

Выручалкина Т.Ю.¹, Фролов А.В.²

БАТИМЕТРИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОЛЬШОГО ЯШАЛТИНСКОГО ОЗЕРА В МОДЕЛИРОВАНИИ ВОДНО-СОЛЕВОГО БАЛАНСА ВОДОЕМА

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты работ по созданию батиметрической модели гипергалинного Большого Яшалтинского озера. Основой модели Большого Яшалтинского озера послужили данные экспедиционных исследований, проведенных весной 2014 г. Озеро представляет собой мелководный водоем, с преимущественно отмелями, чрезвычайно топкими берегами. Это обстоятельство сильно затрудняет проведение работ по определению площади зеркала озера и прибрежных глубин. Поэтому соответствующие наблюдения нами проводились с борта судна на воздушной подушке. Натурные данные использовались для создания цифровой модели местности, включая озеро. Цифровая модель местности создана по результатам оцифровки топографических карт с помощью программного пакета **Golden Software (Didger 5, Surfer 12)**. В результате совместной обработки экспедиционных данных и цифровых карт впервые получена батиметрическая модель озера, морфометрические и батиметрические зависимости озера, построена батиметрическая карта. Полученная модель чаши озера была использована для моделирования водного баланса и солености вод Большого Яшалтинского озера. Выполнен анализ продуктивности галофильного рачка *Artemia salina* в зависимости от температуры воды и солености Большого Яшалтинского озера. Показано, что продуктивность рачка *A. salina* зависит от солености вод озера. Рассмотрены три варианта управления режимом водного баланса озера. Показано, что оптимальная соленость, обеспечивающая комфортное существование озерного зоо- и фитопланктона и максимальную продуктивность *A. salina*, поддерживается таким режимом подачи воды в Большое Яшалтинское озеро, при котором вода в озеро дополнительно подается в феврале-марте и июне-сентябре.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: батиметрические и морфометрические характеристики озера, водно-солевой баланс, уровень, динамико-стохастическое моделирование.

¹ Институт водных проблем Российской академии наук, ул. Губкина, д. 3, 119333, Москва, Россия, e-mail: vyruchi@list.ru

² Институт водных проблем Российской академии наук, ул. Губкина, д. 3, 119333, Москва, Россия, e-mail: anatolyfrolov@yandex.ru

Tatiana Yu. Vyruchalkina¹, Anatoliy V. Frolov²

BATHYMETRIC AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE BOLSHOE YASHALTINSKOE LAKE IN THE MODELING OF RESERVOIR'S WATER-SALT BALANCE

ABSTRACT

This article presents the results of works on creation of bathymetric models hyperhaline Bol'shoe Yashaltinskoe Lake. The basis of the model of the Bol'shoe Yashaltinskoe Lake was the data of expedition research on the lake, conducted in the spring of 2014, as well as the results of the creation of a digital model of the terrain, including the lake. Digital terrain model created by digitizing topographic maps using the software package Golden Software (Didger 5, Surfer 12). As a result of the joint processing of forwarding data and digital maps for the first time obtained bathymetric model of the Bol'shoe Yashaltinskoe Lake, its morphometric and bathymetric dependence, built bathymetric map. A method is proposed for modeling lake water balance and water salinity based on geographic analogy and an algorithm for constructing a stochastic vector autoregression process. On the basis of new data on morphometry and bathymetry of the lake, realizations of the simulated series of lake water balance components and water salinity variations over 1000 years with a monthly step are constructed. Analysis of productivity halophilic crustacean *Artemia salina*, depending on water temperature and salinity Bol'shoe Yashaltinskoe Lakes are made. It is shown that the productivity of crustacean *A. salina* depends on the salinity of the lake waters. Three options for managing the lake's water balance regime are considered. It is shown that for maintenance of optimum salinity which will provide comfortable existence of a lake zoo- and phytoplankton and the maximum productivity of *A. salina* it is a regime of water supply to the Bol'shoe Yashaltinskoe Lake, in which water is additionally supplied to the lake in February-March and June-September.

KEYWORDS: bathymetric and morphometric characteristics of the lake, water-saltbalance, level, dynamic-stochastic modeling.

ВВЕДЕНИЕ

Большое Яшалтинское озеро относится к особой группе соляных озер с очень высокой соленостью вод – так называемым гипергалинным озерам, соленость которых превышает 36 ‰, достигая примерно 450 ‰. Б. Яшалтинское озеро входит в число наиболее крупных лиманных озер в пределах Кумо-Манычской впадины в пойме реки Западный Маныч – территории бывшего морского пролива, соединявшего Азовское и Каспийское моря.

Интерес к соляным озерам издавна был обусловлен разработкой минеральных богатств – добычей растворов солей – различных химических соединений – из озерных вод и донных отложений и погребенных растворов (хлориды, сульфаты и пр.). Существенно использование лечебных илов солевых озер в бальнеологии. В последние десятилетия внимание к солевым озерам связано с возможностью промышленного разведения в этих озерах некоторых видов галофильной фито- и зоофауны.

¹ Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Gubkina str., 3, 119333, Moscow, Russia, e-mail: vyruchi@list.ru

² Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Gubkina str., 3, 119333, Moscow, Russia, e-mail: anatolyfrolov@yandex.ru

Водоемы с повышенной минерализацией традиционно рассматриваются как местообитания живых организмов, способных к жизни в экстремальных условиях существования. Лимитирующее влияние высокой солености способствует формированию специфического биоценоза, структура которого значительно отличается от пресноводной биоты. Следует отметить, что исследования гипергалинных озер проводились почти всегда в отношении их сравнительного описания, гидрохимических и геологических характеристик [Егоров, Космаков, 2010]. В последнее время активно изучаются экологические особенности этих водоемов [Бамбеева и др., 2009; Литвиненко, 2009; Иванова и др., 2012; Овчинников и др., 2015]. Озерная гидрология, за исключением урвненного режима, до сих пор затрагивалась в значительно меньшей степени. Наблюдений за водным балансом таких озер – притоком пресных вод, испарением, осадками – оказалось очень мало, в этом отношении наиболее изученным считается Большое Соленое озеро (США) [Great Salt Lake..., 1980].

Большое Яшалтинское озеро имеет значительный рекреационно-лечебный и хозяйственный потенциал вследствие наличия лечебных илово-сульфидных грязей и возможности промышленного разведения водорослей *Spirulina salina*, *Dunaliella salina* и галофильного рачка *Artemia salina*. Однако из-за разбора поверхностного притока на сельскохозяйственные цели к 2014 г. озеро практически пересохло. Восстановление озера возможно было только при по подаче воды из отдаленного источника. Для определения необходимого объема притока воды в озеро авторам потребовалось решить задачу моделирования (именно моделирования, не «восстановления», ибо последнее просто невозможно) основных составляющих водного баланса – поверхностного притока, осадков и испарения, отвечающих естественному гидрологическому режиму озера. Необходимым условием для моделирования водного баланса озера является наличие информации о батиметрических и морфометрических характеристиках чаши озера. До проведения нами экспедиционных исследований существовали только данные отдельных наблюдений, ни батиметрия, ни морфометрия озера не были изучены с необходимой полнотой. Данных о систематических многолетних наблюдениях за составляющими водного баланса озера не существует, что приводит к необходимости моделирования этого баланса, для чего совершенно необходима информация о чаше озера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

До последнего времени сведения о морфометрии и батиметрии озера имели фрагментарный характер. Например, площадь зеркала не имела привязки к уровню воды в озере, измерения глубины озера были единичными. Некоторые сведения о колебаниях уровня озера приведены в [Бамбеева и др., 2009]. Согласно этой статье, в многоводный 2002 г. озеро не пересыхало, глубина озера весной была 50–60 см. В засушливый 2003 г. весной глубина равнялась 10–20 см, причем озеро полностью пересохло в августе.

Более подробная информация о морфометрических и батиметрических характеристиках озера была получена при проведении наших экспедиционных исследований весной 2014 г. Следует отметить, что Б. Яшалтинское озеро представляет собой мелководный водоем с преимущественно отмелями, чрезвычайно топкими берегами. Это обстоятельство сильно затрудняет определение площади зеркала озера и прибрежных глубин. Поэтому соответствующие наблюдения проводились нами с борта судна на воздушной подушке.

Съемка линии уреза воды и измерения глубины озера были проведены по нескольким разрезам. Координаты точек наблюдений определялись с помощью навигатора GARMIN eTrex30. Точки определения координат располагались, по возможности, относительно равномерно, с учетом рельефа местности, реже – на прямолинейных участках береговой линии, чаще – на извилистых участках. Всего было проведено определение координат 39 точек. Глубины озера измерялись на трех разрезах, всего в 38 точках. Также был выполнен отбор

проб воды по всей акватории озера. Дополнительно были привлечены карты окружающей местности масштаба 1 : 25 000. С помощью программ Digger 5, Surfer 12 пакета Golden Software произведена оцифровка карт и построена модель местности, включая озеро.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки полученных натуральных и цифровых данных впервые была построена батиметрическая карта озера (рис. 1). Озеро имеет четко выраженные крутые берега и совершенно плоское дно с едва заметным понижением к центру.

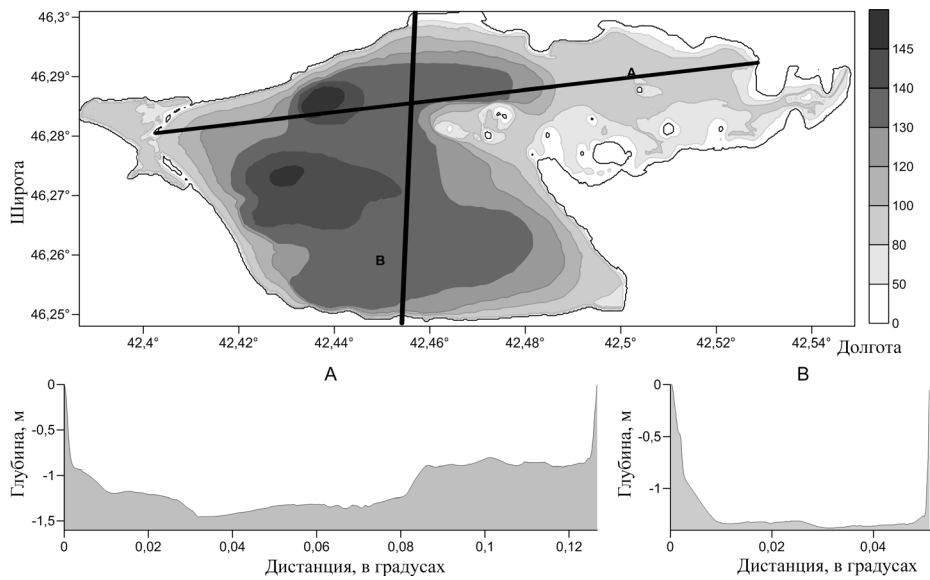


Рис. 1. Батиметрическая карта Большого Яшалтинского озера (вверху), глубины указаны в см, и профили (внизу)
Fig. 1. Bathymetric map of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake (above), depths are indicated in cm, and profiles (below)

Площадь водного зеркала при наблюдавшейся во время съемки максимальной глубине озера 1 м оказалось равной 38 км². Зависимости площади зеркала и объема чаши озера от уровня воды, построенные по данным наблюдений, приведены на рис. 2.

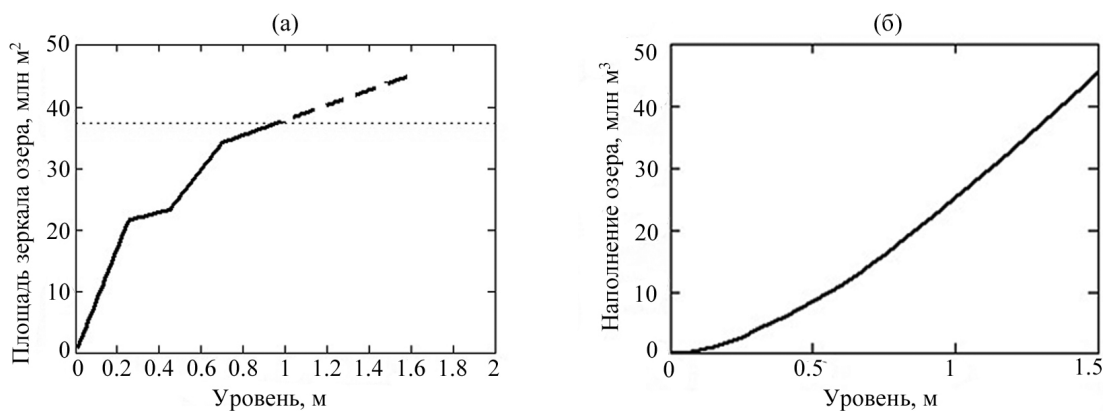


Рис. 2. Морфометрические зависимости для Большого Яшалтинского озера:
а – между площадью зеркала озера и уровнем; б – между наполнением и уровнем
Fig. 2. Morphometric relationships for Bol'shoe Yashaltinskoe Lake:
a – between the surface area of the lake and the level; b – between the filling and the level

Аналитически зависимость площади зеркала озера от уровня $F(h)$ выражается формулой:

$$F(h) = \begin{cases} 86.0 h + 0.05, & 0 < h < 0.25 \\ 8.9 h + 19.3, & 0.25 \leq h < 0.45 \\ 45.4 h + 3.8, & 0.45 \leq h < 0.70 \\ 12.2 h + 25.7, & h \geq 0.7 \end{cases} \quad (1)$$

где уровень h измеряется в метрах, площадь зеркала озера $F(h)$ – в км². Зависимость наполнения озера от уровня $W(h)$ легко находится как интеграл

$$W(h) = \int_0^h F(z) dz,$$

где $F(z)$ определяется зависимостью (1).

Соли поступают в озеро посредством вымывания дождевыми, тальными и грунтовыми водами морских солевых грунтовых отложений. Значение озера – экономическое, бальнеологическое, экологическое – существенно зависит от того, насколько солевой режим будет благоприятным для образования лечебных илово-сульфидных грязей и разведения аквакультур. Озерный зоо- и фитопланктон служит пищей для многочисленных видов водоплавающих птиц.

Согласно имеющимся данным, соленость вод озера обычно имеет сильно выраженный сезонный ход. Весенний половодный приток в озеро распресняет озерную воду, соленость уменьшается, летом сильное испарение в сочетании с малым поступлением пресной воды в озеро приводит к увеличению солености. Например, весной 2003 г. соленость была 223 г/л, летом соленость увеличилась до 441 г/л. Многолетние вариации солености оцениваются диапазоном от 78 до 447 ‰ [Бамбеева и др., 2009]. По нашим измерениям, в феврале 2014 г. соленость равнялась 242 ‰. С использованием полученных нами морфометрических характеристик озера (рис. 2) и измерений солености, полученных в феврале–апреле 2014 г., была построена зависимость солености вод озера от его наполнения (рис. 3).

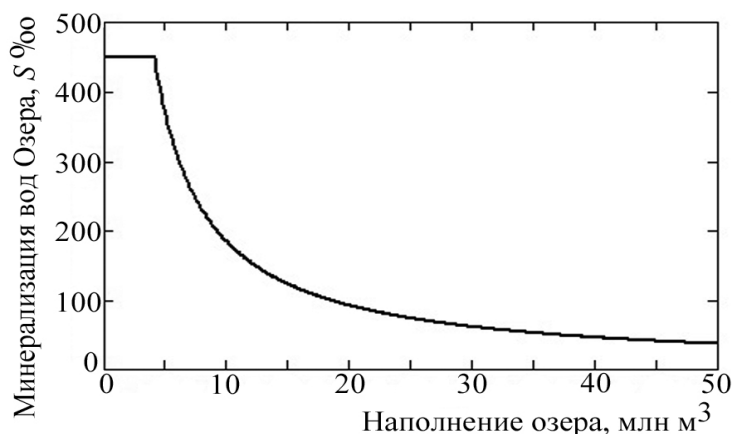


Рис. 3. Соленость воды Большого Яшалтинского озера как функция наполнения озера

Fig. 3. The salinity of the water Bol'shoe Yashaltinskoe Lake as a function of the filling of the lake

Аналитически эта зависимость имеет вид:

$$S(W) = \begin{cases} \frac{1.84 \cdot 10^9}{W}, & \text{если } \frac{1.84 \cdot 10^9}{W} \leq 450 \\ 450, & \text{если } \frac{1.84 \cdot 10^9}{W} > 450 \end{cases}$$

где соленость S выражается в промилле, ‰, наполнение W (объем воды в озере) измеряется в m^3 , $W > 0$. В соответствии с этой зависимостью соленость вод Б. Яшалтинского озера имеет максимум 450 ‰, что согласуется с зафиксированным максимумом 447 ‰. Предполагается, что при солености, большей 450 ‰, происходит выпадение солей в осадок.

Испарение с гипергалинных водоемов существенно зависит, при прочих равных, от солености воды. Увеличение солености ведет к уменьшению испарения, повышение температуры воды увеличивает испарение [Фролов и др., 2018]. В весенние месяцы испарение увеличивается из-за повышения температуры воздуха и распреснения озерных вод паводным притоком, в осенний период уменьшение испарение вызывается уменьшением температуры воздуха и увеличением солености вод озера.

Для стохастического моделирования испарения использовались ряды наблюдений за температурой воздуха по г. Элисте (1944–2011 гг.) как наиболее репрезентативному, по совокупности соображений, пункту. Предполагалось, что эти данные, в совокупности с данными по осадкам, отражают с достаточной точностью климатические и погодные условия для района Б. Яшалтинского озера.

Для стохастического моделирования составляющих водного баланса озера – осадков и испарения – использовался метод, основанный на представлении совокупности взаимно коррелированных величин в виде линейного преобразования некоторого набора некоррелированных величин.

В рамках проведенных расчетов для водного баланса озера был получен массив $DataPE$ смоделированных месячных величин осадков p_t^i и испарения e_t^i :

$$DataPE = \begin{pmatrix} p_1^1 & p_1^2 & \dots & p_1^{12} \\ p_2^1 & p_2^2 & \dots & p_2^{12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{1000}^1 & p_{1000}^2 & \dots & p_{1000}^{12} \\ e_1^1 & e_1^2 & \dots & e_1^{12} \\ e_2^1 & e_2^2 & \dots & e_2^{12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{1000}^1 & e_{1000}^2 & \dots & e_{1000}^{12} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где i – номер месяца, $i = 1, 2 \dots 12$, t – годы, $t = 1, 2 \dots N$, N – длина моделируемого ряда. Размерность матрицы $DataPE$ 2000×12 , т. е. были получены смоделированные 1000-летние ряды месячных величин осадков и испарения по акватории озера.

Приток в озеро в естественном режиме проходил, главным образом, весной, в период весеннего половодья в течение 30–50, иногда – около 10 дней. Основное поступление воды в озеро осуществлялось рекой Джалгой (точнее, ее западной ветвью). Послепаводный период характеризуется очень малым стоком или вообще полным его отсутствием. Небольшой приток происходит осенью вследствие выпадения дождей. Никаких данных наблюдений за притоком в озеро не имеется, поэтому приток был смоделирован как остаточный член водного баланса озера, т. е. как разность между испарением и осадками по озерной акватории с учетом изменения объема воды в озере.

Сезонные и многолетние колебания солености вод озера рассчитывали по уравнению водного баланса водоема, используя смоделированные ряды притока в озеро, осадков и испарения, с учетом морфометрических характеристик озера (рис. 2) рассчитывались колебания наполнения озера. Далее использовалась зависимость солености воды озера от его наполнения (рис. 3). В [Фролов и др., 2016, 2018] подробно представлены результаты

моделирования многолетних изменений месячных величин солености вод озера, притока в него, а также осадков и испарения. Сравнение с имеющимися натурными данными (см., например, [Бамбеева и др., 2009]) показывает, что модель удовлетворительно воспроизводит колебания солености вод озера.

В современных условиях пополнение озера возможно в управляемом режиме. Подача воды может быть осуществлена из близлежащих источников. При этом «цена» изъятий воды из источников в различные месяцы года может существенно различаться. Слово цена поставлено в кавычки, поскольку в РФ стоимость воды пока еще не определена, однако понятно, что в вегетационный период спрос на воду и, следовательно, «цена» воды выше, чем, например, в холодное время года. В связи с этим представляет практический интерес исследование возможности «закачки» в озеро воды в холодное время, с тем чтобы, однако, естественное развитие популяции жаброногого рачка не было нарушено.

Жаброногие раки рода артемия (*Artemia* sp.) являются одним из важнейших ресурсных видов водных беспозвоночных. Жизненный цикл рачка *Artemia salina* определяется соленостью и температурой вод озера. Вегетационный сезон *Artemia* на Большом Яшалтинском озере начинается при прогреве воды в среднем до плюс 18...20 °С [Бамбеева и др., 2009; Иванова и др., 2012]. Наиболее благоприятной соленостью воды для популяции *Artemia* Большого Яшалтинского озера считается диапазон 80–140 ‰ [Бамбеева и др., 2009; Иванова и др., 2012]. При увеличении солености до 200 ‰ существенно возрастает продолжительность периода созревания рачка, снижается его метаболизм и, как следствие, скорость его размножения. При солености более 300 ‰ отложенные рачком цисты (яйца) переходят в диапаузу и перестают вылупляться до наступления более низких значений солености, наблюдающихся уже на следующий год. Соленость выше 400 ‰ приводит к уменьшению популяции рачка. Самым оптимальным условием для инкубации цист *Artemia* является минерализация 20 и 40 г/л, при ней отмечается максимальный процент выклева науплиусов – 73 и 75 %, соответственно. Тем самым при регулировании поступления пресной воды в озеро можно в определенной степени воздействовать на жизненный цикл *Artemia salina*. Так, по некоторым данным, промышленное разведение *A. salina* на Большом Соленом озере (США) имеет управляемый характер. Например, к концу лета 2003 г. Большое Яшалтинское озеро полностью пересохло. Высокие температура воды (до 35 °С) и минерализация рапы (441 г/л) негативно отразились на развитии популяции рачка *A. salina* L., науплиусы и взрослые особи погибли, оставив цисты на возрождение популяции. В связи с этим весной 2004 г. производилась подача пресной воды (0,42 г/л) из р. Егорлык по каналу РР-4 (Ростовский распределитель). За счет пополнения воды величина минерализации озера в течение всего сезона оставалась постоянной (78–80 г/л), без значительных колебаний. При этом отмечено наибольшее количество самок, численность которых достигала $73,33 \times 10^2$ экз./м³, что существенно выше показателей как за 2003 г. (на 49 % больше), так и за последующие 2005–2010 гг. [Бамбеева и др., 2009]. На рис. 4 представлена зависимость биомассы рачка и его численности от минерализации воды озера. Согласно [Бамбеева и др., 2009], весной оптимальной соленостью условно можно считать 50–170 ‰, летом – 50–250 ‰.

Различные графики подачи воды в озеро могут иметь следствием различный характер воздействия на минерализацию вод озера. Другими словами, эффективность подачи воды зависит от распределения по времени поступления воды в озеро. Под эффективностью подачи в данном случае понимается обеспечение некоторой оптимальной минерализации, например, не более 170 ‰ весной и 250 ‰ летом. Если график подачи воды удерживает в течение вегетационного периода рачка (с начала апреля до конца августа – начала сентября) минерализацию воды не более указанных величин, то такой график считается оптимальным.

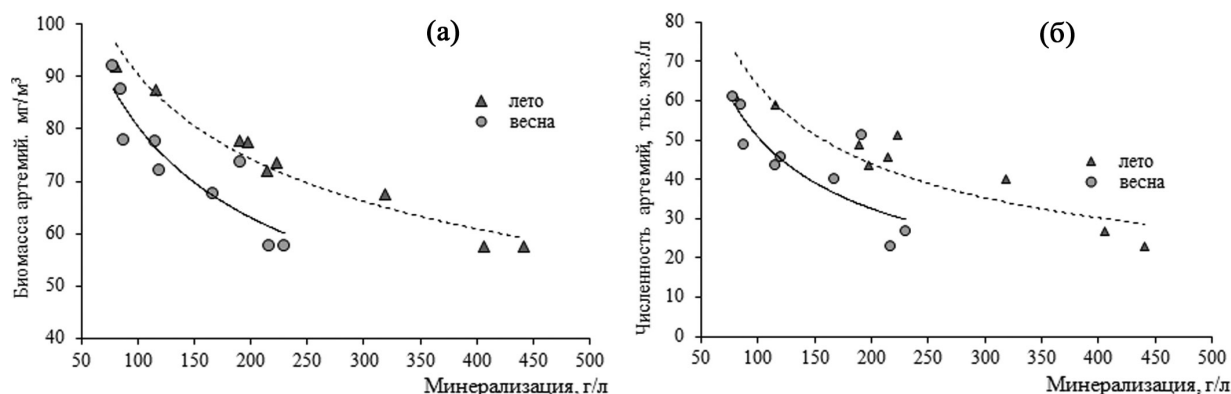


Рис. 4. Зависимость годовой биомассы и численности артемия от минерализации весной и летом (по: [Бамбеева и др., 2009])
Fig. 4. Dependence of annual biomass and population of *Artemia salina* on salinity in spring and summer (according [Бамбеева и др., 2009])

Были рассмотрены следующие варианты подачи воды в озеро:

- Вариант 1 – равномерная внутригодовая подача, т. е. ежемесячно в озеро подается одинаковое количество воды, независимо от месяца;
- Вариант 2 – подача воды акцентирована на холодные периоды (январь-февраль и ноябрь-декабрь);
- Вариант 3 – максимальная подача производится в теплый период (июнь-сентябрь).

На рис. 5 представлен внутригодовой ход минерализации вод озера для каждого из трех вариантов подачи воды. Как следует из рис. 5, все три варианта подачи воды практически обеспечивают равенство минерализации в начале и конце года, однако ее внутригодовой ход существенно различен. При равномерной подаче воды минерализация достигает величины 192 ‰ летом, при втором варианте подачи – 288 ‰, что в рамках принятых предположений несколько выше верхней границы. Третий вариант графика подачи воды в озеро обеспечивает удержание минерализации вод озера в пределе 100–150 ‰. При некоторой корректировке второй вариант может быть рекомендован к практическому использованию.

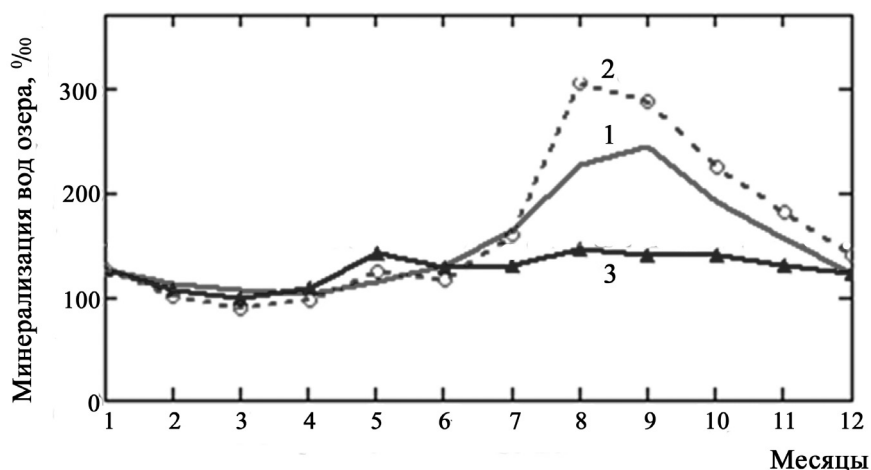


Рис. 5. Внутригодовой ход минерализации вод Большого Яшалтинского озера для трех вариантов подачи воды (1–3)
Fig. 5. The intra-annual salinity of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake for the three options of water flow (1–3)

ВЫВОДЫ

На основе проведенных экспедиционных и камеральных исследований впервые построена батиметрическая карта Большого Яшалтинского озера. Впервые получены морфометрические и батиметрические зависимости между уровнем и площадью зеркала водоема, между уровнем и наполнением водоема, зависимость минерализации вод озера от наполнения озера. Наличие этих зависимостей в сочетании с методом географической аналогии и стохастическим моделированием векторного авторегрессионного процесса позволило провести моделирование водно-солевого баланса Б. Яшалтинского озера с месячным интервалом.

Были смоделированы 1000-летние реализации составляющих водного баланса озера – месячных величин осадков, испарения и притока, а также среднемесячных величин солености вод озера. Рассмотрены три варианта подачи воды в озеро. Показано, что оптимальная соленость, обеспечивающая комфортное существование озерного зоо- и фитопланктона и максимальную продуктивность *Artemia*, поддерживается таким режимом подачи воды в Большое Яшалтинское озеро, при котором вода в озеро дополнительно подается в феврале-марте и июне-сентябре.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 14-17-00740.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Russian Foundation for Humanities, project No 14-17-00740.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бамбеева В.И., Бакташева Н.М., Дедова Э.Б. Комплексная характеристика биоценоза гипергалинного водоема Калмыкии // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Серия Естественные науки. 2009. № 3. С. 20–24.
2. Егоров А.Н., Космаков И.В. География и природопользование соленых озер. М.; Новосибирск: Наука, 2010. 183 с.
3. Иванова В.И., Кониева Г.Н., Бакташева Н.М. Влияние экологических факторов на рост и продуктивность артемии в гипергалинных водоемах Калмыкии // Естественные науки. 2012. № 3. С. 51–55.
4. Литвиненко Л.И. Жабронogie рачки рода *Artemia Leach*, 1819 в гипергалинных водоемах Западной Сибири (география, биоразнообразие, экология, биология и практическое использование): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Пермь, 2009. 48 с.
5. Овчинников А.С., Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Иванова В.И. Особенности экосистем соленых водоемов Калмыкии // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 4 (40). С. 10–21.
6. Фролов А.В., Выручалкина Т.Ю., Саркисян С.Г. Моделирование водно-солевого баланса Большого Яшалтинского озера // Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика). Материалы V Междунар. конф. молодых ученых. 2016. С. 388–395.
7. Фролов А.В., Выручалкина Т.Ю., Саркисян С.Г. Динамико-стохастическое моделирование водно-солевого баланса Большого Яшалтинского озера // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, № 3. С. 235–243.
8. Great Salt Lake. A Scientific, Historical and Economic Overview / Ed. by J. Wallace Gwinn. Utah department of natural resources. Bulletin 116. 1980. 400 p.

REFERENCES

1. *Bambeeva V.I., Baktasheva N.M., Dedova E.B.* Complex characteristics of biocenosis of Kalmykia hyperhaline water body. *Vestnik Mos. gos. obl. un. Seria Estestvennye nauki.* 2009. No 3. P. 20–24 (in Russian).
2. *Egorov A.N., Kosmakov I.V.* Geography and nature management of salt lakes. M.; Novosibirsk: Nauka, 2010. 183 p. (in Russian).
3. *Frolov A.V., Vyrychalkina T.Yu., Sarkisyan S.G.* Modeling Water-Salt Balance of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake. *Vodnye resursy: izuchenie i upravlenie (limnologicheskaya shkola-praktika).* Materialy V megdunarodnoi konferencii molodyh uchenyh, 2016. P. 388–395 (in Russian).
4. *Frolov A.V., Vyrychalkina T.Yu., Sarkisyan S.G.* Modeling Water and Salt Balance of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake. *Water Resources.* 2018. V. 45, No 3. P. C. 235–243 (in Russian).
5. Great Salt Lake. A Scientific, Historical and Economic Overview / Ed. by J. Wallace Gwinn. Utah department of natural resources. Bulletin 116. 1980. 400 p.
6. *Ivanova V.I., Konieva G.N., Baktasheva N.M.* The influence of environmental factors on the growth and productivity of *Artemia* in the hyperhaline waters of Kalmykia. *Estestvennye nauki.* 2012. No 3. P. 51–55 (in Russian).
7. *Litvinenko L.I.* Zhabronogie crustaceans of the genus *Artemia* Leach, 1819 in hyperhaline waters of Western Siberia (geography, biodiversity, ecology, biology and practical use): Auctoref. Dissertacii na soiskanie uchenoi stepeni doktora biologicheskikh nauk. Perm, 2009. 48 p. (in Russian).
8. *Ovchinnikov A.S., Borodychev V.V., Dedova E.B., Ivanova V.I.* The features of the ecosystem saline lakes of Kalmykia. *Izvestiya Nignevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie.* 2015. No 4 (40). P. 10–21 (in Russian).