

В.В.Ястреб, Т.В.Хмара

**СОЛЕННОСТЬ ВОД КАК УСЛОВИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ  
ЭКОСИСТЕМ ОТКРЫТЫХ ЛИМАНОВ**

Рассматривается явление парадокса солоноватых вод в амфибиальных геоэкосистемах приморской полосы суши с особым типом экосистем, характеризующихся низким видовым разнообразием и высокой биологической продуктивностью. На основе литературных источников показано, что главным признаком низкого видового разнообразия в градиенте солености стокового фронтального раздела является изменение солености вод относительно 5 ‰ (критическая соленость, которая влияет на физиологические особенности гидробионтов) к более высокой солености – преимущественно «морской» и к меньшей солености – «пресноводной». Полоса вод между 5 и 8 ‰ –  $\alpha$ -хорогалинная зона, понятие, принадлежащее только экологии и характеризующее взаимодействия организмов с соленостью как внешней средой. По среднесуточным данным солености в Днепро-Бугском лимане показано, что в период межени формируется  $\alpha$ -хорогалинная зона, в пределах которой в донных отложениях образуется геохимические поля особого типа, где размещаются экосистемы с низким видовым разнообразием и высокой биопродуктивности.

Понятие «гидроэкология» вошло в экологическую науку сравнительно недавно и трактуется неоднозначно. В связи с этим возникла необходимость найти определение, которое бы четко обозначило объект и предмет гидроэкологических исследований, основной признак, по которому одна наука отличается от другой. Этому вопросу посвящена работа В.Е.Заики [1], где автор, ссылаясь на литературные источники [2 – 5], показал, что в словарях, статьях и учебниках последних десятилетий гидробиология названа разделом водной экологии. В 1988 г. публикуется статья, вводящая новое название для водной экологии – гидроэкология [6]. Вскоре вышла в свет книга [7], первая фраза которой гласила: «Гидробиология, или экология гидросферы, или гидроэкология, так же как и экология – наука о надорганизменных формах организации жизни, изучает водные экосистемы, исследует их структуру и функционирование с целью управления ими» [7]. В [8] дается следующая формулировка: «Гидроэкология – экология водных экосистем. Включает комплекс дисциплин, изучающих водные экосистемы: собственно гидробиологию с ее подразделами, гидрохимию, водную микробиологию... и др.». Легко заметить, что в обоих определениях термин «гидроэкология» применен здесь как синоним гидробиологии. И, наконец, в 2001 г. в Украине выходит в свет учебник «Основы гидроэкологии» [9], где указано, что гидроэкология – биологическая наука, изучающая водные экосистемы или их части как целостную систему взаимодействующих живых и неживых компонентов. Таким образом, гидроэкология признана самостоятельной наукой, вобравшей в себя гидробиологию со всем арсеналом методов, понятий, результатов научных достижений.

Все эти рассуждения о гидроэкологии преследуют одну цель – найти

лимнологам, океанографам, гидрофизикам, морским геологам, гидрохимикам свое место в гидроэкологических исследованиях лиманов.

Опыт экологических исследований показал, что классическая экология по объективным причинам не может на равноправной основе с науками о Земле участвовать в изучении абиотических факторов. Отсюда становится понятным, почему в гидроэкологических исследованиях участвуют разные отрасли научного знания природоведческого характера – гидрология, гидрофизика, гидрохимия, геология, физическая география и др. Этим объясняется участие МГИ НАН Украины в гидроэкологических исследованиях лиманов украинской части Азово-Черноморского побережья.

Активное освоение водных объектов привело к прямому (изменение гидрологического режима путем создания гидротехнических сооружений, загрязнения вод, включая и токсические загрязнители, использование биологических ресурсов) и косвенному (зарегулирование рек, питающих водоемы) преобразованию изучаемых нами водоемов. Наиболее уязвимым блоком в сложной природной системе «водоем» являются экосистема. Следовательно, гидроэкологические исследования должны носить биоцентрический характер, т.е. водная масса водоема рассматривается под углом благоприятной или неблагоприятной среды для существования экосистемы в естественных и антропогенно преобразованных условиях.

Очевидно, что понимание современного состояния экосистемы водоема возможно при ясном понимании природных закономерностей функционирования водных экосистем с учетом абиотических компонентов. Только эти знания могут быть положены в основу реализации проектов освоения с минимальным ущербом для природного объекта и принципов его управления.

**Гидроэкологическая изученность лиманов.** Вопросы гидроэкологии лиманов, а также плавней, озер и водохранилищ Украины отражено в многочисленных научных публикациях, в том числе и ряде монографий [10 – 16]. Особо следует отметить гидроэкологические исследования водоемов, выполненные учеными Института гидробиологии НАН Украины. Ими наиболее комплексно и детально исследованы различные факторы, определяющие экологическое состояние водных объектов. Так, в обобщающей работе В.М.Тимченко [16] основное внимание обращено ключевым процессам и явлениям гидрологического режима, оказывающих наиболее активное воздействие на жизнедеятельность водных организмов, сообществ и экосистем в целом, а также качество вод.

Вместе с тем в изучение подсистем и составляющих их элементов не включен экологический блок. Им относительно автономно от наук гидрологического цикла занимаются гидробиологи и экологи. Вследствие этого гидроэкологические исследования не носят системный характер. Объединение двух блоков (гидрологического и экологического) требует выработки междисциплинарной концепции.

**Концепция геоэкосистем.** Очевидно, что в основе исследования сложных объектов лежит системный анализ. Это понятие широко используется в научной (и не только) литературе в основном в виде общих рассуждений, что зачастую уводит исследователя от главного,

существенного. Связано это с тем, что в основе анализа лежит строгая иерархия от большой системы к подсистеме и далее к элементу. Одна из самых распространенных ошибок в реализации системного подхода – стремление дойти до элементных, наиболее тонких процессов, происходящих на уровне элементов. А далее совершается главная ошибка: исследователь пытается на основе знания какого-либо элемента сделать заключение относительно большой системы [17]. Академик РАН Г.А.Заварзин полагает, что при решении какой-либо задачи необходимо работать на трех уровнях. При анализе изучаемой системы надо учитывать не только элементы системы, но и установить, во-первых, в какую большую систему вписывается исследуемая система и, во-вторых, какие подсистемы работают внизу. Таким образом, нужен трехуровневый анализ [17].

В настоящее время геоэкология рассматривается географами и геологами как междисциплинарное научное направление, ориентированное на изучение сложных территориальных природных и природно-антропогенных систем. Исходя из этого, указанные выше системы являются объектом геоэкологических исследований и в научной литературе по аналогии с экосистемой именуется геоэкосистемами, представляющими природно-территориальные ассоциации (системы) сопряженных экосистем (подсистем), условия существования которых зависят от возмущений, поступающих на внешние границы системы в виде геосферных и антропогенных вещественно-энергетических потоков [17, с.17].

В настоящей работе рассматриваются геоэкосистема особого типа – геоэкоTON зоны сопряжения суши и моря (ЗССМ), который характеризуется выраженными гетерогенными свойствами, представленными тремя сопряженными геоэкоTONами (подсистемами) – геоэкоTON моря, геоэкоTON суши и расположенный между ними геоэкоTON береговой зоны [18 – 21]. Между подсистемами осуществляются интенсивные трансграничные обмены веществом и энергией. Интересующие нас водоемы располагаются по обе стороны границы суши и моря, т.е. в зоне активного взаимодействия приморского и прибрежного морского геоэкоTONов, и являются подсистемами большой системы – геоэкоTONа ЗССМ. Обменные процессы между разнокачественными геоэкоTONами (континентальными и морскими) задают основные управляющие параметры функционирования водоемов. В геоэкоТоне приморской суши они представлены талассофильными и аталассофильными типами – лиманами, лагунами и озерами. В приморском геоэкоТоне суши водоемы являются дискретными природными объектами в окружающем пространстве, т.е. в некотором роде являются аналогами островов в океане

Талассофильные и аталассофильные водоемы, расположенные по обе стороны береговой линии, объединены общим признаком – флуктуационной активностью, представляющей собой взаимодействие пресных речных и соленых морских вод значительной пространственно-временной изменчивости, а также гидрометеорологическими воздействиями с высокой долей случайности. Этим объясняется уникальность водных

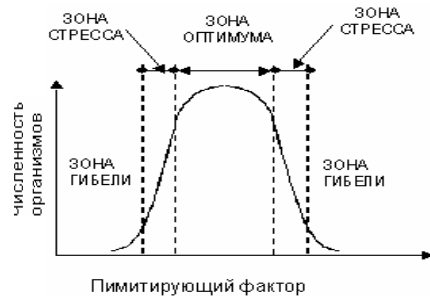
геоэкосистем приморской полосы суши. Следовательно, уникальны и их экосистемы.

Такие водоемы принято называть амфибиальными (термин введен канадскими учеными), подчеркивая тем самым их континентально-морское происхождение – основное условие существования в них своеобразных экосистем [17]. Экоцентрические ориентиры в исследованиях приморских водоемов позволяет нам определить их как амфибиальные геоэкосистемы.

**Экологические факторы.** Опыт гидроэкологических исследований открытых лиманов свидетельствует, что водная среда лиманов очень разнообразна и неоднородна во времени и пространстве, что обусловлено воздействием внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относятся климатический и гидрометеорологический, абразия берегов, речной водный и твердый сток, внедрение морских вод в лиманы в трансгрессивных условиях. С позиций концепции геоэкосистем они представляют геосферные потоки, поступающие на внешние границы геоэкосистемы. Их воздействия на амфибиальную геоэкосистему приводят в действие внутренние факторы, которые перераспределяют потоки вещества и энергии в пределах водоема, создавая, таким образом, значительную пространственно неоднородную структуру водного тела лимана по гидрофизическим (оптические характеристики), гидрологическим (температура, соленость, плотность), гидрохимическим (растворенный кислород, элементы биогенного цикла, микроэлементы, органические вещества и пр.), геоморфологическим (переформирование рельефа дна и берегов) и геологическим (продукты седиментогенеза) свойствам. Все они рассматриваются как экологические факторы, т.е. условия среды, способные оказывать прямое или косвенное воздействие на живые организмы. Очевидно, что рассмотренные выше факторы по своей природе преимущественно абиотические. Организмы, в свою очередь, реагируют на экологические факторы специфичными приспособительными реакциями (биотический фактор).

**Абиотические факторы.** Воздействие абиотических факторов среды на живые организмы в отдельности и сообщества в целом многогранно. Одной из основных проблем эколого-гидрологических исследований амфибиальных геоэкосистем является определение ключевых элементов гидрологического блока. В.М.Тимченко относит к ним внешний водообмен, внутриводоемную динамику, гидрофизические свойства водных масс и донных грунтов с учетом прогнозирования последствий антропогенных преобразований [16]. Именно эти гидрологические показатели наиболее емко представляют оптимальные и лимитирующие факторы водной среды. При оценке влияния того или иного фактора среды важным оказывается характеристика интенсивности воздействия его на живую материю: в благоприятных условиях говорят об оптимальном, а при избытке или недостатке – ограничивающем факторах.

Выявление и детальное изучение оптимальных факторов среды показало, что на организм или надорганизменную систему (экосистему) одновременно влияют многочисленные разнообразные и разнонаправленные факторы среды. На самом же деле в природе сочетание



Р и с . 1 . Действие закона толерантности (по Шелфорду).

всех воздействий в их оптимальных, наиболее благоприятных значениях практически невозможно. Поэтому даже в тех местообитаниях, где наиболее благоприятно сочетаются все (или ведущие) экологические факторы, каждый из них чаще всего несколько отклоняется от оптимума.

Влияние факторов внешней среды на гидробионты различно. Например, по отношению к одним факторам (например, температура воды)

организмы обладают широким диапазоном выносливости и выдерживают значительные отклонения интенсивности фактора от оптимальной величины, а по отношению к другим (например, соленость воды) — они неприемлемы. В последнем случае речь идет о лимитирующем факторе.

**Лимитирующие факторы.** Согласно «закону минимума Либиха», развитие организмов зависит не только от тех химических элементов или веществ (факторов), которые присутствуют в достаточном для организма количестве, но и от тех, которых не хватает.

Позднее В.Шелфорд доказал, что не только недостаток (минимум), но и избыток (максимум) вещества или какой-либо другого фактора (например, температура, давление и т.п.) по отношению к оптимальным требованиям организма может приводить к нежелательным последствиям. В.Шелфорд называл их лимитирующими факторами, а соответствующее правило получило название «закона лимитирующего фактора», или «закона толерантности» (рис.1).

Одним из важных лимитирующих фактов существования водных экосистем является такой элемент гидрологического режима как соленость. Автономность амфибиальных водоемов предполагает широкое разнообразие химического состава вод. Из гидрохимических изменений в градиенте солености решающее значение имеет изменение солености воды относительно 5 ‰ (критическая соленость) к более высокой солености — преимущественно «морской», и к меньшей солености — «пресноводной» [22]. Вследствие этого по обе стороны критической солености существенно меняется и направленность многих физических процессов в природных водах. Примерно при солености около 5 ‰ происходит обычно смена знака электрического заряда на влекаемых в сторону моря различных частицах. Наиболее часто обычные минеральные взвеси, влекаемые рекой в море (иллит и каолинит), почти полностью по этой причине флокулируют (агрегируются в крупные хлопья) и выпадают в осадок при солености выше 4 ‰. В экспериментах по седиментации в водах разной солености с искусственно введенными туда разного рода взвесями было показано, что скорость процесса быстро менялась при соленостях, близких к критической. Результаты лабораторных исследований показали особенности поведения ряда тяжелых металлов в смесях морской и речной воды [23].

Такой солевой состав воды характерен для амфибиальных геозкосистем, возникших в морских и континентальных условиях. По отношению к солёности их разделяют на типы [17] (табл.1).

К амфибиальным геозкосистемам относятся мезогалинные и олигогалинные водоемы. К ним относятся не только лагуны и лиманы, но и мелководные моря с ограниченным водообменом со смежными морскими бассейнами или океаном (например, Азовское, Балтийское моря).

По своей структуре экосистемы Азовского моря относятся к классу так называемых централизованных систем, в которых один элемент или подсистема играют координирующую роль [24]. Таким элементом является солёность, изменения которой прямо либо косвенно определяет динамику практических всех значимых океанологических параметров моря. Как следствие этого, солёность представляет именно то узловое звено, управление которым позволяет до известной степени изменять физико-химический и биологический режимы водоема. В результате взаимодействия речных и морских вод в лиманах в пресноводную часть моря проникает небольшое число морских видов, а в сторону моря – лишь небольшое число пресноводных видов. Именно здесь общее число видов оказывается минимальным. Эффект минимума видов наблюдается, например, в Азовском, Балтийском морях и открытых лиманах [23].

Для экосистем мелководных морей с ограниченным водообменом и открытых лиманов характерна относительно низкая живучесть. Авторы [24] этот эффект объясняют низким видовым разнообразием флористических и фаунистических комплексов, которые в случае возникновения дефектных элементов экосистемы и, как следствие, изменения или прерывания функциональных связей в ней не могут быть продублированы. Тогда экосистема либо деградирует, либо погибает. Этот эффект называют «парадоксом солоноватых вод» [25], сущность которого состоит в высокой биопродуктивности водоема при минимальном разнообразии видов (рис.2). Для открытых лиманов с постоянным или сезонным притоком речных вод (Днепро-Бугский, Березанский и Тилигульский) наибольший интерес вызывает точка пересечения кривых видового разнообразия пресноводной фауны и средиземноморской фауны. Как видно на рис.2, эта точка

Т а б л и ц а 1. Типы талассофильных водоемов [17].

водоемы	солёность, ‰
гипергалинные	> 40 (рассол)
эугалинные	30 – 40 (рассол)
миксогалинные	0,5 – 30 (рассол)
полигалинные	18 – 30 (рассол)
мезогалинные	5 – 18
олигогалинные	0,5 – 5
опресненные	< 0,5

находится ниже точки пересечения каспийской и средиземноморской фаун (минимум разнообразия) и левее и соответствует диапазону солёности вод 5 – 8 ‰.

#### **Парадокс солоноватых вод и критическая солёность.**

Представления о критической солёности сложились в результате синтеза данных физиологии (солёность как фактор внутренней среды организма), экологии (солёность как фактор внешней среды) и гидрохимии (изменения свойств

сложных растворов, какими является морская вода, и жидкости внутренней среды организмов, в зависимости от их концентрации).

Среди многочисленных объектов биологии центральное место принадлежит особи (синонимы «индивидуум» и «организм»). В экологических системах именно особь – самый конкретный субъект взаимодействий. Остальные объекты – семьи, популяции и биоценозы – взаимодействуют друг с другом и со средой только через особь. Особь находится на пересечении двух главных плоскостей биологии – эволюционной и экологической.

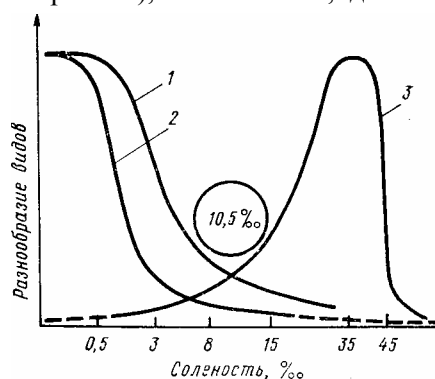
Известно, что соленость внутриклеточной среды организма, оптимальная для его жизнедеятельности, более или менее постоянна и невелика (7 – 10 ‰). Это значит, что почти во всех случаях жизни соленость животного иная, чем у среды. В пресной воде животное более соленое, чем вода (гиперосмотично), в морской – менее соленое (гипоосмотично). В результате возникает осмотическое давление. В пресной воде через покровы животного постоянно просачивается вода, и тело набухает. Если ее интенсивно удалять, вместе с ней выводятся растворенные ионы, а получить новые трудно. В [22] показано, что в морской воде, наоборот, вода уходит через покровы, тело съеживается, а глотание воды приводит к

Т а б л и ц а 2. Способности к осморегуляции у разных организмов [23].

виды	общая соленость, г/л	разница внешней и внутренней солености, г/л
<i>морские виды</i>		
морская вода	34,0	
медуза Aurelia	33,2	0,7
морской еж Echinus	33,7	0,2
пескожил Arenicola	33,7	0,2
мидия Mytilus	37,2	3,2
креветка Palaemon	25,5	8,5
акула Raja	15,4	18,6
мурена	11,8	22,2
скумбрия	10,6	23,4
<i>пресноводные виды</i>		
пресная вода	0,15	
беззубка Anodonta	1,2	1,1
водяной ослик Asellus	7,8	7,7
мотыль Chironomus	3,2	3,1
личинка комара Aedes	4,2	4,1
лосось Salmo	8,5	8,4

поглощению большого количества солей, с которыми надо что-то делать. Если говорить проще, то пресная вода стремится организм опреснить, а соленая – засолить. И все гидробионты эту проблему вынуждены решать.

Аномальное изменение внешней солености (опреснение морской воды или осолонение пресной), казалось бы, должно



Р и с . 2 . Схема галопатии основных типов фауны Азово-Черноморского бассейна [25]. 1 – каспийская фауна; 2 – пресноводная фауна; 3 – средиземноморская фауна.

разгружать осморегуляторную систему (поскольку разница между внешней и внутренней соленостью в обоих случаях уменьшается). На практике происходит наоборот. Осморегуляция у большинства животных продолжается в прежнем ритме и быстро губит организм. То есть пресноводные животные гибнут от накопления солей и недостатка воды в теле, а морские – разбухают от избытка воды. Быстро перестроить осморегуляторную систему, как правило, нельзя. Поэтому, в целом, животным оказалось легче приспособиться к почти любым (но стабильным!) значениям внешней солености, чем к ее быстрым изменениям. Это так называемые животные осморегуляторы. Но существуют в водных системах водные животные осмоконформеры. Они не способны к адаптации измененной солености, поэтому гибнут сразу. Как утверждают гидробиологи, их губит нерегулируемая клеточная осморегуляция [22].

Один из эффективных путей приспособления к изменениям солености вод – сделать покровы непроницаемыми (осмоизоляция). Благодаря этому свойству некоторые виды рыб могут мигрировать из олигогалинных бассейнов в эугалинные (табл.1). Чем крупнее животное и чем мощнее основные покровы, тем способность к осмоизоляции выше (табл.2).

Сходство ионного состава морской воды и жидкости внутри организмов дало основание говорить о внутренней солености. Оказалось, что внутренняя соленость около 5 – 8 ‰ погранична для физиологических и биохимических процессов. Лабораторные эксперименты показали, что в градиенте солености экологические, физиологические и гидрохимические характеристики изменяются не линейно, а с заметным переломом, приходящимся на соленость примерно 5 – 8 ‰, которая по этой причине и была названа критической. Совпадение границ вод разной солености с резким изменением течения экологических и физиологических процессов признавалась не случайным, а определенным свойством растворов природных вод и жидкостей внутренней среды организмов [23].

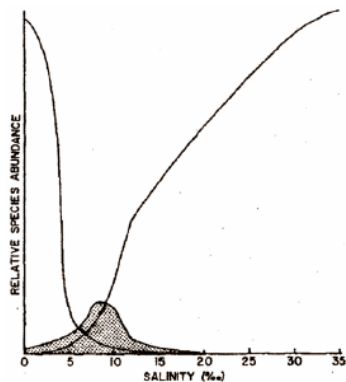


Рис. 3. Талассофильные водоемы и хорогалинные зоны [27].

**Хорогалинные зоны.** При исследовании экосистем водоемов O.Kinne предложил экологическую часть критической солености назвать *horohalinit* [26] (в русскоязычной литературе – хорогалинная зона). Исследования в этой области знания привели к «концепции критической солености» [23].

Эта концепция включает в себя следующие положения:

1. Узкий солёностный диапазон 5 – 8 ‰ – важнейший экологический барьер, разделяющий пресноводную и морскую фауны (рис.3).
2. Этот барьер исторически определил физиологические адаптации пути эволюции при освоении новых сред.
3. Характер осадкообразования по обе стороны критической солености – важнейший геологический фактор.



В современной литературе хорогалинная зона (хорохалиникум) и критическая соленость зачастую рассматриваются как синонимы. Это не совсем правильно. Из сказанного выше должно быть ясно, что хорогалинная зона – понятие, принадлежащее только экологии, характеризующее взаимодействия организмов с соленостью как внешней средой. Таковыми водными объектами чаще всего относятся мелководные моря с ограниченным водообменом со смежными акваториями, лиманы и лагуны открытого типа.

Наиболее яркой чертой зоны критической солености считалось явление, описанное для Балтийского моря и названное минимумом видов. Благодаря тому, что до солености 5 – 8 ‰ доходит, в своем проникновении в пресные воды лишь небольшое число морских видов, а в сторону моря – лишь небольшое число пресноводных видов, именно здесь общее число видов оказывается минимальным [23], что графически выражается «ямкой» на соответствующих кривых (рис.4) [27].

Однако позже было обращено внимание на то, что общее количество видов в Балтийском море при солености 5 – 8 ‰ оказывается даже большим, чем при меньшей или несколько большей солености. Это можно объяснить тем, что в этой зоне встречаются виды и морские, и пресноводные, общее число видов представлено кривой слева, а морские – справа, виды солоноватых вод – заштрихованная область [23].

ло которых, будучи суммированным, оказывается более высоким, чем на флангах зоны. Конечно же, это не должно противоречить представлениям о том, что именно здесь происходят процессы стыка разнородных фаун. Правильнее сказать, что здесь ставится барьер проникновению в иную соленость крупных и мелких таксонов.

Соленостные границы критической солености в природных водах устанавливалась почти исключительно для тех случаев, когда пресные воды (как известно, чрезвычайно разнообразные по химическому составу) смешиваются с водами более или менее открытых морей, химический состав которых оказывается практически идентичным таковому вод Мирового океана и отличается большой стабильностью во времени и пространстве.

Эти же эффекты обнаруживаются и по вертикали, обусловленной соленостной стратификацией – наслоением пресной воды на соленую морскую. В галоклине располагаются т.н. градиентные организмы (они обладают биологической способностью удерживаться в зоне смешения вод) [17]. Этот слой довольно тонкий (не более 2 м) характеризуется перепадом концентраций химических элементов. В результате создается узкий вертикальный биологический барьер. Проявление «парадокса солоноватых вод» можно обнаружить в открытых лиманах. В лиманах Северного

Причерноморья (Березанский, Тилигульский, Хаджибейский, Днепро-Бугский) при определенных гидрометеорологических гидрологических условиях (смещение морских и пресных вод) вероятно возникновение  $\alpha$ -хорогалинных зон. В Хаджибейском лимане, где соленость вод достигает 32 ‰, возможна даже  $\beta$ -хорогалинная зона [14]. В Днепро-Бугском лимане процессы взаимодействия речных и морских вод происходят наиболее активно.

#### **Особенности гидрологического режима Днепро-Бугского лимана.**

Днепро-Бугский лиман – самый большой лиман Северного Причерноморья (площадь 928 км<sup>2</sup>, объем воды 4,1 км<sup>3</sup>) – состоит из двух частей: Днепровский и Бугский лиманы, объединенные общими гидрологическими особенностями, свойственных всему лиману в целом. По гидрологическому, гидрохимическому, гидробиологическому режимам лиман разделяют на 4 района – восточный центральный, западный и бугский [16].

Одним из основных факторов, формирующих гидрологический режим Днепро-Бугского лимана, является сток впадающих в него рек. В естественных условиях годовой сток в устье составляет 53,3 км<sup>3</sup> при диапазоне колебаний от 22,6 до 96 км<sup>3</sup>. Большая часть приходится на водосбор р.Днепр (503 тыс. км<sup>2</sup>), что составляет 94 % стока от всей водосборной площади лимана. Средняя величина стока р.Днепр за 28 лет (1958 – 1986 гг.) 43,5 км<sup>3</sup>/год [14].

Наивысший годовой сток составил 186 % нормы, самый низкий 43 % [28]. На остальной площади формируется сток р.Южный Буг и реках междуречья Днепра и Южного Буга. В естественных условиях объема речного стока за год происходила 14-х кратная промывка речной водой приморских участка лимана [28]. Такая проточность обеспечивала высокую биопродуктивность лимана и высокое качество вод. Последнее обеспечивалось очистительной функцией растительности лимана и поймы.

Процессы водообмена и гидрометеорологические условия формируют тепловой и солевой режимы лимана. Тепловой режим формируется и поддерживается следующими факторами: 1) процессами взаимодействия атмосферы и водоема; 2) теплообменом с морем; 3) притоком тепла с речными водами [14]. Совместное воздействие трех основных факторов формирует поля температуры и солености. Но участие этих факторов в формировании гидрологических полей происходит с разной интенсивностью и асинхронно. В мелководных водоемах, к которым относятся и лиманы, вода сравнительно быстро нагревается и также быстро охлаждается. Следовательно, можно ожидать синоптическую изменчивость поля температуры. Второй и третий факторы, ответственные за приток или отток тепла, в значительной мере определяют сезонный характер водообмена и, следовательно, сезонную изменчивость поля температуры.

Минимальная температура воды в Днепро-Бугском лимане наблюдается в январе – феврале. Абсолютный минимум – 0,9 °С. Самая высокая температура была отмечены 30 июля 1963 г. (32,2 °С), т.е. диапазон, очерченный экстремальными значениями, равен 31,3 °С [14].

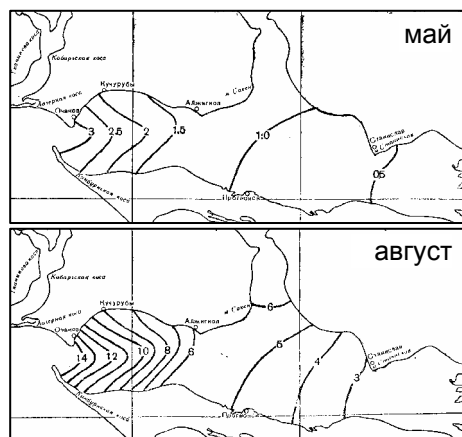


Рис. 6. Распределение солености в Днепро-Бугском лимане.

Изолированность этой области обусловлена наличием температурных фронтов вблизи устьевой области (23 – 24 °С), у входа в Кинбурский пролив 20 – 22 °С. Осенью (октябрь) вследствие выхолаживания температура воды падает и становится однородной по вертикали. Разница между минимальной и максимальной температурой не превышает 1,5 °С.

Взаимодействие речных и морских вод образуют сложную картину пространственного распределения солености вод. Основным элементом, определяющим неоднородную структуру поля солености поверхностного слоя, является соленостный фронт шириной около 18 км, который разделяет морские воды с соленостью 9 ‰ с водами лимана с соленостью менее 4 ‰ (рис.6). Горизонтальный градиент солености составляет 0,28 ‰/км. В зависимости от колебания стока речных вод, преимущественно р.Днепр, ширина и интенсивность фронта несколько меняется. Так, во время паводка (май) соленостный фронт становится уже (15 км), соленость на морской границе 3 ‰, со стороны лимана 1,5 ‰. Следовательно, величина

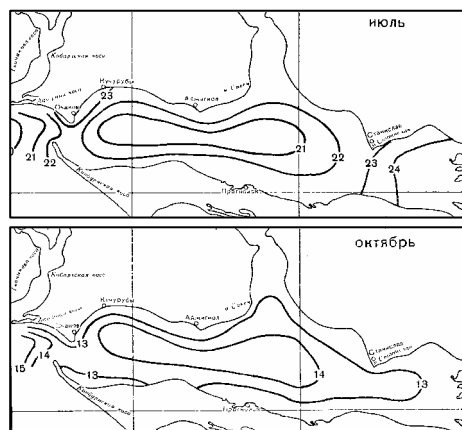


Рис. 5. Распределение температуры в Днепро-Бугском лимане.

горизонтального градиента не превышает 0,1 ‰. Наиболее развит фронт в период межени (август), когда поле солености характеризуется наличием двух фронтов. Первый расположен в предпроливной зоне, а второй – в восточной части лимана (рис.6). Фронт в предпроливной зоне наиболее интенсивен. Его ширина достигает 20 км, а на границах фронта величина солености соответственно равна 14 и 6 ‰. Отсюда горизонтальный градиент солености достигает 0,4 ‰. Второй фронт в глубине лимана несколько размыт. Его ширина не

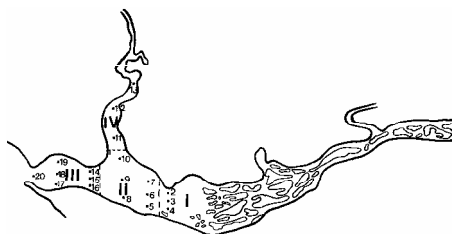
превышает 11 км. На западной границе соленость равна 5 ‰, на восточной 3 ‰. Горизонтальный градиент равен 0,19 ‰. Между фронтами располагается однородная по солености акватория (от 5 до 6 ‰).

На карте-схеме Днепро-Бугского лимана (рис.7) выделены районы по концентрации взвешенного вещества. Сопоставление схемы районирования (рис.7) со среднемноголетними полями поверхностной солености (рис.5) демонстрирует хорошее согласие. Район III соответствует соленостному фронту (рис.5) в меженный период, район I – пресноводной части акватории лимана (< 5 ‰), район II – хорогалинной зоне. Согласно [29], именно в хорогалиннгой зоне наиболее активно протекают биохимические и физико-химические процессы – коагуляция, седиментация, сорбция, десорбция, комплексообразование и т.д.

Таким образом, в результате водообмена Днепро-Бугского лимана с Черным морем через Кинбурский пролив в предпроливной зоне расположена климатическая фронтальная зона, в пределах которой размещается хорогалиникум ( $\alpha$ -хорогалинная зона). Вследствие существенной сезонной изменчивости фронта изменяются и параметры хорогалинной зоны. Во время весеннего паводка основное влияние на фронт оказывают речные вод. Фронт слабо развит, зона критической солености отсутствует. В межень поле солености лимана наиболее неоднородно, выделяются два фронта, между которыми размещается широкая хорогалинная зона. В это время геоэкологическая система лимана включает в себя три типа экосистем – пресноводную, хорогалинную и морскую.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заика В.Е.* К столетию гидробиологии // Экология моря.– 2003.– вып.63.– С.1-5.
2. *Биологический энциклопедический словарь* / Под ред. М.С.Гилярова.– 1986.– 831 с.
3. *Винберг Г.Г.* Гидробиология как экологическая наука // Гидробиологический журнал.– 1977.– 13, № 5.– С.5-15.
4. *Константинов А.С.* Общая гидробиология.– М.: Высшая школа, 1979.– 480 с.
5. *Никольский Г.В.* О содержании и структуре гидробиологии как биологической дисциплины // Гидробиологический журнал.– 1970.– 6, № 4.– С.132-135.
6. *Романенко В.Д.* Международная экспедиция по гидроэкологическому исследованию Дуная // Гидробиологический журнал.– 1988.– 24, № 4.– С.112-118.
7. *Алимов А.Ф.* Введение в продукционную гидробиологию.– Л.: Гидрометеиздат, 1989.– 152 с.
8. *Кузьменко М.И., Брагинский Л.П., Ковальчук Т.В. и др.* Гидроэкологический русско-украинско-английский словарь-справочник.– Киев: Демидур, 1999.– 262 с.
9. *Романенко В.Д.* Основы гидроэкологии.– Киев: Обереги, 2001.– 728 с.



Р и с . 7 . Карта-схема устьевой области Днепра и Южного Буга и расположение станций наблюдения: I – восточный район, II – центральный район, III – западный район, IV – Бугский лиман; 1 – 20 – станции

10. *Майстренко Ю.Г.* Органическое вещество воды и донных отложений рек и водоемов Украины (бассейны Днепра и Дуная).– Киев: Наукова думка, 1965.– 239 с.
11. *Витюк Д.М.* Взвешенное вещество и его биогенные компоненты.– Киев: Наукова думка, 1983.– 210 с.
12. *Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья: географические основы хозяйственного освоения.*– Л.: Наука, 1988.– 303 с.
13. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья / Отв. ред. Вишневский П.Ф.– Киев: Наукова думка, 1990.– 240 с.
14. *Лиманы Северного Причерноморья* / Полищук В.С., Замбрибош Ф.С., Тимченко В.М и др. Отв. ред. Миронов О.Г.– Киев: Наукова думка, 1990.– 204 с.
15. *Гидроэкологические проблемы внутренних водоемов Украины* / Отв. ред. Арсан О.М.– Киев: Наукова думка, 1991.– 136 с.
16. *Тимченко В.М.* Гидроэкология водоемов Украины.– Киев: Наукова думка, 2006.– 383 с.
17. *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой микробиологии.– М.: Наука, 2003.– 348 с.
18. *Иванов В.А., Ястреб В.П.* Геоэкология сопряжения суши и моря на примере Азово-Черноморского бассейна // Устойчивое развитие территорий юга России и Украины: эволюция, функционирование, ресурсы. Под. ред. Трифонова В.А.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002.– С.21-34.
19. *Иванов В.А., Ястреб В.П.* Геоэкология – междисциплинарное синтетическое научное направление исследований зоны сопряжения суши и моря // Устойчивое развитие территорий юга России и Украины: эволюция, функционирование, ресурсы. Под. ред. Трифонова В.А.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002. – С.5-20.
20. *Иванов В.А., Ястреб В.П., Горячкин Ю.Н. и др.* Природопользование на черноморском побережье Западного Крыма: современное состояние и перспективы развития. Под ред. Иванова В.А.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 324 с.
21. *Иванов В.А., Ястреб В.П.* Зона сопряжения суши и моря – принципиально неустойчивая геоэкология // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– вып.14.– С.16-34.
22. *Хлебович В.В.* Физиология эвригалинности: критическая соленость внешней и внутренней среды // Вопросы гидробиологии.– 1965.– т.1.– С.32-39.
23. *Хлебович В.В.* Критическая соленость биологических процессов.– Л., 1974.– 231 с.
24. *Бронфман А.М., Хлебников Е.П.* Азовское море. Основы реконструкции.– Л.: Гидрометеиздат, 1985.– 271 с.
25. *Мордохай-Болтовский Ф.Д.* Влияние гидрометеорологической реконструкции Дона на биологию Азовского моря // Тр. ВБГО.– 1953.– т.5.– С.13-71.
26. *Kinne O.* Salinity – Animals – Invertebrates // *Marine Ecology.*– London, 1971.– v.1, pt.2.– P.78-89.
27. *Deaton L.E.* There is no horohaliniсum // *Estuaries.*– 1988.– v.9, № 1.– P.20-30.

28. *Костяницын М.Н.* Гидрология устьевой области Днепра и Южного Буга. М.: Гидрометеорологическое изд-во (отделение). 1964. – 335 с.
29. *Морозова А.А.* Сгонно-нагонные явления и их влияние на формирование режима взвешенного вещества в Днепро-Бугской устьевой области // Природничий альманах. Серія Біологічна.– Херсон, 2006.– вип.8.– С.141-148.

Материал поступил в редакцию 12.10.2007 г.