

# Гиперсоленые озера Западной Сибири как среда обитания галофильного рачка артемии

Канд. биол. наук Л.И. Литвиненко – зав. лабораторией промысловых беспозвоночных ФГУП «Госрыбцентр»

Галофильный рачок артемия – космополит. Он распространен по всему миру от морских водоемов до континентальных ультрагалинных озер. На *рис. 1* показано местонахождение артемии в мире (с нашими данными по Сибири).

Ареал распространения артемии в Западной Сибири, в пределах Российской Федерации, находится между 51–56° с.ш. и 61–82° в.д. и приурочен к аридной зоне степи и, частично, лесостепи. С запада ареал ограничен восточными склонами Уральского хребта, с востока – западными склонами Алтайских гор и Салаирского кряжа; с юга примыкает к казахскому ареалу зоны полупустыни (*рис. 2*). Вся эта обширная территория расположена в южной части Обь-Иртышского бассейна. На восточной границе этого ареала, в предгорьях Западных Саян, в Хакасии и Туве, также имеются несколько водоемов с артемией.

Климат рассматриваемого региона континентальный. Почвы представлены выщелоченными черноземами, солончаками и солонцами. Для растительности характерно чередование березово-осиновых «колков» и ковыльно-разнотравных степных участков, в настоящее время большей частью распаханных. На засоленных почвах растительный покров беден и состоит в основном из типчака, полыни и кермека.

Фонд артемиевых озер Западной Сибири весьма значителен и насчитывает около 80 озер. По последним данным, общая акватория артемиевых озер составляет 1570 км<sup>2</sup>. Только в Алтайском крае насчитывается более 30 озер с площадью 1180

км<sup>2</sup>. На порядок меньше акватории в Курганской (125 км<sup>2</sup>), Омской (92) и Новосибирской (99), Тюменской (52,9) и Челябинской (17,1 км<sup>2</sup>) областях [Литвиненко и др., 2004]. Площадь четырех артемиевых озер, расположенных в Хакасии и Туве, составляет 14,4 км<sup>2</sup>.

По происхождению артемиевые озера региона являются континентальными водоемами, образованными в результате эрозий, выдувания, карстовых просадок и провалов. Соляные озера юга Западной Сибири занимают бессточные котловины в осадочных породах как новейшего происхождения, так и третичного периода. Верхние пласты пород представлены песками, супесями и суглинками; подстилающие – глинами, содержащими гипс и другие соли.

По донным отложениям озера делятся на иловые, самосадочные и корневые. Для иловых характерно отсутствие в отложениях мирабилита, галита и природной соды. Поверхностная иловая рапа этих озер по концентрации не достигает насыщения ни одним из периодических минералов. К этой группе принадлежит большинство исследованных озер. В самосадочных озерах происходит новосадка периодического минерала, появляющегося и вновь растворяющегося в течение одного годового цикла (например, оз. Эбейты). Корневые озера имеют помимо новосадки еще и отложения старосадки и корневых солей (например, оз. Кучукское и Танатар, имеющие корневую залежь, соответственно, мирабилита и природной соды).

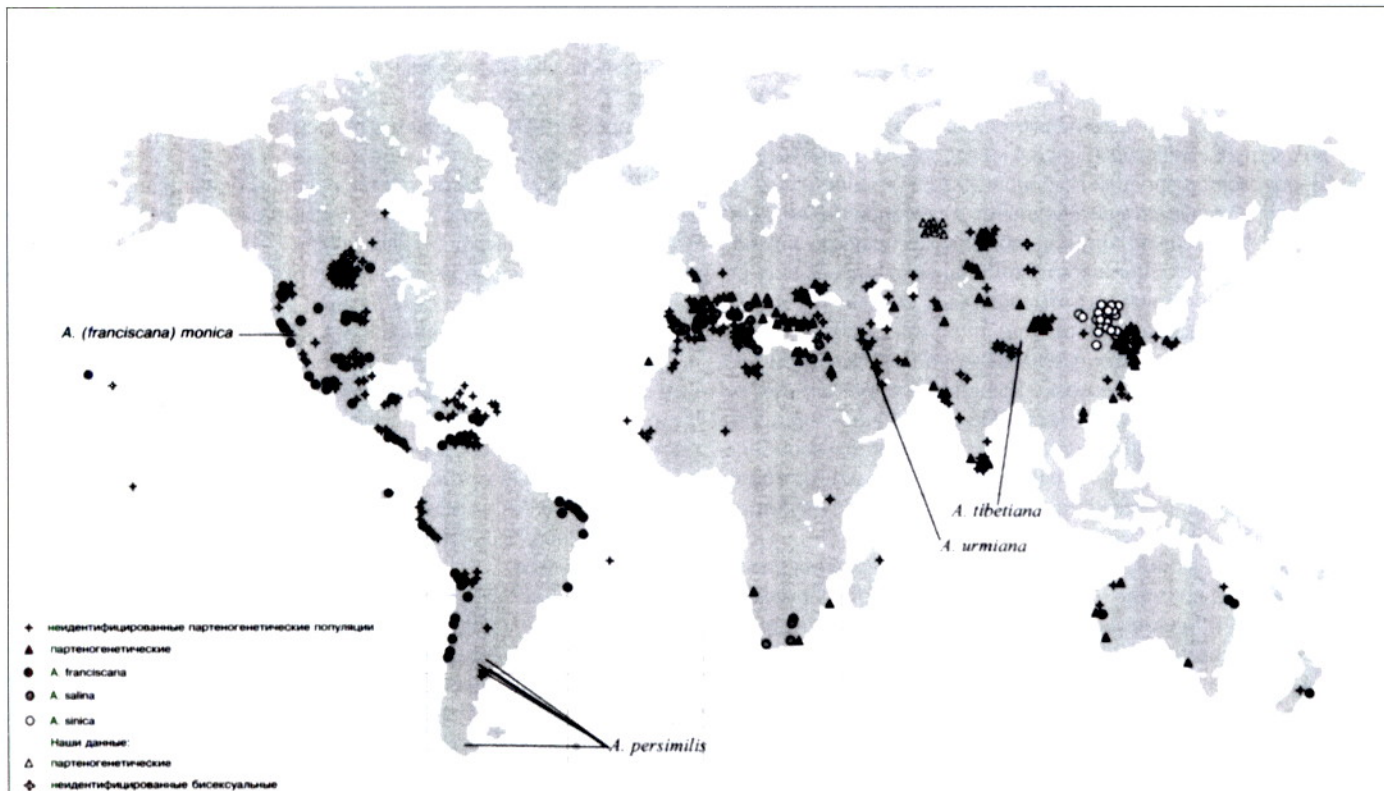


Рис. 1. Распространение артемии в мире [Van Stappen, 2002; наши данные по Сибири]



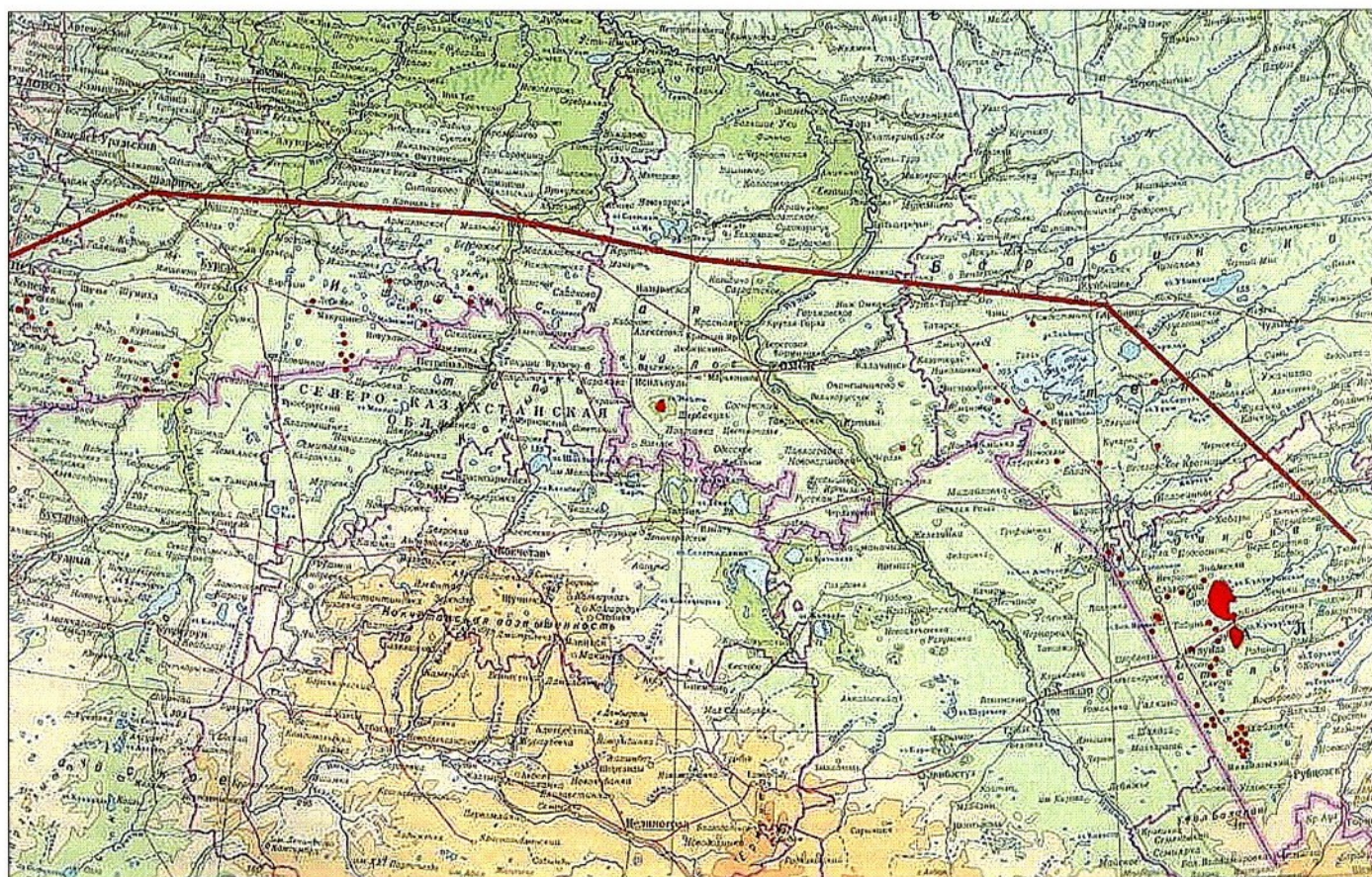


Рис. 2. Сибирский ареал распространения артемии (в пределах России)

Акватория соляных озер различна: от нескольких гектаров до десятков тысяч гектаров. Берега низкие, местами заболоченные, литораль песчаная, но с илистыми наносами. В ультрагалинных озерах при наличии рачков артемии иловые отложения достигают большой мощности и представлены в виде вязкой грязи интенсивно-черного цвета с запахом сероводорода. Такие отложения, как правило, используются в бальнеологических целях (например, оз. Медвежье в Курганской области).

Крупных по площади (более 10 км<sup>2</sup>) – 20 озер, средних (1–10 км<sup>2</sup>) – 47; все остальные водоемы являются малыми, с площадью менее 1 км<sup>2</sup>. К глубоководным (более 4 м) водоемам можно отнести одно озеро, озер со средней глубиной (2–3,5 м) – шесть; все остальные озера являются мелководными, с глубиной менее 2 м.

Артемиевые озера по типу водообмена, как правило, являются бессточными. В питании континентальных соляных озер решающее значение имеют как атмосферные осадки, так и воды поверхностного и подземного стоков.

Количество артемиевых озер в регионе и их акватория находятся в зависимости от условий водности и могут заметно колебаться в отдельные годы. Наиболее неустойчив гидрологический режим малых озер, которые могут быть местом временного обитания артемии. В таких озерах рачки артемии в отдельные годы погибают, в связи с распреснением, а популяции сохраняются в виде цист.

Абиотические и биотические условия существования рачков были изучены на примере 47 артемиевых озер, расположенных в Тюменской (2), Курганской (24), Челябинской (7), Омской (2) областях, Алтайском крае (8), Хакасии (2), Туве (2 озера). Исследования проведены за период с 1995 по 2004 г.

**Физико-химическая характеристика озер**

Артемиевые озера региона по сумме ионов относятся к гипергалинным водоемам. Общая минерализация воды в летне-осенний период колебалась от 28 до 371 г/л. Предельный уро-

вень минерализации, при которой встречались рачки: 34 г/л (оз. Сетово) – 299 г/л (Эбейты). В озерах Сиверга и Таузаткуль артемия отсутствовала при минерализации 28–30 мг/л, а в оз. Эбейты – при минерализации 371 г/л.

По составу ионов рассолы артемиевых озер подразделяются на три класса:

- хлоридные (преобладают соли NaCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>);
- сульфатные (с высоким содержанием сернокислых солей Na<sup>+</sup> и Mg<sup>2+</sup>);

- карбонатные (содовые, с относительно высокой концентрацией HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>).

К первому классу относятся рассолы большинства артемиевых озер, в том числе самые крупные озера региона: Большое Яровое, Кулундинское, Медвежье.

Сульфатные озера составляют около 10 % от всех артемиевых озер. К типичным сульфатным озерам принадлежат Эбейты, Куртамышское и три озера в Хакасии (Тус, Чедер, Первомайское). Эти озера отличаются наличием в воде значительно-го содержания легкорастворимых солей, которые кристаллизуются при охлаждении рапы в осенне-зимний период и выпадают в осадок при испарении воды летом.

Карбонатные артемиевые озера среди изученных озер не встречены. В Алтайском крае, по данным В.П. Соловова и Т.Л. Студеникиной [1990], к ним относятся озера системы Танатар и оз. Петуховское.

По химическому составу большинство озер относятся к водоемам с водой хлоридного класса, натриевой группы, III типа. Ряд озер имеет II тип воды, одно озеро – I тип. У двух озер обнаружен сульфатный класс и у двух – переменный II–III тип воды.

Соотношение главных ионов в воде модельных озер показано на рис. 3. Хлоридные анионы в озерной рапе большинства озер занимают доминирующее положение. Их концентрация на порядок превышает содержание сульфатных анионов, занимающих вторую позицию в анионном составе. Максимальная концен-



трация хлоридных анионов в отдельные годы в некоторых озерах достигала величин 121–185 г/л. Максимальная концентрация сульфатных анионов наблюдалась в оз. Эбейты и составляла 88–107 г/л. Карбонатные и гидрокарбонатные ионы, по сравнению с другими анионами, имеют незначительные концентрации. Эти ионы в концентрации более 1,0 г/л содержатся в воде только 11 % обследованных озер; вода остальных озер имеет более низкую их концентрацию.

В катионном составе озерной рапы преобладают ионы натрия и калия, суммарная их концентрация за период наблюдений в разных озерах была в пределах от 2,6 до 123 г/л. Магний занимает вторую позицию в катионном составе рапы озер. Диапазон изменчивости величин магниевых катионов составил 0,06–20 г/л. Содержание ионов кальция, являющихся необходимым элементом жизнедеятельности ракообразных, в воде большинства артемиевых озер находится на достаточно высоком уровне (от 40 до 2876 мг/л) и не лимитирует их потребности. Из-за высокого содержания ионов магния вода является очень жесткой (общая жесткость – 84–1740 мг-экв/л).

Кислотность озерной рапы в большинстве водоемов находится в слабощелочной области шкалы (рН 7,5–8,5). О содержании органического вещества в воде озер судили по величинам перманганатной окисляемости (ПО) и биохимического потребления кислорода в течение 5 сут. (БПК<sub>5</sub>). Диапазон изменения величины ПО в артемиевых озерах довольно широк – от 4,0 до 160,0 мгО<sub>2</sub>/л. Величины БПК<sub>5</sub>, как правило, были в пределах 2–8 мгО<sub>2</sub>/л.

Содержание биогенных элементов в артемиевых озерах в большинстве случаев было незначительным и колебалось от аналитического нуля до сотых – десятых долей мг/л и лишь в некоторых случаях достигало концентрации 1 мг/л и выше. Концентрация азота нитритов, как правило, была на уровне тысячных и сотых долей мг/л. Содержание нитратного азота, основ-

ного источника биогенов для растений, в большинстве проб было на уровне сотых и десятых долей мг/л и находилось в пределах от 0 до 0,35 мг/л. Фосфаты имеют в воде минеральных озер концентрации от 0 до 4,44 мг/л. В большинстве озер их содержание не превышает десятые доли мг/л. Общее железо было в пределах от 0,01 до 2,5 мг/л.

Годовая динамика солевого состава воды характеризуется значительным снижением всех ионов в период с марта по апрель (в среднем в 3 и более раз), быстрым восстановлением концентрации всех ионов к маю-июню и относительным постоянством химического состава от июня до февраля. Небольшое повышение величины минерализации наблюдается в конце августа – начале сентября (или реже – зимой), после чего вновь происходит снижение этого показателя за счет разбавления осенней дождевой водой и садкой солей, связанной с температурными изменениями.

Анализ данных по мониторингу за 2000 – 2004 гг. показал характерную динамику отклонения значений солености с января по декабрь от среднесезонных показателей (рис. 4). Из рисунка видно, что значения солености наиболее приближены к среднесезонным в июле-августе и ноябре, наименее – в апреле.

### Особенности термического режима озер

Гипергалинные артемиевые озера отличаются большой амплитудой годовой температуры поверхностной рапы: от минус 15 до плюс 36°С (в сумме – 51°С). В течение вегетационного сезона, который для рачков артемии начинается, как правило, весной, во второй половине апреля, при прогреве озерной рапы до 4–5°С, и заканчивается осенью (при охлаждении до 4–5°С), в первой декаде октября (в мелководных озерах) и начале ноября (в относительно глубоководных), среднемесячные значения температуры менялись от 5,6 до 24,4°С (абсолютный размах – от 4 до 36°С).

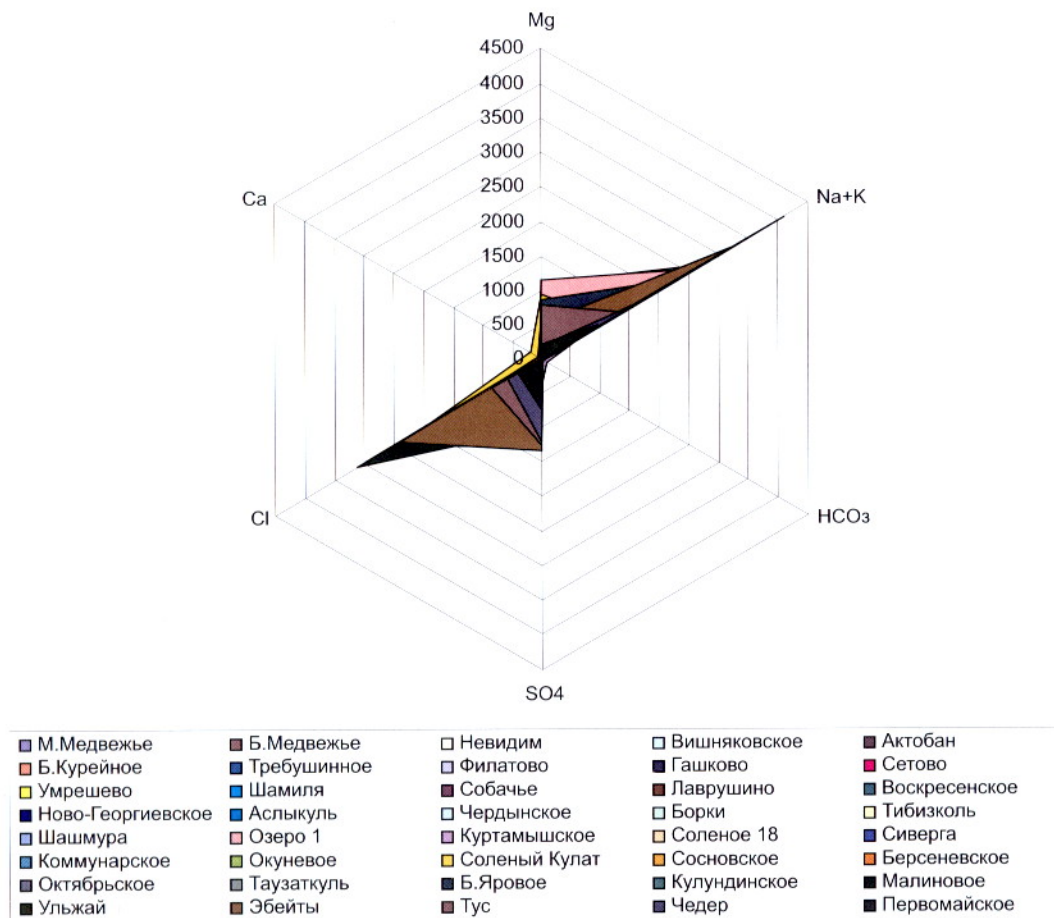


Рис. 3. Схематическое изображение ионного состава воды всех обследованных озер (в мг-экв/л)



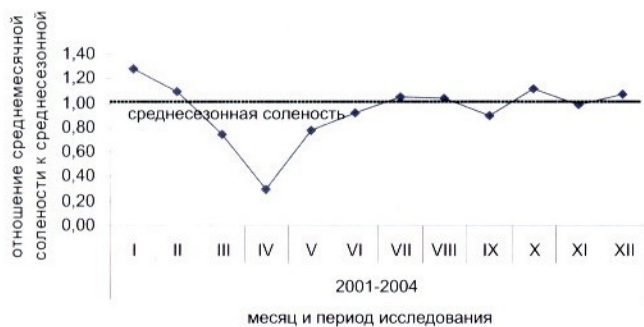


Рис. 4. Изменение солености воды в течение года относительно среднесезонного значения (по данным мониторинга 2000 – 2004 гг.)

Неблагоприятный период популяция артемии переживает в виде цист. В течение этого периода, который тянется с ноября по март, среднемесячная температура воды находится в пределах от плюс 5,0 до минус 10,2° С. Самая низкая зафиксированная температура отмечена в феврале и январе: минус 14 и минус 15° С соответственно.

В Западно-Сибирском регионе количество дней с температурой рапы выше 4–5°С составляет в среднем 180, в пересчете на градус-дни – около 2800–3400.

На рис. 5 представлена годовая динамика среднемесячных значений температуры воды за период с 2000 по 2003 г. во всех исследованных мелководных озерах. Из рисунка видно, что для всех озер в целом период существования рачков артемии, ограниченный нижним температурным пределом 4–5°С, длится от середины апреля до конца октября. Период оптимальных для роста и размножения температур приходится на три летних месяца. В 2000 г. температура воды в озерах в июне достигла верхнего предела существования рачков артемии.

**Кислородный режим**

Содержание растворенного в воде кислорода в артемиевых озерах находилось в пределах от 0,8 до 15,0 мг/л. Максимальное насыщение воды кислородом отмечалось в апреле (7,2–15,0 мг/л). Снижение содержания кислорода до 0,8 мг/л наблюдалось при прогреве рапы до 36°С (июнь 2000 г.), а на отдельных станциях – даже до 0 мг/л. Как правило, содержание растворенного в воде кислорода не опускалось ниже 1,3–2,7 мг/л в течение всего года. На рис. 6 показано, что содержание растворенного в воде кислорода в течение всего года было выше нижней границы нормального существования рачков (1,5 мгО<sub>2</sub>/л). Среднемесячные значения растворенного в воде кислорода в целом за сезон в исследованных озерах были близки к оптимальным для развития и размножения рачков и находились в пределах от 4,0 (в июле) до 7,6 (в апреле) мгО<sub>2</sub>/л.

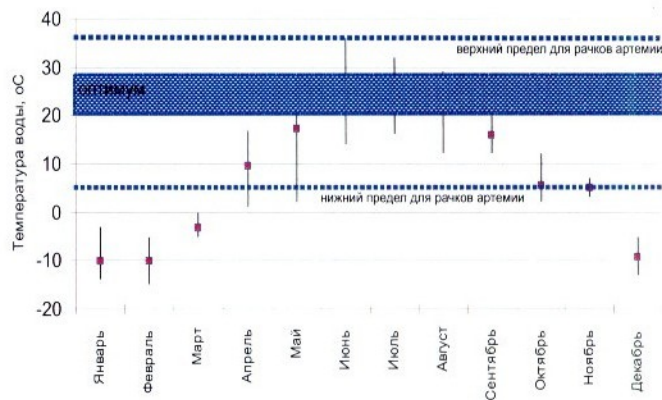


Рис. 5. Годовая динамика среднемесячных значений температуры в исследованных озерах за период с 2000 по 2004 г.

**Фитопланктон**

Видовой состав фитопланктона соляных озер чрезвычайно беден. За 10 лет исследований в составе фитопланктона озер выявлено 58 видов и разновидностей, относящихся к шести отделам водорослей. В экологическом отношении фитопланктон представлен в основном солоноватоводным комплексом широко распространенных истинно- и факультативно-планктонных видов, относящихся к β-мезосапробам. Планктон каждого водоема насчитывал в целом за сезон от одного до 15 видов (в среднем – 6,06±0,31; CV = 41,7; n = 64). Индекс видового разнообразия (по Шеннону) был низким и находился в пределах от 0,11 до 2,7 бит/мг. Основная часть видов встречалась только в одном-двух озерах (62 % от всего списочного состава) или в трех-четырех озерах (7 %). Только четыре вида (*Amphora coffeaeformis*, *Nitzschia angustata*, *Dunaliella salina*, *Dunaliella viridis*) были встречены во всех озерах, что позволяет отнести эти виды к галобионтам.

В количественном отношении в фитопланктоне всех озер преобладали, как правило, зеленые водоросли, второе и третье место занимали, соответственно, диатомовые и синезеленые водоросли. За период исследований наблюдаемая биомасса фитопланктона в озерах была в пределах от 0,003 до 13,23 мг/л. Среднесезонные значения биомассы фитопланктона находились в пределах от 0,01 до 11,38 мг/л; численности – от 0,02 до 32,29 млн кл/л. В целом за вегетационный сезон биомасса фитопланктона редко превышала 1 мг/л, что позволяет отнести эти озера к олиготрофным водоемам. Исключение составили только несколько озер, которые по шкале трофности можно отнести к мезотрофным и даже эвтрофным водоемам. Однако значения биомассы фитопланктона в этих озерах весьма нестабильны и могут различаться в разные годы на порядок.



Отбор планктонных и бентосных проб на соленом озере



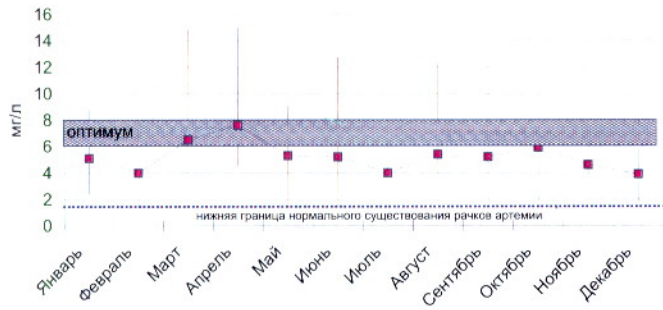


Рис. 6. Годовая динамика среднеемесячных значений растворенного в воде озера кислорода за период с 2000 по 2004 г.

Годовая динамика биомассы фитопланктона представлена двумя максимумами (весной и осенью) и минимумом в середине лета, что можно объяснить влиянием нескольких факторов. Максимальная плотность фитопланктона весной обусловлена отсутствием потребителей фитопланктона и поступлением биогенов с водосборной площади. Последующее резкое снижение плотности водорослей, вероятно, связано с появлением в планктоне эффективных фильтраторов – рачков артемии. Осенний подъем биомассы фитопланктона приходится на период гибели рачков артемии.

Исследования фитопланктона в поздне-осенний и зимний периоды показали, что, несмотря на снижение температуры воды (до минус 15°С), уменьшение светового дня и образование ледового покрова (в январе-феврале), вегетация микроводорослей продолжается. Доминирующими видами в зимнем фитопланктоне озер были *Dunaliella salina*, *Dunaliella viridis*, *Schroederia setigera*, *Amphora coffeaeformis* и *Lingbya limnetica*.

**Зоопланктон**

За период исследований в планктоне соленых озер было обнаружено 13 видов: шесть видов ракообразных (жаброногих – два, веслоногих – три, ветвистоусых – один) и три вида личинок насекомых, три вида коловраток и один вид нематод. Все встречающиеся виды относятся либо к галобионтам и галофилам (*Artemia*, *Cletocamptus retrogressus*, *Brachionus plicatilis*, лич. *Ephydra*), либо к видам с широкой экологической валентностью и встречаются как в пресных, так и в соленых водоемах.

С увеличением солености воды число видов достоверно снижалось (рис. 7), повышалась роль артемии в сообществе и уменьшалась доля в общей биомассе других видов (рис. 8). Вероятно, соленость выше 70–80 г/л является барьером для развития всех сопутствующих видов.

**Зообентос**

Зообентос озер был представлен личинками мухи-береговушки семейства *Ephydriidae* и цистами артемии. Личинки мух-береговушек присутствовали в каждой третьей пробе в количестве от

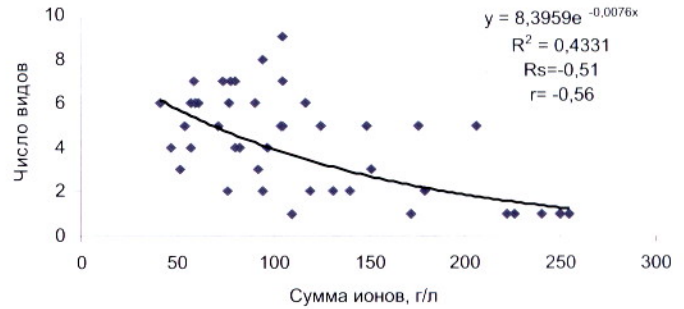


Рис. 7. Зависимость числа видов зоопланктона от солености (по усредненным данным по каждому озеру за все годы исследований)

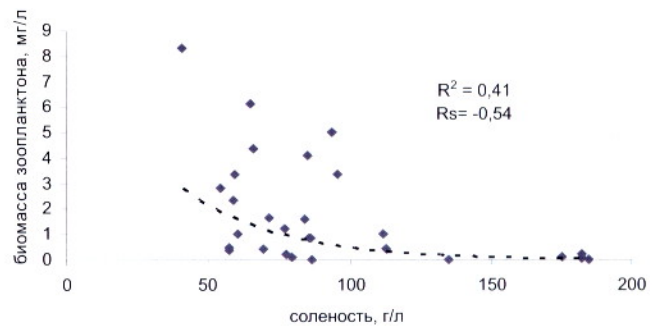


Рис. 8. Соотношение между биомассой зоопланктона (без артемии) и величиной солености воды (по среднееголетним данным)



Береговые выбросы цист



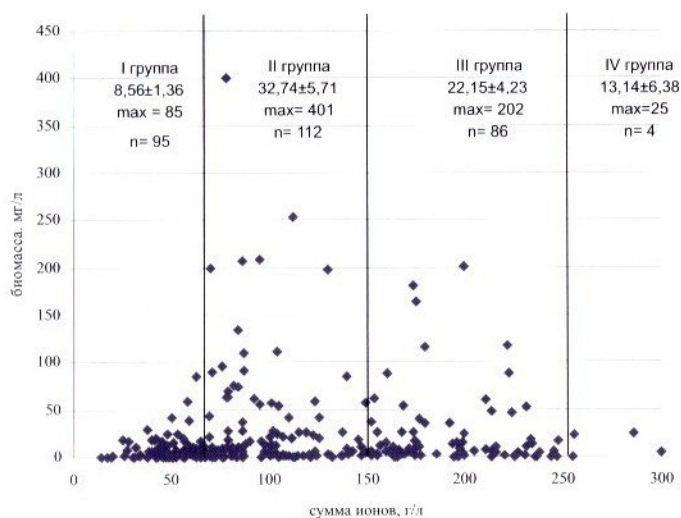


Рис. 9. Биомасса артемии в озерах с разной соленостью



На снимках: взрослые рачки

10 до 200 шт/м<sup>2</sup>. Донные цисты артемии встречались во всех озерах почти круглый год, их отсутствие было отмечено лишь в отдельных водоемах в зимние и весенние месяцы. Средняя по станциям численность цист была в пределах от 0 до 18,6 млн шт/м<sup>2</sup>; биомасса – от 0 до 186 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, вода большинства исследованных артемиевых озер является высоко минерализованной, хлоридного класса, натриевой группы, III типа и характеризуется высокой жесткостью, связанной, в основном, с присутствием магниевых катионов, слабощелочной или щелочной реакцией среды, высоким содержанием органических веществ, наличием достаточного для фотосинтеза количества биогенов. Вегетационный сезон артемии длится от середины апреля до конца октября, при этом период оптимальных для роста и размножения температур приходится только на три летних месяца. Содержание кислорода, как правило, выше нижней границы нормального существования рачков. Фитопланктон соленых озер беден по видовому составу, имеет низкую плотность; в экологическом отношении представлен галофилами и мезогалолами; по размерному составу относится к наннопланктону. Зоопланктон артемиевых озер весьма беден; число видов находится в обратной зависимости от уровня минерализации воды. При солености более 150 ‰ фауна озер представлена, как правило, одним видом: жаброногим рачком – артемией.

**Litvinenko L.I.**

**Hyper salty lakes of Western Siberia as the habitat of brine shrimp Artemia**

The area of Artemia distribution in Western Siberia within the limits of the Russian Federation is between 51 - 56° NL and 61 - 82° EL and is attached to arid climatic zones of steppe and, in part, forest-steppe. From the west the area is limited by the east slopes of the Ural ridge, from the east – by the western slopes of the Altay and Salair mountains, from the south it adjoins on the Kazakh area of semidesert zone. The fund of Artemia lakes in Western Siberia is rather significant and totals about 80 lakes. According to the latest information, the general water area of Artemia lakes makes 1570 km<sup>2</sup>. There are 20 large lakes (the area more than 10 km<sup>2</sup>), 47 medium-sized lakes (1-10 km<sup>2</sup>), all other reservoirs are small with the area less than 1 km<sup>2</sup>. There is 1 deep lake (over 4 m), 6 lakes of medium depth (2-3,5 m), all other lakes are shallow with depth less than 2 m.

Abiotic and biotic conditions of shrimp existence were investigated in 47 Artemia lakes located in Tyumen area (2), Kurgan (24), Chelyabinsk (7), Omsk (2), Altai territory (8), Hakasia (2), Tuva (2 lakes). The researches were carried out in 1995 - 2004.

Artemia lakes of the region may be classified as hyper salty lakes by the sum of ions. The general water mineralization in the lakes in the autumn varied from 28 to 371 g/l. The minimal mineralization level for shrimps is 34 g/l (Setovo) and maximal is 299 g/l (Ebejty).

Chemical compound of the lakes is characterized by high water hardness due to presence of magnesia ions, alkaline reaction and high contents of organic substances.

The vegetative season of Artemia shrimps, limited by minimal temperature (4-5°C), lasts from the middle of April to the end of October, that makes 180 days, about 2800-3400 degree-days. The temperature optimum for growth and development falls to three summer months. The content of oxygen, as a rule, is higher than the minimal permissible level for Artemia shrimps. Phytoplankton of salty lakes is poor on species composition, its density is low, it is presented by halophytes and halobionts, by the size structure it belongs to nanoplankton. Plankton of Artemia lakes is rather poor, the number of species is in inverse relation with water mineralization. If salinity exceeds 150 ‰, the fauna is presented, as a rule, by one species – brine shrimp Artemia.