

УДК 592

**Н. В. Аладин<sup>1\*</sup>, В. И. Гонтарь<sup>1</sup>, А. Н. Егоров<sup>2</sup>, Л. В. Жакова<sup>1</sup>,  
И. С. Плотников<sup>1</sup>, А. О. Смуров<sup>1</sup>**

## **БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ — КРИТИЧЕСКОЕ МОРЕ**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт Российской академии наук  
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. дом 1

\*E-mail: nikolai.aladin@zin.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт озероведения Российской академии наук  
Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, дом 9

Соленость воды – один из ведущих абиотических факторов внешней среды, воздействующих на гидробионтов. Многочисленные исследования позволили установить для океанических вод критический характер биологического действия солености — 5–8 ‰. Впервые на критическое воздействие этого диапазона солености обратил внимание А. Ремане, изучавший изменение числа видов в градиенте солености в Балтийском море. В начале 1960-х гг. В. В. Хлебович сформулировал основные положения теории критической солености. О. Кинне сконцентрировал свое внимание на барьерной функции критической солености по отделению низко минерализованных вод от морских и предложил для нее название «хорогалиникум». На критический характер воздействия соленостного диапазона 5–8 ‰ на биоразнообразие указывали и другие исследователи. Эта первая барьерная соленость или  $\alpha$ -хорогалиникум представляет собой универсальный барьер, при переходе через который меняется ряд существенных биологических свойств на разных уровнях биологической интеграции. Она является верхней границей распространения пресноводной фауны и нижней границей распространения морской фауны, а также является ядром солоноватых вод. В конце 1980-х гг. была сформулирована развивающая теорию критической солености концепция относительности и множественности зон барьерных соленостей, согласно которой: 1) зоны барьерных соленостей относительны, с одной стороны, степени совершенства осморегуляторных способностей гидробионтов, а с другой — химическому составу вод; 2) существует несколько зон барьерных соленостей, и они неравноценны по своей значимости. Кроме первой барьерной солености существует еще несколько: вторая или  $\beta$ -хорогалиникум (22–26 ‰), третья или  $\gamma$ -хорогалиникум (45–50 ‰) и четвертая или  $\delta$ -хорогалиникум (0.5–2 ‰) — верхняя граница распространения стеногалинных пресноводных видов. В Каспии и Арале — крупных континентальных соленых водоемах — ионный состав солей отличается от океанического, и положение зон барьерных соленостей смещено в сторону более высоких значений, их диапазоны расширены. Всю гидросферу можно условно подразделить на соленостные зоны, границы которых определены с позиции концепции относительности и множественности зон барьерных соленостей: 4 основные — пресноводная (0–2 ‰), солоноватоводная (5–8 ‰), совпадающая с зоной  $\alpha$ -хорогалиникума, морская (26–40 ‰) и гипергалинная (от 50 ‰) (значения для океанических вод), и 3 переходные между ними. Границы между соленостными зонами находятся в пределах барьерных соленостей. Морская соленостная зона занимает примерно 95 % поверхности гидросферы. Все эти барьерные солености и соленостные зоны есть в Балтийском море. В настоящее время оно является единственным морским водоемом, где солоноватоводная зона и, соответственно, зона критической солености или  $\alpha$ -хорогалиникума занимает более половины площади его акватории, что делает его непохожим на все остальные моря, и его можно назвать критическим морем. Только здесь все 4 барьерные солености занимают гигантские акватории. Балтийское море молодое, в ледниковый период оно было холодноводным озером. Оно получило связь с Мировым Океаном недавно, и сохраняет много озерных черт. Это море полузакрытое, мелкое, его воды имеют плавный градиент солености. Биоразнообразие Балтики относительно низкое, однако оно по своему уникально и нуждается в специальных мерах для его сохранения.

**Ключевые слова:** Балтийское море, критическая соленость, барьерная соленость, соленостная зона

## BALTIC SEA — A CRITICAL SEA

N. V. Aladin<sup>1\*</sup>, V. I. Gontar<sup>1</sup>, A. N. Egorov<sup>2</sup>, L. V. Zhakova<sup>1</sup>, I. S. Plotnikov<sup>1</sup>, A. O. Smurov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences

1, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia

\*E-mail: nikolai.aladin@zin.ru

<sup>2</sup>Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences

9, ul. Sevastyanova, St. Petersburg, 196105, Russia

Water salinity is one of the major abiotic environmental factors influencing hydrobionts. Many studies have allowed ascertaining for oceanic waters the critical nature of salinity 5-8‰ biological effect. A. Remane, who studied the change in the number of species in the salinity gradient in the Baltic Sea, drew attention to the critical impact of this salinity range for the first time. In the early 1960s V.V. Khlebovich formulated the main theses of the theory of critical salinity. O. Kinne concentrated his attention on the barrier function of critical salinity in separating low mineralized waters from marine waters and proposed the name "horohalnicum" for it. Other researchers also pointed to the critical nature of the impact of the salinity range 5–8 ‰ on biodiversity. This first barrier salinity or  $\alpha$ -horohalnicum is a universal barrier, in passing over which a number of significant biological properties change at different levels of biological integration. It is the upper limit of the distribution of freshwater fauna and the lower boundary of the distribution of marine fauna, and is also the core of brackish waters. In the late 1980s the concept of the relativity and plurality of barrier salinity zones was formulated, according to which: 1) zones of barrier salinities are relative on the one hand to the degree of perfection of hydrobionts osmoregulatory capacities and on the other hand to the water chemical composition; 2) there are several zones of barrier salinities, and they are of unequal importance. Along with the first barrier salinity there are several more: the second or  $\beta$ -horohalnicum (22–26 ‰), the third or  $\gamma$ -horohalnicum (45–50 ‰) and the fourth or  $\delta$ -horohalnicum (0.5–2 ‰) — the upper limit of stenohaline freshwater species distribution. In the Caspian and Aral Seas — large continental saline water bodies — the ionic composition of salts differs from the oceanic one, and the position of the barrier salinity zones is shifted towards higher values and their ranges are wider. The entire hydrosphere might be conditionally divided into salinity zones. Their boundaries are determined from the perspective of the concept of relativity and plurality of barrier salinity zones: there are 4 main zones — freshwater (0–2 ‰), brackish water (5–8 ‰) coinciding with the  $\alpha$ -horohalnicum zone, marine (26–40 ‰) and hyperhaline (50 ‰ and above) (the values are given for oceanic waters) — and 3 transitional between them. The boundaries between the salinity zones are within the barrier salinities. The marine salinity zone occupies about 95% of the hydrosphere surface. All these barrier salinities and salinity zones exist in the Baltic Sea. At present it is the only marine water body where the brackish water zone and, accordingly, the zone of critical salinity or  $\alpha$ -horohalnicum occupies more than half of its water area, which sets it apart of all other seas, and it can be called a critical sea. Only in Baltic Sea all 4 barrier salinities occupy giant water areas. The Baltic Sea is young; in the glacial epoch it was a cold-water lake. It has been connected with the World Ocean recently and preserves many lacustrine features. This sea is semi-enclosed, shallow; its waters have a smooth salinity gradient. Biodiversity of the Baltic Sea is relatively low but it is unique in its own way and needs special measures to preserve it.

**Keywords:** Baltic Sea, critical salinity, barrier salinity, salinity zone

Соленость воды — один из ведущих абиотических факторов внешней среды, воздействующих на гидробионтов. Выяснение особенностей отношения водных животных и растений к этому фактору важно для понимания как аутэкологических, так и синэкологических закономерностей.

Впервые о критическом воздействии на гидробионтов диапазона океанической солености 5–8 ‰ написал в первой половине XX века выдающийся немецкий зоолог А. Ремане (рис. 1). Он назвал его альтер-минимум [6].

В начале 1960-х гг. В. В. Хлебович сформулировал основные положения теории критической солености, которая в дальнейшем была подробно изложена в его монографии «Критическая соленость биологических процессов» (1974 г.) [9].

Идеи А. Ремане и В. В. Хлебовича нашли продолжение в трудах немецкого ученого О. Кинне. Он, говоря о критической солености,

сконцентрировал свое внимание на ее барьерной функции по отделению низко минерализованных вод от морских и предложил название хорогалиникум (от хорео — разделять) [4, 11]. На критический характер воздействия соленостного диапазона 5–8 ‰ на биоразнообразие также указывали исследователи из Швеции [3], Эстонии [10], и других европейских стран [7].

Данная соленость представляет собой универсальный барьер, при переходе через который меняется ряд существенных биологических свойств на разных уровнях биологической интеграции, и она является верхней границей распространения пресноводной фауны и нижней границей распространения морской фауны. Эта первая барьерная соленость или  $\alpha$ -хорогалиникум считается зоной стыка двух основных типов водной фауны — морской и пресноводной, она также является ядром солоноватых вод [2, 6, 9].

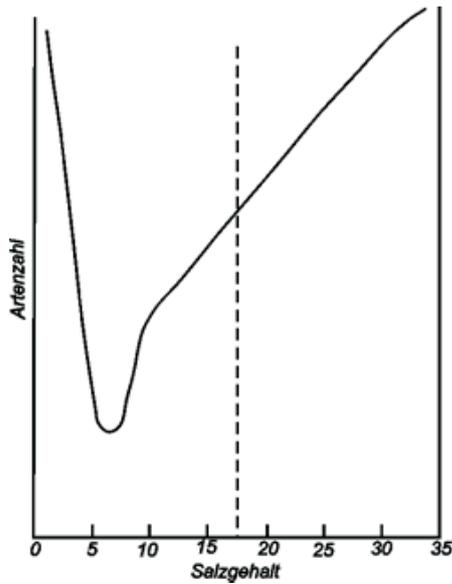


Рис. 1. Изменение числа видов в градиенте солености в Балтийском море (из: [6]).

Более 20 лет тому назад в рамках школы В. В. Хлебовича была сформулирована концепция относительности и множественности зон барьерных соленостей. Ее основные положения были опубликованы в «Журнале общей биологии» [1]. Были высказаны два основных положения:

1. Зоны барьерных соленостей относительны, с одной стороны, степени совершенства осморегуляторных способностей гидробионтов, а с другой — химическому составу вод.
2. Зон барьерных соленостей несколько, и по своей значимости они неравноценны.

Кроме первой барьерной солености существует еще несколько неравнозначных барьерных соленостей (рис. 2) [2, 5]. В океанических водах второй барьерной солености, или  $\beta$ -хорогалиникуму соответствует соленость 22–26‰. Третьей барьерной солености, или  $\gamma$ -хорогалиникуму соответствует соленость 45–50‰. Еще одна барьерная соленость, или  $\delta$ -хорогалиникум, явля-

ется верхней границей распространения стеногалинных пресноводных видов и ей соответствует диапазон солености 0.5–2‰. В Каспии и Арале — крупных континентальных соленых водоемах положение зон барьерных соленостей смещено в сторону более высоких значений. Кроме этого, их диапазоны расширены. Воды этих континентальных водоемов метаморфизированы, т. е. ионный состав солей в них отличен от океанического, в особенности в водах Аральского моря.

Всю гидросферу нашей планеты можно условно подразделить на соленостные зоны — 4 основные и 3 промежуточные. Основными являются пресноводная, солоноватоводная, морская и гипергалинная зоны, а промежуточными — переходные между пресноводной и солоноватоводной, солоноватоводной и морской и между морской и гипергалинной [2, 5].

Морская соленостная зона занимает около 95 % поверхности гидросферы. На пресноводную зону приходится около 3 %. Солоноватоводная и гипергалинная зоны — занимают приблизительно по 0.5 %. Каждая из переходных соленостных зон составляет менее 0.5 %.

С позиции концепции относительности и множественности зон барьерных соленостей [1] определены следующие диапазоны соленостей для этих зон в океанических водах [2, 5]. Для пресноводной зоны — от пресной воды до 2‰. Для солоноватоводной зоны — от 5‰ до 8‰, и она совпадает с зоной  $\alpha$ -хорогалиникума. Для морской зоны — от 26‰ до 40‰. Для гипергалинной зоны — от 50‰. Для переходных пресноводно-солоноватоводных — от 2‰ до 5‰, для солоноватоводно-морских — от 8‰ до 26‰, для морских-гипергалинных — от 40‰ до 50‰. Границы между соленостными зонами расположены в пределах рассмотренных барьерных соленостей. В Балтийском море можно обнаружить все упомянутые выше 4 основные и 3 промежуточные зоны.

В настоящее время единственным морским водоемом, где основная солоноватоводная зона и, соответственно, зона  $\alpha$ -хорогалиникума за-

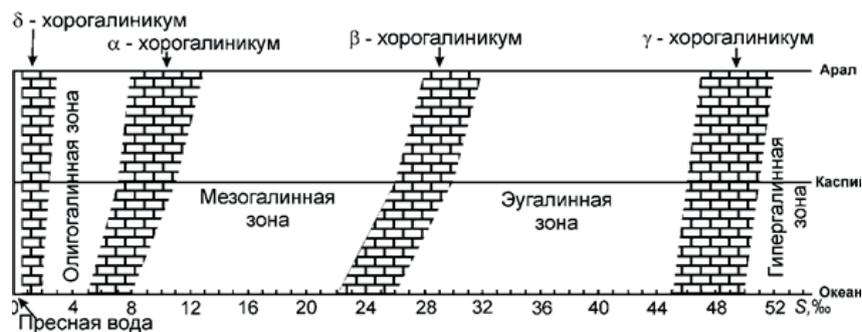


Рис. 2. Положение зон барьерных соленостей или хорогалиникумов (из: [2]).

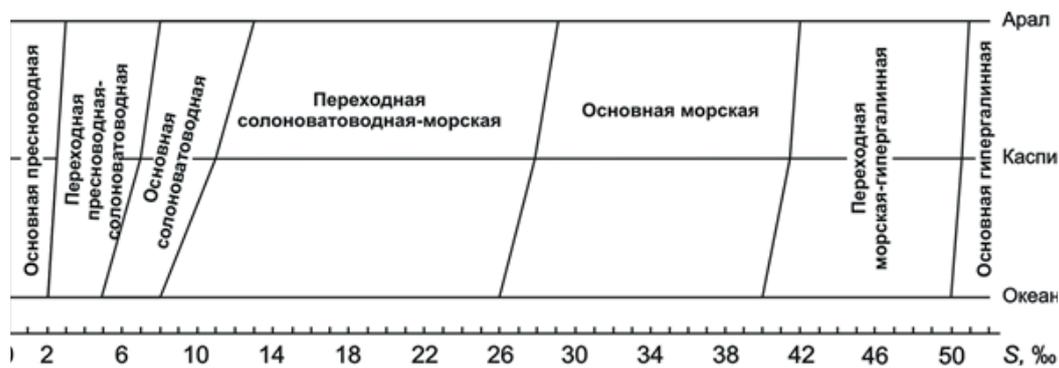


Рис. 3. Соленостные зоны и их границы (из: [2]).

Таблица 1

Процент площадей под разными соленостными зонами в неполносоленых морях и соленых озерах

Зоны	Балтийское море	Арал (до 1960 г.)	Арал (сейчас)	Азовское море	Каспийское море	Озеро Маракайбо (до 1956 г.)
Основная пресноводная	5 %	0.9 %	0.01 %	2 %	5 %	9 %
Переходная пресноводная-солонатоводная	15 %	2.5 %	0.04 %	3 %	7 %	88 %
Основная солонатоводная	62 %	89 %	0.2 %	8 %	13 %	4 %
Переходная солонатоводная-морская	4 %	8 %	20 %	83 %	70 %	—
Основная морская	14 %	—	—	1 %	0.04 %	—
Переходная морская-гипергалинная	—	—	—	0.5 %	0.03 %	—
Основная гипергалинная	—	—	79 %	2 %	4 %	—

нимают более половины площади его акватории (62 %), является Балтийское море (табл. 1; рис. 4), что делает его непохожим на все остальные неполносоленые моря нашей планеты. Поэтому Балтику можно назвать критическим морем.

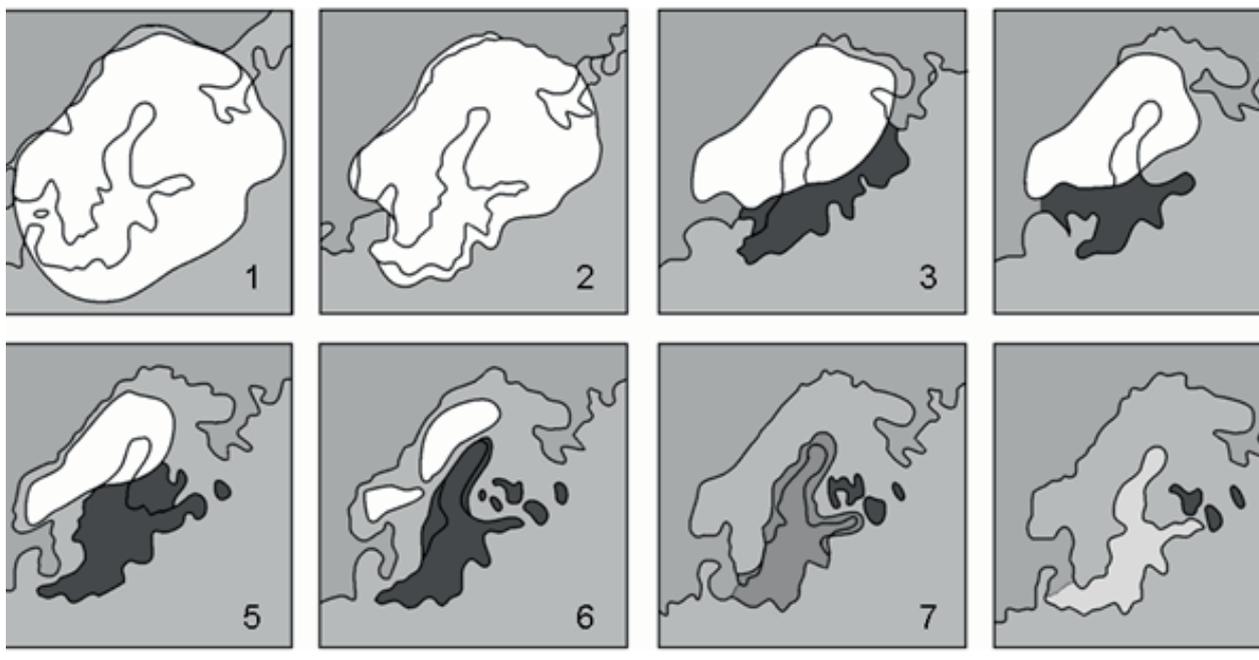
В наших исследованиях мы опираемся на строго научные данные о палеосреде и палеосолёности Балтики. Балтийское море — молодое море, и в ледниковый период оно было холодноводным озером. Это озеро приобрело связь с Мировым Океаном только недавно (рис. 5), и до сих пор оно сохраняет много озерных черт. Балтийское море полузакрытое, мелкое, его солонатовые воды имеют плавный градиент солёности и уникальные фауну и флору. Биоразнообразие Балтики относительно низкое, однако при этом оно по-своему уникально и нуждается в специальных мерах для его сохранения.

Пресноводные экосистемы в Балтике занимают устья впадающих в нее рек, а также прилегающие к ним районы мелководных заливов. Отсутствие выраженных приливно-отливных

явлений способствует стабильности δ-хорогаллиникума (0.5–2 ‰), отделяющего пресноводные экосистемы от солонатоводных. Эта барьерная солёность хорошо прослеживается в восточной



Рис. 4. Соленостные зоны в Балтийском море.



**Рис. 5.** Водоемы Палео-Балтики (по: [7], с изменениями и дополнениями)

1 — максимальная фаза последнего оледенения; 2 — датское оледенение (15 тыс. лет назад); 3 — Балтийское Ледовое озеро (14 тыс. лет назад); 4 — Йольдиевое море (12 тыс. лет назад); 5 — Анциловое озеро-море (7 тыс. лет назад); 6 — последняя фаза Анцилового озера-моря (5 тыс. лет назад); 7 — Литториновое море (4 тыс. лет назад); 8 — современная фаза (с 2 тыс. лет назад).

части Финского залива и в северной акватории Ботнического залива. Акватории Вислинского и Куршского заливов делятся им на пресноводную и солоноватоводную зоны. Он также хорошо прослеживается в юго-восточной части Рижского залива, находящейся под постоянным воздействием речного стока. Площадь пресноводной зоны невелика, около 6 % от общей площади моря. Это небольшие участки, где происходит смешивание пресных речных вод с осолоненными. Эти районы Балтики мелководны, и максимальные глубины не превышают нескольких десятков метров. Многие пресноводные организмы обитают только здесь и никогда не встречаются в собственно Балтийском море. В балтийских пресноводных экосистемах насчитывают порядка 1200 видов рыб, свободноживущих беспозвоночных и растений (без учета бактерий, простейших и мелких многоклеточных). Дельта-хорогаллиникум является важной граничной зоной для пресноводных обитателей, проникающих в Балтику.

Первая барьерная соленость или  $\alpha$ -хорогаллиникум (5–8 ‰) занимает собственно Балтийское море, Ботническое море, район Аландских островов (или море Архипелага) и Рижский залив. Эта пограничная зона занимает наибольшую площадь, порядка 62 % от площади всей Балтики и охватывает ее наиболее глубокую часть. Эта

зона занята солоноватоводными экосистемами. В них представлено около 700 видов рыб, свободноживущих беспозвоночных и растений (без учета бактерий, простейших и мелких многоклеточных), некоторые из которых являются потомками обитателей гляциального озера, существовавшего на месте современного моря в ледниковый период.

Вторая барьерная соленость или  $\beta$ -хорогаллиникум (22–26 ‰) приурочен к западной Балтике, востоку Датских проливов и Каттегату, испытывающим сильное влияние притока полносоленых вод из Северного моря. По площади эта зона занимает только около 4 % от всей площади Балтийского моря, однако здесь обитает порядка 3000 видов рыб, свободноживущих беспозвоночных и растений (без учета бактерий, простейших и мелких многоклеточных).

Третья барьерная соленость или  $\gamma$ -хорогаллиникум (45–50 ‰) фактически лежит за пределами границ Балтийского моря как такового. Его можно найти в летний период, характеризующийся наибольшим испарением, в наскальных ваннах или на засоленных мелководьях. Гипергаллинные экосистемы являются сезонными экосистемами, и максимальное число видов в них не превышает 100 (включая одноклеточных).

В Балтийском море 4 барьерные солености занимают гигантские акватории. Это сейчас наблюдается только на данном водоеме, и в этом его уникальность.

На берегах Балтийского моря расположено 9 государств: Германия, Дания, Латвия, Литва,

Польша, Россия, Финляндия, Швеция и Эстония. Кроме них также нужно учитывать и страны бассейна Балтийского моря, удаленные от его побережья, такие как Норвегия, Чехия, Словакия, Белоруссия, Украина. Все эти страны должны иметь статус постоянных наблюдателей в HELCOM.

## Л и т е р а т у р а

1. Аладин Н. В. Концепция относительности и множественности зон барьерных соленостей // Журнал общей биологии. 1988. Т. 49. № 6. С. 825–833.
2. Аладин Н. В., Плотников И. С. Концепция относительности и множественности зон барьерных соленостей и формы существования гидросферы // Труды Зоологического института РАН. 2013. Приложение № 3. С. 7–21.
3. Jansson B.-O. Ecosystem approach to the Baltic problem // Bull. Ecol. Res. Comm. NFR. 1972. № 16. P. 1–82.
4. Kinne O. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. II. Salinity and temperature-salinity relations // Oceanogr. Mar. Biol. An Ann. Rev. 1964. 2. P. 281–339.
5. Plotnikov I. S., Aladin N. V. Hybrid marine / lacustrine seas and saline lakes of the world // Lakes & Reservoirs: Research and Management. 2011. № 16. P. 97–108.
6. Remane A. Die Brackwasserfauna // Zool. Anz. 1934. Vol. 7 (Suppl.). P. 34–74.
7. Vuorinen I., Hänninen J., Rajasilta M., Laine P., Eklund J., Montesino-Pouzols F., Corona F., Junker K., Meier H.E.M., Dippnerd J.W. Scenario simulations of future salinity and ecological consequences in the Baltic Sea and adjacent North Sea areas—implications for environmental monitoring // Ecological Indicators. 2015. № 50. P. 196–205.
8. Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 739 с.
9. Хлебович В. В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука. 1974. 235 с.
10. Яркевольд А. А. Донная фауна восточной части Балтийского моря. Таллин: Валгус. 1979. 382 с.
11. Kinne O. (ed.) A Comprehensive, Integrated Treatise on Life in Oceans and Coastal waters I. Environmental Factors. Part 2. New York-London-Sydney-Toronto: Wiley Interscience, 1971. P. 683–1244.

## К р а т к а я   и н ф о р м а ц и я   о б   а в т о р а х :

**Аладин Николай Васильевич**, д. б. н., профессор.  
Заведующий лабораторией солоноватоводной гидробиологии.  
Специализация: изучение соленостных адаптаций водных беспозвоночных.  
E-mail: nikolai.aladin@zin.ru

**Aladin N.V.**, DSc (Biol.), Prof.  
Head of Laboratory  
Area of interests: salinity adaptation of aquatic invertebrates.  
E-mail: nikolai.aladin@zin.ru

**Гонтарь Валентина Ивановна**, к. б. н.  
Старший научный сотрудник лаборатории солоноватоводной гидробиологии.  
Специализация: изучение мшанок.  
E-mail: valentina.gontar@zin.ru

**Gontar V. I.**, PhD (Biol.)  
Senior Researcher.  
Area of interests: bryozoans.  
E-mail: valentina.gontar@zin.ru

**Егоров Александр Николаевич**, д. г. н.  
Ведущий научный сотрудник лаборатории географии и природопользования.  
Специализация: гидрология соленых озер.  
E-mail: alex6-1@mail.ru

**Egorov A. N.**, PhD (Geogr.)  
Leading Researcher.  
Area of interests: hydrology of saline lakes.  
E-mail: alex6-1@mail.ru

**Жакова Любовь Васильевна**  
Младший научный сотрудник лаборатории солоноватоводной гидробиологии.  
Специализация: гидроботаника.  
E-mail: lubov.zhakova@zin.ru

**Zhakova L. V.**  
Junior Researcher  
Area of interests: hydrobotany.  
E-mail: lubov.zhakova@zin.ru

**Плотников Игорь Светозарович**, к. б. н.

Старший научный сотрудник лаборатории  
солонатоводной гидробиологии.

Специализация: фауна беспозвоночных соленых озер.

E-mail: igor.plotnikov@zin.ru

**Plotnikov I. S.**, PhD (Biol.)

Senior Researcher

Area of interests: invertebrate fauna of saline lakes.

E-mail: igor.plotnikov@zin.ru

**Смуров Алексей Олегович**, к. б. н.

Научный сотрудник лаборатории солонатоводной  
гидробиологии.

Специализация: изучение соленостных адаптаций  
водных беспозвоночных.

E-mail: alexey.smurov@zin.ru

**Smurov A. O.**, PhD (Biol.)

Researcher.

Area of interests: salinity adaptation of aquatic  
invertebrates.

E-mail: alexey.smurov@zin.ru