

Экологический мониторинг соляных аквасистем, испытывающих антропогенную нагрузку

З. И. НОВОСЕЛОВА, В. А. НОВОСЕЛОВ

Алтайский филиал СибрыбНИИпроект
656043 Барнаул, ул. Л. Толстого, 22

АННОТАЦИЯ

Комплексные исследования соляных озер Алтайского края проводились в первой четверти уходящего столетия. С тех пор водоемы исследовались исключительно по отдельным проблемам, связанным с освоением их природных ресурсов. Основные гидроэкосистемы, задействованные в промышленном производстве нерудных минералов (озера Кучукское, Бурлинское, Малиновое), заготовке грязелечебного сырья (озера Соленое, М. Яровое), добыче биоресурса артемии (озера Б. Яровое, Кулундинское), должны стать базовыми для экологического мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Юго-восточная территория Алтайского края является зоной залегания остаточных водоемов третичного водного бассейна. К морфологическим депрессиям равнины приурочены современные крупные озера: Кулундинское, Кучукское, Большое Яровое, Малиновое и многочисленные малые. Бессточная ложбина, собирающая минерализованные воды с Приобского плато и северных склонов Алтайского предгорья, является идеальной основой для формирования соляных вод, рассолов, твердых солевых отложений [1]. В семидесяти случаях из ста в этих районах наиболее вероятны годы с температурами вегетационного периода выше нормы при количестве осадков ниже нормы [2]. Свыше 50 % аквасистем этой территории содержат минерализованные и гипергалинные воды с общим количеством солей от 30 до 365 г/л. Здесь встречаются все водносолевые типы: карбонатные, сульфатные, хлоридные.

Первыми комплексными исследованиями соляных озер установлено, что многие из них представляют интерес для промышленного

освоения. Сначала были освоены содовые озера. В конце 50-х гг. соляные озера Кулунды начинают использоваться для добычи и переработки природных минералов: мирабилита, галита, гипса.

Развитие местного и регионального санаторно-курортного дела в крае и на сопредельных территориях приводит к интенсивному изъятию природных лечебных материалов лимнического происхождения: твердых отложений солей, рапы, минерализованных илов, грязевых отложений [3].

С начала 80-х гг. гипергалинные озера края стали базой заготовки биологического сырья водного происхождения. Уникальные по физико-химическим свойствам соляные водоемы не являются безжизненными, их биота представлена специфическими галофильными формами. Замыкающим трофическим звеном в гипергалинных экосистемах является жаброногий рачок *Artemia salina* L. Экстремальная и зачастую агрессивная среда соляных озер привела к появлению у вида высокоадаптационных морфологических особенностей. Интенсивный темп роста, непрерывное неселективное питание, преимущественно белковый состав тела,

наличие необходимых аминокислот, витаминов, гормонов определили незаменимость артемии в качестве стартового корма для выращиваемых в промышленных условиях рыб, морских ракообразных, сельскохозяйственных птиц.

Несмотря на продолжительный период промышленной эксплуатации и хозяйственного использования биосырья, до сих пор отсутствуют программы, направленные на сохранение соляных озер. Водоёмы, не задействованные в добыче нерудных минералов, сохраняют статус наименее затратных мест сброса сточных вод и концентрации промышленно-бытовых отходов. Отсюда соответствующее использование соляных акваторий озер: Кулундинского, Б. Ярового, Куричьего, Йодного, Малинового.

Многоцелевое использование сырьевых ресурсов гипергалинных водоёмов определяет высокую антропогенную нагрузку. И дело не только в освоении водных источников нерудных минералов. Нельзя представить независимость водных экосистем от сопредельного окружения. В современном состоянии соляные лимнические системы и их водосборные бассейны представляют наиболее ярко выраженную картину последствий антропогенного вмешательства. Распаханные почвы степных и лесостепных ландшафтов в большинстве случаев дефлированы. Увлечение сельскохозяйственным животноводством привело к чрезмерной нагрузке на рассматриваемые территории. Расположение озер в морфологической депрессии окружающего равнинного рельефа активизирует аккумуляцию природных и техногенных материалов.

Вещественный состав лимнических и поверхностных вод, питающих аквальные системы, перегружен биогенными элементами, аллохтонной органикой и минеральными взвесями. Растет не только материально-энергетическое содержание водоёмов, но и скорость их поступления. Как следствие ухудшается качество рапы и природного минерального сырья.

Неустановленный механизм евтрофикации соляных озер, отсутствие достоверных критериев оценки экологического состояния, неясность направленности гидробиологических процессов под прессом естественных и антропогенных факторов диктуют необходимость

создания информационной базы экологического мониторинга.

Основная задача экологического мониторинга соляных экосистем видится в обнаружении и прогнозе изменений антропогенного характера, сохраняя первоначальный смысл латинского определения *monitor* - предупреждающий. В организации системы контроля за состоянием соляных гидроэкосистем исходили из целесообразности отслеживать параметры, непосредственно замыкающиеся на галофильную биоту. Как известно, реакции последней наиболее достоверно отражают экологическое состояние водоёмов.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ СУЩЕСТВОВАНИЯ ГАЛОФИЛЬНОЙ БИОТЫ

Корреляционный анализ изменений внешней среды и биоценологических особенностей существования соляных экосистем показывает их зависимость от цикличности климатических фаз. Объективно существующие циклы климата воздействуют на состояние биологических компонентов озер через: освещенность и поглощение тепла водными массами, высоту снежного покрова и величину выпавших в теплое время осадков, испаряемость и гидрологический режим водоёмов; характер и уровень поступления аллохтонных ингредиентов, течение гидрохимических процессов [4]. Каждый в отдельности и в совокупности они усиленно или ослабленно воздействуют на биоценоз в зависимости от характера климатической фазы.

Гидрологический режим

На примере оз. Кучукского, сведения о гидрологическом режиме которого фиксируются с момента организации сульфатного производства, прослежен ход многолетнего изменения обводненности под влиянием климатических флуктуаций и антропогенного воздействия (см. рисунок). В естественное функционирование экосистемы внесены антропогенные изменения, непосредственно влияющие на уровеньный режим: зарегулированы питающие речные системы, нарушен ранее существовавший водооб-

мен между озерами Кулундинское-Кучукское и через каждые 3 года при технологической садке солей происходят потери рапы в размере 16–20 млн м³.

Уровненный режим подчиняется долговременным и краткосрочным трендам климата, определяя динамические тенденции существования экосистемы:

1960–1966 гг. "многоводье" 1967–1970 гг. "маловодье"
 1971–1974 гг. "многоводье" 1975–1985 гг. "маловодье"
 1986–1990 гг. "многоводье" 1991–1992 гг. "маловодье"
 1993–1996 гг. "многоводье" 1997–1998 гг. "маловодье"

Ясно, что в отдельные и особенно в наиболее критические годы регрессивных фаз природные циклы могут усугубляться воздействием антропогенных факторов, к тому же непосредственно направленных на уменьшение уровня озера.

Гидрологический режим водоема оказывает прямое влияние на состояние биоценоза, в том числе на численность жаброногого рачка. Характер водности увеличивает или уменьшает "жилую зону" вида, предопределяя тем его численные характеристики. При трансгрессии в "жилую зону" вовлекается дополнительный объем, литоральная зона обеспечивает повышенный приток грунтовых опресненных вод.

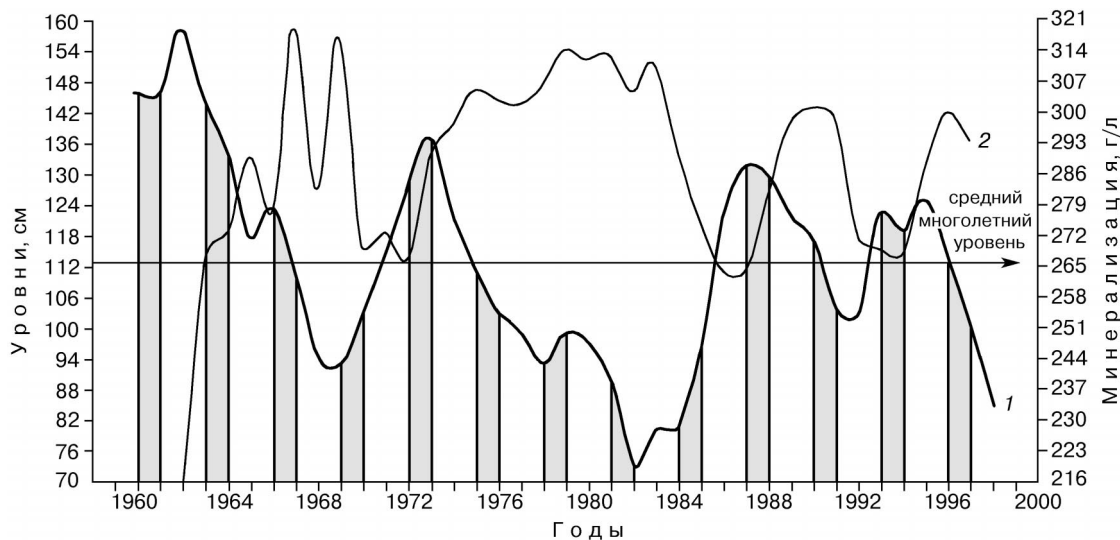
В регрессивные периоды наблюдаются противоположные процессы: от зоны подпитки грунтовыми водами удаляется мелководная –

воспроизводительная для артемии акватория. Пространственно разделяющий барьер еще более увеличивается в летнюю межень. Вследствие уровня спада происходит последующее физиологическое ограничение в воспроизводстве жаброногого рачка, обусловленное недостатком пресной воды, необходимой для гидратации зимних цист. По этой причине в периоды "среднего маловодья" в оз. Кучукском маловероятна летняя генерация рачка и воспроизводство ограничивается весенним и летне-осенним поколениями. В "низкое маловодье" характерно одно первое поколение. В годы "очень низкого маловодья" наблюдается максимальная несбалансированность между физиологическими потребностями жаброногого и условиями среды, что приводит к высокой вероятности пропуска воспроизводства. Особенно это свойственно наиболее депрессивным годам в цикле "маловодья".

Гидрохимические циклы

Пространственная и временная изменчивость минерального состава рапы соляных озер подчиняется циклам общей увлажненности и обводненности. Гидрохимические характеристики могут колебаться, подчиняясь и локальным, случайным явлениям, но масштаб их проявления заметнее после климатических пульсаций (см. рисунок).

Многолетнее уменьшение притока и усыхание озер в регрессивную фазу обводненности



обычно сопровождаются повышением общей концентрации солей, тогда как в трансгрессивную наблюдается уменьшение значений минерализации, г/л:

Кулундинское	Кучукское	Б. Яровое
39,0–145,2	216,4–319,9	135,3–171,8
М. Яровое	Беленькое	Малиновое
209,8–248,8	123,9–175,6	105,2–311,0

Очевидно, что в регрессивную фазу обводнения происходит резкий переход лимнических вод в более высокие разряды солености: слабо соленые → морской солености → очень соленые → рассолы и т. д., вплоть до аккумуляции твердых солевых отложений или превращения озер в самосадочные. Столь существенное изменение экологических условий не оставляет без последствий состояние галофильного биоценоза. На этом фоне происходят структурно-функциональные перестройки биоценозов, иногда сопровождающиеся полной сменой видового состава и даже исчезновением или, вернее, наступлением многолетней диапаузы в развитии жабронога.

Благодаря физиологической адаптации к биотопам с очень высокой соленостью популяции артемии выработали самую эффективную осморегулирующую систему [5]. Экстремальный физиологический стресс и токсичность воды начинают проявляться лишь при солености, близкой к насыщенному раствору NaCl (250 г/л и выше). При такой солености, по мнению Международного реферативного центра "Артемия", рачок начинает постепенно вырождаться. Однако многолетние исследования популяций жабронога в озерах Алтайского края позволяют утверждать, что экстремальные по минерализованности условия среды не обязательно приводят к их гибели. Здесь следует согласиться с утверждением [6], что особи одного вида, обитающие в водоемах с переменной соленостью, более адаптированы к колебаниям этого фактора, чем организмы, живущие в условиях стабильной солености. Путем ступенчатой акклимации достигается повышение предела фенотипической адаптации [7]. Концентрации выше 250 г/л – летальные для отдельных популяций артемии – не могут быть

признаны таковыми для особей некоторых озер края. При прочих равных условиях их можно считать сублетальными (пограничными), что не обязательно приводит к вырождению.

Известно, что сублетальные значения гипергалинности среды могут становиться летальными при комплексе неблагоприятных факторов. Тolerантность к колебаниям солености обычно снижается у гидробионтов с повышением температуры. В 1997 и особенно 1998 гг. максимальные значения солености рапы в оз. Кучукском в летнюю межень совпали с дискомфортными температурами, обеспечив аддитивное воздействие на рачка. Показатели численности и биомассы жабронога в озере в 1997 г. были минимальными за последние 20 лет, а в 1998 г. пополнение популяции поддерживалось исключительно функционированием технологического рапонасосного канала, где минерализация отработанного рассола не поднималась выше 231,6 г/л. Депрессивное состояние мезопланктона в озере, являющемся одновременно средой обитания рачка и производственной базой промышленного предприятия, без многолетнего анализа ситуации интерпретируется как последствие только техногенного воздействия. Хотя причины изменений биологических процессов в таких озерах могут носить и природный характер.

ОСОБЕННОСТИ БИОПРОДУКЦИОННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЛЯНЫХ ВОДОЕМОВ

Оценка состояния аквасистем по фитопланктону

В соляных озерах роль водорослей как продуцентов органического вещества особенно значима. Наиболее устойчивые к засолению тростник, камыш и рогоз формируют редкие мозаичные заросли исключительно в береговой или контактной (река–озеро) зонах и практически не участвуют в образовании автохтонных органических веществ таких водоемов.

Альгологические исследования, проведенные на озерах в период минимального антропогенного влияния, позволяют утверждать, что изначально их фитопланктонное сообщество не отличалось богатым составом [9]. Однако уже в тот период комплекс природных факторов

обуславливал в соляных водоемах преобладание синезеленых и зеленых водорослей. Прева-лирование именно этих двух групп водорослей увязывается с процессами естественного повы-шения продуктивности или антропогенного ев-трофирования. В начале 80-х гг. в такого типа озерах, по устному сообщению О. С. Голубых, отмечены синезеленые (30 видов), зеленые (9 видов), диатомовые (7 видов) и по одному виду желтозеленых и эвгленовых водорослей. Срав-нительно небольшая численность фитопланк-тона укладывалась в диапазон изменений 200,9–217,8 тыс. кл./л.

По нашим данным, ситуация коренным об-разом меняется с середины 80-х гг. В очень со-леных водоемах, подвергшихся антропогенно-му воздействию, существенно увеличивается роль нитчатых зеленых водорослей. В оз. Ку-лундинском сырая биомасса *Cladophra fracta* и *Cl. glomerata* достигает в периоды максималь-

ной вегетации 818–1324 г/м³, изменяясь по от-дельным акваномам от 185 до 4460 г/м³. В бо-лее засоленных водах оз. Кучукского по видо-вому разнообразию и численности также доми-нируют зеленые водоросли – 55 и 46 % соответ-ственно. Однако это в основном мелкоклеточ-ные формы. Численность растительных клеток увеличивается по сравнению с предшествую-щим периодом исследований на порядок – 2,4–28,5 млн кл./л.

Биологическая трансформация органического вещества

Особенности продуцирования и разложе-ния органических веществ в соляных экосисте-мах прослежены на примере Кулундинского и Кучукского озер (см. таблицу).

Обе экосистемы в последние годы функцио-нируют как гиперевтрофные, обеспечивая ва-ловую первичную продукцию органического

Характеристика функциональных и структурных показателей биоты соляных озер

Показатель	Единица измерения	Оз. Кучукское			Оз. Кулундинское		
		1996 г.	1997 г.	1998 г.	1995 г.	1996 г.	1998 г.
<i>1. Функциональные показатели</i>							
Валовая продукция, А	гС/м ²	328,02	699,21	529,38	528,95	1029,27	854,17
Стабильность, S _ф	гС/м ²	0,31	0,53	0,68	0,49	0,76	0,62
Чистая продукция, Р	гС/м ²	68,14	428,40	250,92	292,03	389,89	326,76
Стабильность, S _ф	гС/м ²	0,60	0,33	0,52	0,66	0,72	0,68
Деструкция, R		259,88	270,81	278,46	236,92	639,38	527,41
Стабильность, S _ф	гС/м ²	0,22	0,53	0,47	0,37	0,59	0,48
Отношение А/R		1,26	2,58	1,90	2,23	1,61	1,61
Стабильность, S _ф		0,12	0,36	0,20	0,18	0,48	0,36
Среднее, S _ф		0,31	0,43	0,46	0,42	0,63	0,53
<i>2. Структурные показатели</i>							
Численность:							
Яйца зимние	тыс. шт./м ³	446,8	34,2	5,4	105,4	57,3	112,2
Стабильность, S _с		0,59	0,70	0,86	0,99	0,90	0,91
Яйца летние	тыс. шт./м ³	32,6	34,7	7,07	41,3	16,5	84,2
Стабильность, S _с		0,89	0,86	0,94	0,64	0,80	0,99
Рачки	тыс. шт./м ³	53,2	0,72	0,017	3,81	126,9	100,3
Стабильность, S _с		0,69	0,71	0,99	0,77	0,96	0,75
Среднее, S _с		0,71	0,75	0,93	0,80	0,88	0,88
Биомасса:							
Яйца зимние	г/м ³	2,87	0,141	0,025	0,53	0,227	0,596
Стабильность, S _с		0,70	0,73	0,85	0,98	0,89	0,99
Яйца летние	г/м ³	0,220	0,122	0,047	0,177	0,074	0,379
Стабильность, S _с		0,98	0,99	0,74	0,64	0,85	0,92
Рачки	г/м ³	2,05	1,06	0,006	2,18	16,33	19,08
Стабильность, S _с		0,81	0,72	0,99	0,62	0,98	0,59
Среднее, S _с		0,83	0,81	0,86	0,74	0,90	0,83

вещества не ниже 300 гС/м². Независимо от фазы водности для большинства соляных экосистем свойственна несбалансированность между образованием и деструкцией органического вещества, когда превалируют продукционные процессы. При автотрофной сукцессии органические вещества в соляных экосистемах переходят в осадок, формируя значительные запасы иловых и грязевых отложений.

Известно, что гомеостази́с экосистемы формируется определенным состоянием функциональных и структурных характеристик биоты. И чем стабильнее они в пространстве и времени, тем устойчивее экосистема к внешним возмущающим воздействиям [10]. Ответные реакции первичного звена трофической цепи, как правило, определяют изменения последующих. Колебания внешних факторов среды в последние годы привели к снижению стабильности функциональных показателей существования экосистем (продукция, деструкция и их соотношение).

Адекватность состояния мезопланктона экологическому состоянию озер

Средние значения стабильности структурных показателей S_c жаброногого рачка значительно ниже соответствующих значений стабильности функциональных характеристик S_f , так как максимальный показатель стабильности $S_{f,c} = 0$ наблюдается при поддержании постоянства признака и приобретает значение $S_{f,c} > 0$ при регистрируемых изменениях переменной [10]. Действительно, средние многолетние значения стабильности функциональных характеристик озер укладываются в размах колебаний 0,40–0,52, тогда как стабильность структурных характеристик – 0,81–0,83. Главной мишенью воздействия антропогенных и природных факторов обычно становятся первичные продуценты органического вещества. Однако экосистемы выдерживают возмущающие антропогенные и природные воздействия до тех пор, пока сохранены функции первичных продуцентов и критические уровни антропогенных факторов для других составляющих экосистемы не могут

быть выше, чем для фитопланктона или макрофитов [11]. Значения функциональных показателей первичного продуцирующего звена соляных экосистем в 1,6–2,0 раза устойчивее структурных показателей зоопланктона. Поэтому в настоящее время нет оснований считать исследованные экосистемы деградационными даже при значительном снижении продукционной функции замыкающего звена трофической цепи – жаброногого рачка артемии.

Соляные озера юго-востока Западной Сибири, занимая депрессивные участки равнины, наиболее заметно отражают изменения пережитого прошлого и современные преобразования обширного природно-территориального комплекса. Достаточно отметить, что водосборные бассейны лимнических систем соляного типа включают значительную часть Приобского плато, Кулундинской равнины и предгорий Алтая. Исследования, проводимые с конца 70-х гг., доказывают изменение трофического статуса большинства водоемов вследствие антропогенной нагрузки, активизируемой геолого-геоморфологическими и климатическими факторами. Евтрофирование соляных водоемов проявляется через изменение не только гидрохимических параметров, но и количественных и качественных характеристик продукционно-деструкционных процессов всех основных компонентов и сообществ соляных экосистем.

Комплексные мониторинговые исследования, включающие гидрохимические, гидрологические и гидробиологические наблюдения, способны с достаточно высоким уровнем репрезентативности оценить экологическое состояние водоемов, степень их устойчивости, наметить пути и разработать необходимые природоохранные мероприятия для улучшения или "консервации" данной стадии сукцессии

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Дзэнс-Литовский, Соляные озера СССР, Л., Недра, Ленингр. отд-ние, 1968.
2. Д. И. Абрамович, Воды Кулундинской степи, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1960.
3. В. А. Гребенников, В. Д. Ветчинкин, В. М. Коршунова, Лечение кожных заболеваний на озере Большое Яровое, Барнаул, Алт. книжн. изд-во, 1977.
4. В. Н. Адаменко, Климат и озера, Л., Гидрометеониздат, 1985.

5. И. В. Ивлева, Биологические основы и методы массового культивирования кормовых беспозвоночных, М., Наука, 1969.
6. А. С. Константинов, Общая гидробиология, М., Высш. шк., 1979.
7. В. В. Хлебович, Критическая соленость биологических процессов, Л., Наука, Ленинград. отд-ние, 1974.
8. А. М. Никаноров, Е. В. Посохов, Гидрохимия, Л., Гидрометеиздат, 1985.
9. Н. Н. Воронихин, Изв. Гл. Ботан. сада, 1929, 149–162.
10. В. Д. Федоров, С. А. Соколова, *Гидробиол. журн.*, 1973, **9**: 2, 11–14.
11. Ю. А. Израэль, Экология и контроль состояния природной среды, М., Гидрометеиздат, 1984.

Ecological Monitoring of Salt Aquatic Systems under Antropogenic Load

Z. I. NOVOSELOVA, V. A. NOVOSELOV

Comprehensive studies of salt lakes of the Altai: Krai were carried out in the 1 st quarter of the current century. Since then, the water bodies have been studied only in connection with separate problems associated with development of natural resources. The main hydroecosystems involved in industrial production of non-ore minerals (lakes Kuchukskoye, Burlinskoye, Malinovoye), purveyance of medicinal mud, and artemia bioresource (lakes В. Yarovoe, Kulundinskoye) must become the main bases for ecological monitoring.