

## ОБ ОЦЕНКАХ БИОСЛОЖНОСТИ И УЯЗВИМОСТИ ОЗЕРА СЕВАН

Д.б.н., проф. **Габриелян Б.К.**<sup>1</sup>, д.э.н., проф. **Геворкян С.А.**<sup>1</sup>,  
д.ф.-м.н., проф. **Мкртчян Ф.А.**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научный Центр Зоологии и Гидроэкологии НАН Армении

<sup>2</sup> Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН

## ABOUT ESTIMATES OF BIOCOMPLEXITY AND VULNERABILITY OF LAKE SEVAN

**Gabrielyan B.K.**<sup>1</sup>, **Gevorkyan S.A.**<sup>1</sup>, **Mkrтчyan F.A.**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Scientific Center of Zoology and Hydroecology,  
National Academy of Sciences of Armenia

<sup>2</sup> Kotelnikov IRE RAS Fryazno Branch

**Ключевые слова:** озеро Севан, водная среда, биосложность, уязвимость, климат, Армения.

**Key word:** lake Sevan, water environment, biocomplexity, vulnerability, climate, Armenia.

*В работе рассматриваются вопросы получения оценок биосложности и уязвимости озера Севан. Для оценки уязвимости рекомендуется выбрать модельные (уязвимые) объекты и определить биологические параметры, которые являлись бы уязвимыми к воздействию изменения климата. Указывается, что для полной оценки уязвимости озера Севан к воздействию температурных изменений необходимо проведение систематического и целенаправленного сбора данных на протяжении нескольких лет.*

*The paper deals with the issues of obtaining assessments of the bio-complexity and vulnerability of Lake Sevan. To assess vulnerability, it is recommended to select model (vulnerable) objects and determine biological parameters that would be vulnerable to the impact of climate change. It is indicated that in order to fully assess the vulnerability of Lake Sevan to the effects of temperature changes, it is necessary to carry out systematic and targeted data collection over several years.*

### Введение

Максимальное понижение уровня озера Севан на 20.2м к 2002 г. и уменьшение объема его водной массы более чем на 42,2% привело к заметным изменениям температурного режима озера. Об этом свидетельствуют увеличение среднемесячной температуры воды Малого и Большого Севана, усредненной за 1982-1985 гг. (период относительной стабилизации уровня) по сравнению с допусковым периодом (1927-1933 гг.). Изменение морфологии и морфометрии озера (уменьшение глубины озера и длины береговой линии) сопровождалось ускорением и рас-

ширением сельскохозяйственной деятельности в бассейне озера Севан (с увеличением притока органических веществ антропогенного происхождения). Следовательно, определение вклада каждого фактора в отдельности в изменениях, произошедших в озере с понижением уровня, повышения температуры воды, изменения уровня трофности и др., представляет определенные трудности. Однако, климатические изменения такие, как повышение температуры воздуха могли бы вызвать некоторые наблюдаемые физико-химические и гидробиологические изменения даже при отсутствии других действующих факторов, хотя и диапазон, и степень этих изменений были бы более растянуты во времени. В связи с этим, оценка уязвимости биоразнообразия озера Севан к воздействию потепления климата должна быть основана на оценке тех последствий понижения уровня озера для его обитателей, какие были бы вызваны повышением температуры воды как отдельно взятого фактора.

### **Изменения термического режима озера в связи с понижением его уровня и вследствие потепления климата в регионе**

По данным Габриеляна [1], наблюдается более быстрое нагревание озера в весенне-летний период и более быстрое охлаждение осенью. Период нагревания Малого Севана(МС) и Большого Севана(БС) до понижения уровня начинался в мае (3,5-4,0°C) и завершался в августе (18-19°C), а в новых условиях нагрев начинался в конце апреля (4,0-4,5°C) и завершался в конце июля (19-20°C). Видно, что процесс смещения периода нагревания сопровождался его ускорением. Наибольшего прогрева вода в поверхностном слое озера достигала 17-20° (июль-август). В отдельные годы максимальная температура воды достигала 24°. В придонных слоях МС в этот период средняя температура воды составляла 4,2-5,0°C, а в БС 8-12°C, в то время как до понижения уровня озера температура воды соответственно понижалась до 3-4°C (МС) и 4-5°C (БС). По данным Габриеляна (2006), в летний период температура воды в прибрежной зоне была выше, чем в центральной части озера. В период осеннего охлаждения температура воды в мелководной прибрежной зоне благодаря высокой теплоактивности обычно ниже, чем в центральной части озера.

Прогнозируемое повышение температуры воздуха в бассейне озера Севан могло бы привести к подобным последствиям, хотя и в умеренной степени (например, теплоактивность литорали не была бы такой высокой, как после понижения уровня) и в более растянутом временном промежутке.

Понижение уровня озера на 20,2м привело и к смещению вниз эпилимниона и гиполимниона МС с уменьшением объемов эпилимниона на 15-20% и гиполимниона на 50-60%. В БС объем эпилимниона сократился на 20-25%, а гиполимниона на 90-95%.

Общее стабильное повышение температуры в регионе из-за потепления климата могло бы привести к подобным последствиям, включая увеличение периода температурной стратификации, сокращение и/или прогревание гиполимниона, повышая при этом риск кислородного дефицита в нем, углубление металимниона, увеличение размера эпилимниона и биологической активности в нем (из-за большего и продолжительного прогрева воды). Однако, следует учесть, что трудно проанализировать последствия потепления климата для озера Севан в условиях постоянно изменяющегося режима водоема. Например, в настоящее время объем эпилимниона (который был значительно сокращен из-за понижения уровня озера) увеличивается (и предполагается, что будет продолжаться) с соответствующим

изменением термического режима озера. Можно предположить, что повышение уровня в какой-то мере скомпенсирует повышение температуры воды путем стабилизации теплоактивности толщи воды. Но для научнообоснованного анализа последствий изменения климата для гидробионтов озера Севан необходимо разработать программу мониторинга изменений гидрохимических, гидрофизических и гидробиологических параметров именно в связи с климатическими изменениями, а не в рамках исследований, проводимых в озере для оценки гидроэкологического качества воды.

### **Изменения морфологии и морфометрии озера в связи с понижением его уровня и вследствие потепления климата в регионе**

Изменения гидрологического режима рек в результате прогнозируемого уменьшения количества атмосферных осадков и ожидаемого, как следствие, увеличения частоты экстремальных погодных явлений (сильных обильных дождей, сильных ветров, быстрого снеготаяния) могут привести к увеличению наноса рек, которое может существенно изменить качество приустьевых и прибрежных участков озера за очень короткий временной период. В результате, возможно, получилась бы такая же картина сильно заиленных берегов в зоне литорали, которая наблюдается сейчас при понижении уровня озера, приведшего к исчезновению плотного песчаного дна и каменисто-галечного грунта значительной части прибрежного дна и замены дна новым заиленным субстратом, прежде находившимися под водой. В связи с этим в зоне литорали, многие составляющие зообентоса лишились необходимого субстрата, а из-за возросшей первичной продукции и потери прозрачности воды, а также из-за прибойного взмучивания донных песчано-иловых отложений, прежде доминировавшие макрофиты лишились привычных условий развития, не успевая распространяться вслед за понижением уровня.

Понижение уровня озера повлекло за собой изменение температурного режима озера, создавая условия для ухудшения условий жизни и размножения одних видов животных и созданию условий для интенсивной продукции других (смена доминантов, и т.д.), что привело к значительным перестройкам в видовом составе флоры и фауны озера.

В допускоской период качественный состав фитопланктона был беден, а количественно преобладали диатомовые водоросли с распределением на глубинах 20-30 м. Понижение уровня озера и, как следствие, проникновение солнечного света на ранее не доступные глубины и прогревание толщи воды привело к исчезновению прежних диатомовых доминантов и появлению новых постоянных компонентов зеленых и сине-зеленых водорослей. В результате благоприятных условий для размножения водорослей первичная продукция озера возрасла почти в 10 раз (с 0,2-0,5г/м<sup>3</sup> в 1937-1962гг. до 2,0-3,0 г/м<sup>3</sup> в 1976-1983гг) [2,3].

Отмирание многочисленного фитопланктона привело в увеличению органического вещества в озере, наряду с увеличившимся поступлением биогенных элементов извне, из-за интенсивного развития экономики и сельского хозяйства в водосборном бассейне озера, изменив статус озера из олиготрофного (бедного органическим веществом) в эвтрофное.

Возрастание первичной продукции (водорослей) вызвало уменьшение относительной прозрачности воды. Так, к концу 80-х гг., по сравнению с допускоским периодом, прозрачность в МС снизилась с 13 до 3,5м, а в БС - с 12,4 до 3,2м [2]. В результате падения прозрачности воды из-за высокой продуктивности озера (а также из-за прибойного взмучивания донных песчано-иловых отложений,

представляющих собой теперь донный субстрат после понижения уровня озера) ухудшились условия для развития макрофитов, которые опускались до глубины 15-19 м и играли существенную роль в процессах функционирования экосистемы озера Севан и поддержании его стабильного состояния [2]. Макрофиты служили также местом обитания фитофильных организмов бентоса, в том числе гаммарусов - важнейшего зоопланктонного компонента питания севанских рыб.

Одним из основных продуцентов первичной продукции является пикофитопланктон - мельчайшие организмы (0.2–2.0 мкм) фитопланктона, потребляемые зоопланктоном в качестве корма. В 2009 г. пикофитопланктон составлял в МС 9-24% от общей биомассы фитопланктона, а в БС – 1.4-15%. Роль пикофитопланктона изменяется в зависимости от уровня трофии водоема. Факторами, регулирующими количество пикофитопланктона являются температура, вертикальное перемешивание, концентрация биогенных элементов и выедание зоопланктоном. Корреляционный анализ показал достоверную положительную связь между температурой воды и/или численностью ( $r = 0.93$ ,  $p < 0.05$ ) и биомассой пикофитопланктона ( $r = 0.89$ ,  $p < 0.05$ ) в МС в 2009 г. Распределение пикофитопланктона в озере Севан в 2005-2009 гг. в литорали было больше, чем в пелагиали [4]. С одной стороны, доступность биогенных элементов с залитых территорий может играть существенную роль в этом, а с другой, миграция зоопланктона из литорали в пелагиаль обеспечивает отсутствие пресса хищников на пикофитопланктон в прибрежной зоне.

В период исследований 2005-2009 гг. наблюдалась сукцессия на уровне видов и основных групп фитопланктона, обычно вызываемая особенностями метеорологических условий, гидрохимическим режимом, содержанием биогенных элементов в воде, и т.д.. Появились диатомовые водоросли, которые исчезли как прежние доминанты в связи с понижением уровня озера. Осенью 2007 г. в БС (наиболее уязвимом к воздействию негативных факторов) даже наблюдалось доминирование группы диатомовых представителей рода *Cyclotella* и *Stephanodiscus astrae*, что было характерно для олиготрофного периода озера в прошлом [4]

Однако, летнее “цветение” воды в МС токсичными синезелеными водорослями *Aphanizomenon flos-aquae*, характерное для высокопродуктивного периода водоема в 70-х и 90-х гг., общепризнанного индикатора эвтрофирования, свидетельствует о наличии тех же условий, что и при высокопродуктивном периоде, несмотря на то, что повышение уровня воды привело к некоторому восстановлению популяций прежних доминантов. Одной из новых причин можно выделить поступление биогенных элементов с затопленных территорий в связи с тем же повышением уровня озера. В июле 2010 г. также было обнаружено бурное развитие синезеленой водоросли *Anabaena flosaquae* [4].

В результате всех произошедших изменений в настоящее время происходит быстрая сукцессия основных видов, формирующих сообщество. Из рисунка 2 видно, что на протяжении всех исследуемых лет (2005-2009) в МС по биомассе доминировали зеленые водоросли (Chlorophyta) - крупноклеточные формы фитопланктона (виды родов *Oocystis*, большое разнообразие видов которых является особенностью севанского фитопланктона), а по численности доминировали либо суб-доминировали синезеленые водоросли (Cyanophyta). В БС в 2005 г. при незначительной биомассе синезеленых водорослей, соразмеримой с таковой в МС, их численность была чрезвычайно большой.

Так, в период повышения уровня озера имеет место уменьшение разнообразия водорослей, увеличение вегетации синезеленых водорослей, непредсказуемая

сукцессия видов. Понижение уровня более чем на 20 м привело к увеличению температуры воды в придонных слоях МС приблизительно на 2°C в и почти в 2 раза в БС. А в целом, среднемесячные температуры в период гидрологической весны и лета на 0,5-2,0°C выше, а в период осени и зимы на 0,3-0,8° ниже, чем в естественном состоянии озера (до понижения уровня воды) [1]. Не стоит забывать и о других факторах, действующих на озеро, но наблюдаемые непредсказуемые изменения в растительном сообществе озера Севан, свидетельствуют о нестабильности экосистемы, проявляющиеся через быструю реакцию на изменения абиотических факторов (температуры, притока биогенных элементов, др.).

На данном этапе сложившаяся ситуация, несомненно повысит уязвимость разнообразия водной растительности к прогнозируемому увеличению температуры. Однако, установление стабильного нового уровня озера поспособствует решению многих проблем его проблем, поднимая его резистентность как к негативным антропогенным факторам, так и климатическим изменениям (таким, как повышение летней температуры в Севанском регионе на 2°C к 2030 г. и на 9°C к 2070 г.). Необходим детальный и постоянный гидроэкологический мониторинг изменений и состояния экосистемы озера, и в частности, динамики первичной продукции при изменениях абиотических факторов.

#### **Оценка уязвимости биоразнообразия к воздействию изменения климата**

Для оценки уязвимости необходимо выбрать модельные (уязвимые) объекты и определить биологические параметры, которые являлись бы уязвимыми к воздействию изменения климата (например, пищевой спектр, особенно, в период нагула), состояние нерестилищ, температурная толерантность, субстрат обитания). Общеизвестно, что форелевые рыбы и водные беспозвоночные наиболее подходят для оценки уязвимости, поскольку имеют низкую толерантность к температурным колебаниям. Температура воды значительно влияет на их выживаемость, рост, распространение, конкурентоспособность.

Однако, в озере Севан из-за осушения озерных нерестилищ в результате понижения уровня воды необратимо исчезли 2 расы севанской форели (зимний ишхан и боджак), а 2 другие (гегаркуни и летний ишхан) поддерживаются только искусственным воспроизводством (плановым выпуском мальков в озеро), но не успевают отнереститься в реках и тем самым занять свое место в рыбном сообществе озера из-за беспрецедентного браконьерского лова, обусловленного тяжелой экономической ситуацией в стране, а также неблагоприятными условиями нерестовых рек. Таким образом, в озере Севан, прежде “форелевом” водоеме, невозможно осуществить оценку уязвимости на основе классического холодолюбивого объекта – форели. В озере обитали и другие холодолюбивые виды – эндемики храмуля и усач, а также, интродуцированный в 20-30- х гг., сиг. Запасы храмули и усача также почти полностью подорваны по тем же причинам, что и для форели, а запасы сига достигли минимума, при котором дальнейшее восстановление популяции до промыслового уровня может быть делом десятилетий. В настоящее время озеро превращается в “карповый” водоем, в результате хорошей адаптивной способности случайно интродуцированного караса в начале 80-х гг.

Но поскольку существует еще некоторый запас сигов (для сравнения: если в 1983 году запас составлял 11000 т, в конце 80-х – 28000 т, то в 2012 году – 6-7 т) и имеются данные 2003-2012 гг. о плотности скопления сигов и их распределении в озере, то оценка уязвимости биоразнообразия к воздействию климата в данной работе произведена на основании потребностей этого холодолюбивого вида, хотя

он обладает большой экологической пластичностью и, тем самым, не является наиболее уязвимой моделью. В оценке также учитывается изменение во всей трофической цепи экосистемы озера, необходимой для развития кормовой базы сига. Для оценки уязвимости биоразнообразия в озере Севан к изменению климата были рассмотрены те последствия понижения уровня воды озера, которые могли бы быть аналогичны тем, которые могли происходить при повышении температуры воды из-за всеобщего потепления климата. Анализ исторических данных позволил выявить уязвимости экосистемы и дать анализ изменений биоразнообразия при будущем, прогнозируемом, повышении температуры воздуха и воды. Понижение уровня озера привело к ускоренному и большому прогреванию температуры поверхностного слоя воды на 2°C (а временами, на 4°C). Произошли существенные изменения температуры воды и в придонном слое: повышение на 1-2°C в МС и на 4-7°C в БС. Изменения термического режима вызвали целый ряд изменений в экосистеме озера, описанные выше. Уже зарегистрированное повышение средней температуры воды в придонных слоях увеличится еще больше при прогнозируемом повышении средней годовой температуры воздуха в бассейне озера Севан. При этом сезонные изменения температуры значительны (к 2070 г.: почти на 9°C летом, зимой и весной, 6°C осенью). По минимальному прогнозу, изменения температуры воздуха к 2100 г., будут отличаться от 2070 г. на 0.5-1°C, а по максимальному прогнозу – на 1-2°C, то есть изменения температуры воздуха по сезонам и средней годовой превалируют значение 10°C.

Для модельного объекта (сига) необходимо рассмотреть возможность выживания в период прогнозируемых высоких температур воды, которые могут вызвать температурный стресс и тем самым нарушения физиологических процессов в организмах. Летняя температурная стратификация в озерах, описанная выше, временное явление, исчезающее с охлаждением температуры воздуха к осени и образованием ветров. Однако, это естественное явление в условиях потепления климата может продолжаться намного дольше и тем самым привести к длительному периоду сокращенного объема холодных глубинных вод и недостатку кислорода в придонных слоях (где происходит бактериальная деградация органического вещества), то есть в той зоне, где рыба находит приют от высоких температур. В условиях сокращенной зоны обитания в летнее время, рыбы вынужденно скапливаются в узком диапазоне глубин, ограниченном снизу недостатком кислорода, а сверху теплыми водами. При этом, одной из проблем скопления рыб в каких-либо слоях воды, особенно в теплых водах, является повышенное потребление кислорода самими рыбами, наряду с тем, что содержание растворенного кислорода в теплой воде ниже, чем в прохладной или холодной.

Современное разнообразие гидробионтов, имеющих отношение к пищевой цепи сига, находится в нестабильном состоянии: низкая встречаемость многих видов, преобладание одиночных доминантов, характерных для эвтрофного состояния водоема, незначительная доля других видов в общей биомассе и численности. Также, распределение и продукция зоопланктов (основного кормового компонента сегов) зависит от величины первичной продукции, которая, как известно, на данном этапе подвергается быстрой и непредсказуемой сукцессии. Поскольку одним из лимитирующих факторов роста продукции фитопланктона является температура, то перед лицом прогнозируемого повышения температуры в связи с изменением климата с одной стороны и одновременного повышения уровня воды озера с другой, приводящему к

некоторому повышению среднегодовой температуры воды, могут происходить частые изменения доминантов с появлением и исчезновением некоторых видов.

С точки зрения биоразнообразия самого рыбного сообщества, произошедшие негативные изменения в экосистеме озера по мере понижения его уровня уже вызвали серьезное нарушение условий обитания и воспроизводства рыб-эндемиков озера. Осушение литоральной зоны привело к значительному обеднению состава кормовых организмов, основных объектов питания эндемиков озера. Воздействие возросшего антропогенного пресса (бесконтрольный вылов рыбы без учета нерестового сезона) усугубило негативные процессы, которые начали развиваться в озере после понижения его уровня. Произошли значительные изменения в видовом составе ихтиофауны оз. Севан. Сначала были поставлены на грань полного исчезновения популяции эндемичных видов рыб, затем чрезмерной антропогенной нагрузки не выдержала многочисленная в 1960–80-е гг. популяция вселенного в 1920–30-е гг. сига. В настоящее время в уловах начал преобладать случайно интродуцированный в начале 1980-х гг. серебряный карась. Разрозненные популяции холодолюбивых видов, вероятно, полностью не исчезнут в условиях прогнозируемого повышения температуры, а именно ввиду малочисленности найдут подходящие места обитания, хотя плохая обеспеченность кормовой базой негативно отразится на их биологических и популяционных параметрах. Однако, постепенное повышение уровня озера может способствовать их развитию, если нестабильность экосистемы озера не будет критической. Как и предполагается, с глобальным потеплением продуктивность водоемов может возрасти за счет создания благоприятных условий для развития малоценных теплолюбивых видов рыб. По характеру питания карась имеет значительное сходство со всеми рыбами озера, при этом на первом году жизни оно особенно высокое с сигом и храмулей, на более старших возрастах - с храмулей и, возможно, с усачем. Отмеченное высокое пищевое сходство при быстром росте численности карася может нанести существенный вред популяциям рыб - аборигенов, снизив обеспеченность их пищей. Так, несомненно, климатический фактор воздействия негативно отразился бы на биоразнообразии озера Севан, если бы рыбное сообщество, состоящее из пищевых конкурентов, было многочисленным. При нынешней ситуации несомненного преобладания популяции карася, о конкуренции не может быть речи. Ожидаемое повышение уровня озера, если состоится и стабилизируется, улучшит условия холодолюбивых рыб, вытеснив пищевого конкурента по необходимости.

### О проблеме биосложности озера Севан

Рассмотрим следующие компоненты экосистемы озера Севан, указанные в таблице 1. Трофическая пирамида  $X = ||x_{ij}||$ , где  $x_{ij}$  - бинарное значение, равное «1» или «0» при наличии или отсутствии пищевой корреляции между  $i$ -м и  $j$ -е компоненты соответственно.

Определим биосложность как функцию:

$$\xi(\varphi, \lambda, z, t) = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^9 x_{ij} C_{ij} \quad (1)$$

где  $\varphi$  и  $\lambda$  - географическая широта и долгота;  $t$  - текущее время;  $z$  - глубина;  $x_{ij} = 1$ , если  $B_m \geq B_{m, \min}$ ; и  $= 0$ , если  $B_m < B_{m, \min}$ ;  $B_{m, \min}$  - минимальная биомасса  $m$ -го

компонента, потребляемая другими трофическими уровнями;  $C_{ij} = k_{ji} B_{i,*} / \Sigma_{j+}$  - питательное давление  $j$ -го компонента на  $i$ -й компонент;  $\Sigma_{i+} = \sum k_{im} B_{m,*}$  ( $m \in S_i$ ) - реальный запас пищи, доступный  $i$ -му компоненту;  $B_{m,*} = \max\{0, B_m - B_{m, \min}\}$ ;  $k_{im} = k_{im}(t, T_W, S_W)$  ( $i = 1, \dots, 9$ ) - показатель удовлетворения пищевой потребности  $i$ -го компонента за счет  $m$ -го компонента биомассы;  $k_{im}$  ( $i = 9, 10$ ) - коэффициент преобразования  $m$ -го компонента в  $i$ -й компонент;  $k_{i20}$  - характеристика антропогенного воздействия на  $i$ -й компонент;  $S_i = \{j : x_{ij} = 1, j = 1, \dots, 10\}$  - пищевой спектр  $i$ -го компонента;  $T_W$  - температура воды;  $S_W$  - соленость воды.

Таблица 1.

### Трофическая пирамида экосистемы озера Севан с учетом формирования индикатора биосложности

| Потребители энергии и вещества | Источники энергии и вещества |       |       |       |       |       |       |       |       |          |
|--------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|                                | $B_1$                        | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $B_6$ | $B_7$ | $B_8$ | $B_9$ | $B_{10}$ |
| Фитопланктон $B_1$             | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Зоопланктон $B_2$              | 1                            | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Зообентос $B_3$                | 1                            | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Микроорганизмы $B_4$           | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Детрит $B_5$                   | 0                            | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Перифитон $B_6$                | 0                            | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Сиг $B_7$                      | 1                            | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Форель $B_8$                   | 1                            | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Храмуля $B_9$                  | 0                            | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0        |
| Карась $B_{10}$                | 1                            | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        |

Дизайн акватории озера Севан  $\Omega = \{(\varphi, \lambda)\}$ . Значение показателя биосложности для любого участка  $\omega \in \Omega$  определяется по формуле:

$$\xi_{\omega}(z_1, z_2, t) = (1/\sigma_{\omega}) \int \int \xi(\varphi, \lambda, z, t) d\varphi d\lambda dz,$$

где  $[z_1, z_2]$  - слой воды, расположенный между глубинами  $z_1$  и  $z_2$ .

Максимальное значение  $\xi = \xi_{\max}$  ( $\approx 20$ ) достигается в весенне-летнее время, когда питательные связи в экосистеме озера Севан расширяются, увеличивается интенсивность энергообмена, стимулируются процессы горизонтальной и вертикальной миграции. Зимой значение  $\xi$  изменяется около  $\xi_{\min}$  ( $\approx 8$ ). Пространственное распределение отражает локальную изменчивость пищевого спектра компонентов. Сравнение этого распределения с распределением зон промышленных скоплений рыбы [4] показывает, что между этими распределениями существует корреляция.

Расчеты показывают, что основная изменчивость  $\xi^* = \xi/\xi_{\max}$  вызвана миграцией процессы. При этом происходит быстрое перераспределение внутренней структуры матриц  $X$  и  $\|C_i\|$ . Например, по данным Габриеляна и др. [5,6], некоторые рыбы весной мигрируют в шельфовую зону, а зимой - в центральные акватории озера. Следовательно, значение  $\xi^* \rightarrow 1$  весной и  $\xi^* \rightarrow 0.6$  зимой для мелководной зоны соответственно. Это означает, что биосложность экосистемы озера Севан на шельфе зимой снижается на 40% по сравнению с весной.

Такая стабильность показателя биосложности объясняется балансом питательных соотношений и продуктивности в весеннее, летнее и зимнее время. Можно установить, что изменчивость  $\xi^*$  отражает изменения скоплений рыбы, которые



контролируются условиями окружающей среды. Более детальное изучение корреляций между величиной  $\xi^*$  и структурно-поведенческой динамикой экосистемы озера Севан требует дополнительных исследований.

В этой работе представлена основная идея того, как перейти от словесного описания биосложности к ее числовой шкале. При дальнейших исследованиях необходимо учитывать рельеф дна, тренды климата, детализацию компонентов трофической пирамиды [4]. Также необходимо добавить в формулу (1) члены, описывающие антропогенные воздействия на экосистему, рассматриваемые в социально-экономическом смысле.

### **Заключение**

Для полной оценки уязвимости и биосложности озера Севан к воздействию температурных изменений необходимо проведение систематического и целенаправленного сбора данных на протяжении нескольких лет. Приведенная выше оценка дана на основании многолетних данных ИГЭИ НЦЗГЭ НАН РА, которые носили гидробиологическую направленность (популяционная динамика, биология, экология), и не преследовали специальной цели рассмотрения влияния климатических параметров на биоразнообразие гидроэкосистем.

### **Литература**

1. Габриелян Б.К. Ихтиофауна озера Севан в различные периоды понижения его уровня // Автореф. дис. докт. биол. наук. Ереван. 2006. 31 с.
2. Оганесян Р.О. Озеро Севан вчера, сегодня... Ереван: Изд-во НАН РА «Гитутюн», 1994. 478 с.
3. Парпаров А.С. Некоторые тенденции изменения продукционно-деструкционных характеристик озера Севан // Тез. докл. Всес. совещ. по лимнологии горных водоемов. Севан, 11–15 сентября 1984 г. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1984. С. 227–228.
4. Экология озера Севан в период повышения его уровня. Результаты исследования Российско-армянской биологической экспедиции по гидроэкологическому обследованию озера Севан (Армения, 2005–2009гг). Изд-ва «Наука ДНЦ», Махачкала. 2010.
5. Габриелян Б.К. Динамика структуры ихтиоценоза озера Севан при различных уровнях трофии водоема // Экологические проблемы озера Севан. Ереван, 1993. С. 66–67.
6. Габриелян Б.К., Крикунов Е.А., Смолей А.И., Пивазян С.А. Динамика численности и ихтиомассы севанской храмули в связи с изменениями режима водоема // Экология. 1990. № 2. С. 46–53.

### **References**

1. Gabrielyan B.K. Ichthyofauna of Lake Sevan in different periods of its level decrease // Author's abstract. dis. doct. biol. sciences. Yerevan. 2006. 31p.
2. Hovhannisyanyan R.O. Lake Sevan yesterday, today ... Yerevan: Publishing house of the National Academy of Sciences of the RA "Gitutyun", 1994. 478 p.
3. Parparov A.C. Some tendencies of change in production and destruction characteristics of Lake Sevan // Tez. report Vses. meeting. on the limnology of mountain reservoirs. Sevan, September 11-15, 1984, Yerevan: AS Arm. SSR, 1984, pp.. 227-228.

4. Ecology of Lake Sevan during the period of its level rise. Research results of the Russian-Armenian biological expedition on hydroecological survey of Lake Sevan (Armenia, 2005-2009). Publishing house "Science DSC", Makhachkala. 2010.

5. Gabrielyan B.K. Dynamics of the structure of the ichthyocenosis of Lake Sevan at different levels of trophic of the reservoir // Ecological problems of Lake Sevan. Yerevan, 1993. S. 66–67.

6. Gabrielyan B.K., Kriksunov E.A., Smolay A.I., Pivazyan S.A. Dynamics of the number and ichthyomass of Sevan Khrumuli in connection with changes in the regime of the reservoir // Ecology. 1990. No. 2, pp. 46–53.