический статус (поддержание биоразнообразия, воспроизводство биоресурсов, рекреация, рыбный промысел, охота, заготовка тростника и др.). Сохранение или потеря их социальной и биосферной значимости и предоставление различных экологических услуг во многом зависит от их современного состояния (стадии экологической сукцессии) и воздействующих антропогенных и климатических факторов, а также от возможных гидротехнических и управленческих решений и поддерживающих мер, которые, в зависимости от их реализации или нереализации, могут предопределить экологический прогресс или экологический регресс этих водных объектов и, соответственно, сохранение или потерю их социально полезных функций.

Равнинные водоемы, включая ИСО, часто объединяются в общее понятие «ветланды», под которыми подразумевается широкий круг водоемов, мелководий и избыточно увлажненных земель с водно-болотной растительностью и специфическим животным миром.

Показатель открытости для всех равнинных озер, в силу их мелководности, имеет высокие значения (> 1). Например, для ветланда Судочье показатель открытости в озерах с меньшей площадью изменяется в диапазоне 4,4...7,5, в более крупных озерах – 28,3...34,8. Большие по площади

озера такие, как Денгизкуль, Междуречье, Тузкан, Айдар, Джалтырбас имеют очень высокие значения показателя открытости – от 41 до 300.

Таким образом, практически все равнинные озера являются «очень открытыми» экосистемами, что в сочетании с высокой испаряемостью (до 1500 мм и более) обуславливает их сильную зависимость от климатических факторов.

Обследованные ветланды имеют индивидуальные различия по источникам питания, форме, размерам и возрасту, относительной глубине, степени развития литорали и ее зарастаемости водно-болотной растительностью. Некоторые из них являются бессточными, другие – в разной мере проточными системами, среди которых преобладает в основном слабо-проточный тип озер с показателем условного водообмена значительно меньше единицы ($K_2 < 1$). Это делает их более уязвимыми к климатической и водохозяйственной обстановке (особенно в засушливые годы) и обуславливает устойчивые многолетние тренды роста минерализации воды, зарастания и заболачивания и, соответственно, сужение спектра предоставляемых экосистемных услуг [4, 6, 14, 16, 18].

Антропогенное воздействие на озерные экосистемы, прежде всего, связано с катастрофическим нарушением водного баланса в современной дельте и нижнем течении Амударьи. К сожалению, ясные временные экологические тренды по ветландам дельты и нижнего течения Амударьи (также, как и в целом по бассейну Аральского моря), выявить не представляется возможным из-за ограниченности необходимых сведений, поскольку регулярный мониторинг ветландов не проводится. Тем не менее, на основе полученной информации для 13 ветландов зоны потребления стока [1-6, 10, 11, 13, 14, 17-19], их можно дифференцировать на (i) «условно благополучные» - с удовлетворительным экологическим состоянием; (ii) «неблагополучные» - находящиеся в состоянии выраженного экологического регресса, если использовать комплексный подход, учитывающий показатели абиотических и биотических процессов, протекающих в ветландах.

К первой группе можно отнести в разной мере проточные озера Бегдулла-Айдин, Большое Судочье, Каратерень (входящие в систему ветланда Судочье), водохранилища Междуречье и Муйнакский залив, озера Акчакуль, Каратерень (восточный). Ко второй группе – озера Акушпа, Тайлы (входящие в систему ветланда Судочье) и Аязкала.

Большинство ветландов нижнего течения Амударьи являются потенциально неустойчивыми системами. Подтверждением сказанному является развитие кризисной ситуации в маловодный период 2000-2002 гг., когда в течение двух лет ветланды правобережной и левобережной части дельты Амударьи практически полностью деградировали и на неопределенное время потеряли все свои экосистемные и социально полезные функции и услуги [4-6, 10, 13, 14, 17]. Такая же ситуация имела место и в 2008 году. По остальным правобережным ветландам низовья Амударьи мы не располагаем такой информацией, но наиболее вероятно, что они также в разной мере подверглись экологической деградации в период гидрологической засухи. Если экологический ущерб от такого развития событий очевиден, то социально-экономические потери не подсчитывались, но можно предположить, что они весьма значительны.

Ветланды – потенциально управляемые системы, которые, как мы отметили выше, могут выполнять не только экологически важные, но и социальные функции по обеспечению разнообразными биологическими ресурсами, рекреационными услугами и, в некоторых благоприятных случаях, служить источником питьевой воды. Но это возможно при разработке и утверждении на государственном или местном административном уровне системы устойчивого управления их водными ресурсами, включая экологический мониторинг, который может обеспечить управленческие структуры и водопользователей разносторонней и надежной информацией о количественном и качественном состоянии поверхностных вод.

Необходимо развивать и осуществлять хорошо скоординированную систему экологического мониторинга национального и регионального уровня за динамикой гидрологических параметров, химическим составом этих водных экосистем и их биологической компонентой, т.е. параллельное осуществление гидрологического, гидрохимического и гидробиологического мониторинга, которые в совокупности представляют комплексную систему экологического мониторинга.

Для этого нами разработана система критериев, характеризующих состояние экосистем, изученных ветландов по комплексу абиотических и биотических параметров, которая представлена в таблице 1.

Таблица 1

Параметры экологически допустимого состояния ветландов

Название параметра	Характеристика параметра	Возможные негативные последствия и тренды при несоблюдении условий параметра
<i>А- Абиотические параметры</i>		
А-1 Источник питания	Преобладание речного питания	Прогрессирующее засоление при доминировании в питании КДВ
А-2 Характер водообмена	Проточные условия	Интенсификация процесса старения экосистемы, затем рост минерализации воды и ухудшение всех абиотических и биотических характеристик при снижении водообмена
А-3 Объем подпитывающего стока: А – в средние по водности годы, Б – в маловодные годы	А – средний многолетний объем стока Б – не менее 40...50% от среднего многолетнего стока	Снижение минимальных уровней воды и потеря основных литоральных и прибрежных биотопов
А-4 Уровень воды	Колебания уровня воды в нерестовый и зимний периоды не более 0,3...0,5 м	Ухудшение условий для размножения рыб и условий зимовки для прибрежных популяций
А-5 Прозрачность воды	Прозрачность – не менее 1...1,5 м при отсутствии ветрового перемешивания и взмучивания донных седиментов	Угнетение развития макрофитов при пониженной прозрачности
А-6 Цвет воды	Бесцветная в литорали и сине-зеленый или слабый зеленый оттенок в открытой пелагиале при отсутствии ветрового перемешивания и взмучивания донных седиментов	Ярко выраженный <i>зеленый</i> оттенок воды – эвтрофированная экосистема. Ярко выраженный <i>желто-коричневый оттенок</i> воды – заболачивание экосистемы
А-7 Средняя глубина	Средняя глубина не менее 1,5 м	Опасность зарастания основной акватории водно-болотной растительностью при снижении глубины открытых плесов
А-8 Минерализация воды	В период нереста и роста личинок и мальков рыб (апрель-июль) не выше 5 г/л	Снижение или прекращение воспроизводства промысловых видов рыб при повышении минерализации
А-9 Содержание растворенного кислорода	Не ниже 4...5 мг/л	Дефицит растворенного кислорода в экосистеме и угнетение оксифильных видов

Название параметра	Характеристика параметра	Возможные негативные последствия и тренды при несоблюдении условий параметра
А-10 Характер донных отложений	Преобладание материнских грунтов с малым содержанием органических компонентов	Формирование вторичных грунтов с повышенным содержанием органических компонентов при прогрессирующем эвтрофировании и антропогенном загрязнении ветланда
<i>Б - Биотические параметры</i>		
Б-1 Развитие водно-болотной растительности	Хорошо развитые прибрежные тростниково-рогозовые ассоциации, но не более 50 % зарастания водной акватории	Снижение защищенных местообитаний, нерестилищ и кормовых угодий - при слабом развитии полуводной растительности. Заиление, заболачивание, образование сероводородных участков, сокращение рыбопромысловых возможностей - при интенсивном зарастании акватории
Б-2 Развитие водной растительности	Одновременное развитие пресноводных и солоноватоводных макрофитов до глубины проникновения света на 20...30 % фотической части акватории	Угнетение развития пресноводных макрофитов при повышенной минерализации
Б-3 Фитопланктон	А. Паритетное развитие пресноводно-солоноватоводных и солоноватоводных видов или (предпочтительнее) преобладание пресноводно-солоноватоводных форм. Б. Значения индекса сапробности (ИС) – не более 2,5. В. Биомасса – не более 30 г/м ³ в летний сезон	Повышение значений ИС – повышенное содержания органических веществ и повышенный уровень трофности. Повышенные значения биомассы – эвтрофикация экосистемы
Б-4 Зоопланктон	А. Доля галофильных видов в качественном составе – не более 20...30 %. Б. Таксономическая структура-разнообразное развитие пелагиальных и зарослевых видов коловраток (Rotifera), ветвистоусых (Cladocera) и веслоногих (Copepoda) рачков	Увеличение % галофильных видов и выпадение из состава зоопланктона <i>Cladocera</i> – прогрессирующее засоление

Название параметра	Характеристика параметра	Возможные негативные последствия и тренды при несоблюдении условий параметра
Б-5 Зообентос А. Таксономическая структура, Б. Трофическая структура	А. Одновременное разнообразное развитие пресно- и солоновато-водных пелагиальных и зарослевых видов моллюсков (Mollusca), поденок (Ephemeroptera), ручейников (Trichoptera), клопов (Heteroptera), жуков (Coleoptera), олигохет (Oligochaeta), двукрылых (Diptera), хирономид (Chironomidae), мизид (Mysidaceae) Б. Преобладающее развитие зарослевых форм и фито-детритофагоф, заметное развитие хищников, при общей разветвленности трофической сети	Снижение общего таксономического разнообразия и выпадение из состава донных биоценозов, моллюсков, поденок, ручейников и мизид, снижение разнообразия хирономид и упрощение трофических связей - экологический регресс системы
Б-7 Орнитофауна	Заметное и устойчивое присутствие в орнитофауне ветланда гидрофильных видов птиц	Снижение относительного количества гидрофильных птиц – нестабильность и ухудшение гидрологических условий и экологических параметров озерной экосистемы
Б-8 Ихтиофауна	Паритетное присутствие в ихтиофауне лимнофильных (сазан, карась, змееголов, аральская плотва и др.) и реофильных (белый амур, белый толстолобик, судак, жерех и др.) промысловых видов рыб, а также их мальков и сеголеток.	Снижение развития реофильных рыб свидетельствует о снижении проточности или постоянной подпитки озера, а отсутствие мальков и сеголеток – о неблагоприятных условиях для нереста и воспроизводства ихтиофауны.

Обоснования и предложения к системе критериев. В системе экологических критериев основополагающее значение, по нашему мнению, имеют характеристики гидрологических условий. Потенциально благоприятные гидрологические условия, обеспечивающие удовлетворительную экологию озер, могут основываться на следующих отправных положениях:

– **Проточность озер** является основным гарантом сохранения и восстановления качества воды. В противном случае неизбежно происходит рост минерализации до критических значений и ухудшение всех других

абиотических и биотических характеристик, включая биоразнообразие и биопродуктивность.

– Необходимо установить контрольные **годовые объемы поступления водного стока** в ветланды с учетом водности лет. По опыту мониторинга ветланда Судочье можно принять за рекомендуемый объем поступающего стока в благополучный по водности период его среднее многолетнее значение.

– Необходимо также принять **минимальные значения стока**, не допускающие высыхания озер. В маловодные годы минимально допустимый объем подпитывающего стока должен составлять не менее 40...50 % от его среднего многолетнего значения.

– Контрольные **объемы подпитывающего стока** должны обособываться также с учетом необходимости поддержания минимальных уровней воды для сохранения биоразнообразия и биопродуктивности основных литоральных и прибрежных биотопов, для воспроизводства рыбы и поддержания мест гнездований и убежищ для птиц и промысловых животных (например, ондатры).

– **Минимальные и максимальные уровни воды** должны, в основном, следовать естественному гидрологическому режиму (максимальные уровни в весенне-летний сезон, минимальные уровни – поздним летом), а диапазон их колебаний должен гарантировать оптимальное развитие водно-болотной растительности и предотвращать чрезмерное зарастание акватории ветландов и их заболачивание.

– Необходимо также учитывать, что экология озер в значительной степени зависит от складывающегося **солевого баланса**. **Важными градациями минерализации в этом отношении являются концентрации солей <5 г/л и >10 г/л**, при которых в первом случае обеспечиваются удовлетворительные условия для нереста и развития личинок и мальков пресноводно-генеративных видов ихтиофауны, во втором случае - полностью угнетается их воспроизводственный цикл.

Биотическими индикаторами благополучия уязвимых озерных экосистем могут служить показатели таксономической структуры основных реперных биоценозов (перифитон, зообентос, фитопланктон, зоопланктон), в которых при удовлетворительном экологическом состоянии

соблюдается примерный паритет в развитии пресноводно-солонатоводных и солонатоводных компонентов. Предпочтительнее преобладание пресноводно-солонатоводных форм.

Важным индикатором благополучия может служить также присутствие и развитие в реперных биоценозах представителей различных трофических и экологических группировок организмов, свидетельствующих о наличии в системе разнообразных экологических ниш, что обычно характерно для состояния экологического прогресса.

В таблице 1 представлен набор параметров для оценки экологически допустимого состояния экосистем ветландов, учитывающих их абиотические и биотические характеристики и условия, которые должны поддерживаться для возможности предоставления ими различных экосистемных услуг. Представленные в ней индикаторы отражают реально сложившуюся экологическую ситуацию в ветландах, которые мы использовали в процессе экспедиционного обследования, и подготовке заключения об их экологическом состоянии.

Как показали наши исследования эти критерии, могут быть выражены количественными показателями и составить основу для разработки интегральной бальной оценки экологического состояния озерных экосистем при осуществлении их мониторинга и картирования его результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апарин В.Б. Гидрохимические особенности Судочинского ветланда в условиях экологического стресса // Экологическая устойчивость и переходные подходы к управлению водными ресурсами в бассейне Аральского моря: Труды Междунар. конф., Алматы-Ташкент, 2003. – С.363-368.
2. Бородин В.Е., Рузиев И.Б. Изменение биологического режима водоемов Южного Приаралья с увеличением притока на примере сообществ планктонных водорослей // Пресная вода: Труды отраслевой научно-практ. конф. Главгидромет РУз, Ташкент, 1995. – С.108-110.
3. Бородин В.Е., Рузиев И.Б., Рахманов Б.А. Исследования возможности улучшения качества воды в водоемах питьевого и рыбохозяйственного назначения дельты Амударьи // Пресная вода: Труды отраслевой научно-практической конференции. Главгидромет РУз, Ташкент, 1995. – С.83-86.
4. Горелкин Н.Е., Горошков Н.И., Нурбаев Д.Д., Тальских В.Н. Оценка состояния коллекторов и озер правобережья Амударьи // Проблемы освоения пустынь. – № 2. – 2002. – С.49-57.

5. Исполнительный Комитет МФСА. Проект по управлению водными ресурсами и окружающей среде. Компонент Е: Экологический мониторинг ветланда Судочье (Годовой отчет), 2001 г. НПЭЦ «ЭКОТЕКС» (Узбекистан), «IBS Technology, Inc» (USA).
6. Крейцберг-Мухина Е.А., Мирабдуллаев И.М., Тальских В.Н. Основные результаты экологического мониторинга ветланда Судочье // Экологическая устойчивость и передовые подходы к управлению водными ресурсами в бассейне Аральского моря: Труды Междунар. конф. – Алматы-Ташкент, 2003. – С.355-363.
7. Кустарева Л.А. Экологические проблемы озера Сары-Челек // Экология Кыргызстана: проблемы, прогнозы, рекомендации. – 2000. – С. 86-89.
8. Никитин А.М. Озера Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 106 с.
9. Нурбаев Д.Д. Реакция горных озер бассейна Аральского моря на долгосрочные изменения климата // Проблемы охраны водных ресурсов и окружающей среды: Сборник докладов Республ. научно-практ. конф. – Ташкент, 2000. – С. 107-111.
10. Отчёт о результатах экспедиции по исследованию и оценке природных условия зоны формирования вэтландов на территории дельты р. Амударья и ложа Аральского моря. Проект НАТО SEP 974357 «Комплексное управление водными ресурсами в бассейне Аральского моря с целью восполнения водных поверхностей Южной части Приаралья». – Ташкент, 2002.
11. Рузиев И.Б., Бородин В.Е., Рахманов Б.А. Влияние водности Амударьи на гидрохимический режим и загрязнение водоемов Южного Приаралья // Пресная вода: Труды отраслевой научно-практ. конф. – Ташкент, 1995. – С.111-115.
12. Спекторман Т.Ю. Сценарии изменения климата для территории Узбекистана и зоны формирования стока рек Сырдарьи и Амударьи. Узгидромет, НИГМИ, Бюллетень: Изменение климата, причины, последствия и меры реагирования. – Вып. 9. – 2015. – С.29-39.
13. Тальских В.Н. Методология оценки экологического состояния водных объектов Приаралья по гидробиологическим показателям // Пресная вода: Труды отраслевой научно-практ. конф., Ташкент, 1995. – С.7-95.
14. Тальских В.Н. Исследования перифитона и зообентоса в озерах ветланда Судочье: основные результаты и извлеченные уроки // Экологическая устойчивость и передовые подходы к управлению водными ресурсами в

- бассейне Аральского моря: Труды Междунар. конф. – Алматы-Ташкент, 2003. – С.369-375.
15. Тальских В.Н. Предварительные результаты комплексных экспедиционных исследований биогидроценозов озерно-речного комплекса Сары-Челекского заповедника и прилегающей территории // Труды заповедников Кыргызстана. – Бишкек, 2005. – С. 68-84.
 16. Тальских В.Н., Беглов Е.О. Влияние климатических факторов на водные экосистемы и меры адаптации // Последствия изменения климата в Узбекистане, меры адаптации. – Бюллетень № 7. – 2008. – С. 53-61.
 17. Тучин А.И., Громыко К.В., Рузиев И.Б. Экологические проблемы южного и северного Приаралья и предложения по их реабилитации и стабилизации функционирования // Экологическая устойчивость и передовые подходы к управлению водными ресурсами в бассейне Аральского моря: Труды Междунар. конф. – Алматы-Ташкент, 2003. – С.341-351.
 18. Borodin V.E. and Talskikh V.N. Hydrological, Hydrochemical and Hydrobiological Regime in flat water bodies in the Aral Sea Region (Subproject 14) // Aral Sea project seminar, UNESCO, Tashkent, Uzbekistan. – 1994 (1992-1993 Reports). – P.63-65.
 19. Joldasova I., Pavlovskaya L., Lyubimova S., Urasinbetova B., Temirbekov R. The economic potential of fish of Delta zone of the Amudarya Riva and problems of its sustainable development. – Towards Rational Water and Landuse Management in the Northern Amudarya Delta Region. Intas Project Meeting, Nukus. – 2002. – P.17-19.

Поступила 11.07.2019

Биол. ғылымд. кандидаты

В.Н. Тальских
Л.Ю. Шардакова

**КЛИМАТТЫҢ АНТРОПОГЕНДІК ӘСЕРІ МЕН ӨЗГЕРУІ
ЖАҒДАЙЫНДА АРАЛ ТЕНІЗІ АЛАБЫНЫҢ КӨЛДЕР
ЭКОЖҮЙЕЛЕРІ ҮШІН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ РҰҚСАТ ЕТІЛГЕН ИНДИ-
КАТОРЛАРДЫ ӘЗІРЛЕУ**

Түйін сөздер: беттік ағысты қалыптастыру және тұтыну аймақтарындағы лимникалық жүйелер, экологиялық жай-күй критерийлерінің жүйесі, абиотикалық және биотикалық өлшемдер, биоценоздар, перифитон, зообентос, фитопланктон, зоо-планктон

Кездесетін ақпараттарды талдау және авторлардың экспедициялық зерттеу нәтижелері негізінде 13 көл бойынша үлгідегі су қоймасы бойынша олардың қазіргі экологиялық жай-күйіне бағалау жүргізілді, көлдердің су режимін мониторингілеу және басқару бойынша индикаторлар мен критерийлерді таңдау негізделді, Амудария атырауы мен төменгі ағысының көл бойынша экожүйелердің антропогендік өзгеруіне қатысты тұжырым жасалынды.

V. N. Talskikh, L.Yu. Shardakova

DEVELOPMENT OF INDICATORS FOR ECOLOGICALLY ACCEPTABLE STATE OF LAKE ECOSYSTEMS IN THE ARAL SEA BASIN UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT AND CLIMATE CHANGE

Key words: limnic systems in the zones of surface runoff formation and consumption, criteria system for the ecological state, abiotic and biotic criteria, base biocenoses, periphyton, zoobenthos, phytoplankton, zooplankton

Based on the analysis of existing information and fields studies results of the authors on 13 lakes, their current ecological status was assessed, the choice of indicators and criteria for monitoring and controlling the water regime of lakes was justified, conclusions were made on the anthropogenic changes in the lake ecosystems of the Amu Darya lower reaches and delta.