

ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ БОРЕАЛЬНОЙ ПЕЛАГИЧЕСКОЙ БИОТЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ

© 2024 В.В. Мельников

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Россия

Статья поступила в редакцию 17.09.2024

Работа посвящена вопросу описания уникальности экосистемы Черного моря, которое сохранило в своих глубинах комплекс бореальных пелагических реликтов, сохранившихся со времен последней ледниковой эпохи. Автор настоящей работы предполагает, что процессы возникновения бореальной биоты в Черном море необходимо рассматривать на основе теории о смене биоценозов Средиземного моря в ледниковые и межледниковые периоды из-за изменений направлений течений и структуры водных масс. В настоящее время опубликовано много обобщающих работ по истории биоты Средиземноморья, которые убедительно показали, что закономерности изменений биоразнообразия всего Средиземноморского бассейна связаны процессами периодических изменений климата (оледенениями и потеплениями), колебаниями уровня моря, сменой течений и стратификации водных масс, палеогеографическими и экологическими причинами. На основании этого автором выделены основные этапы превращения экосистемы пресноводного озера в бореальную морскую, и затем, около 3.3 тыс. лет назад, в современную экосистему Черного моря, состоящую из тепловодных вселенцев, обитающих в верхней Черноморской водной массе и реликтов, сохранившихся со времен последнего оледенения в холодном промежуточном слое (ХПС). Последний является уникальной особенностью Черного моря, которая позволяет ему сохранять в этом природном «холодильнике» бореальные виды. Автор отмечает, что процессы глобального потепления уже сейчас привели к постепенному нагреву ядра ХПС, что в перспективе может привести к постепенной гибели холодноводных видов, многие из которых имеют важное значение в трофических цепях экосистемы.

Ключевые слова: Черное море; экосистема; холодноводные реликты; миграции; сообщества.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-109-121

EDN: WZRCEL

Работа выполнена по теме Государственного задания 124030100137-6 «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана»

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблеме возникновения и изменениям экосистемы Черного моря посвящено большое количество публикации [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22], и многие другие. В настоящее время на базе косвенных данных (палеонтологических, кислородно-изотопных, гляциологических и др.), с использованием радиоуглеродного метода, показано, что периоды оледенений и потеплений в Средиземноморском бассейне отличались существенными колебаниями уровня моря [23, 24, 25]. Последние данные свидетельствуют о том, что в голоцене Черноморский бассейн пережил завершение цикла опускания вод в ледниковую эпоху и начало подъема уровня вод в период

климатического оптимума голоцена, что привело к возникновению современной пелагической фауны Черного моря. Вопрос о её происхождении является предметом давних дискуссий [1, 18, 20, 26, 27, 28, 29]. Было подтверждено, в частности, что важную роль в распределении пелагической фауны Чёрного моря большую роль играет вертикальная стратификация и свойства водных масс.

Так, например, в Черном море среди морских средиземноморских рыб по происхождению выделяются две подгруппы – холодолюбивые бореальные атлантические виды и теплолюбивые субтропические [29]. Первую группу, как считал Т.С. Расс [18], составляют холодолюбивые «бореально-атлантические реликты», которые попали в Чёрное море «после прорыва Босфора в период охлаждения вод, связанного с ледниковой эпохой» в конце плейстоцена – начале голоцена. В этот период, по его мнению, уровень Атлантики существенно повысился, в результате чего из Лузитанской зоны океана, т.е. вдоль

Мельников Виктор Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела Функционирования морских экосистем ФИЦ ИнБЮМ РАН. E-mail: sevlin@rambler.ru

южного побережья Северного моря и западных берегов Европы вплоть до северо-западной Африки, холодные воды Атлантики перенесли бореальные виды сначала в Средиземное и затем Чёрное моря. С другой стороны, В.А. Водяницкий [1], был уверен, что вселение как холодолюбивых, так и теплолюбивых видов в Чёрное море происходило одновременно. Наличие «бореально-атлантических планктонных реликтов» постледникового периода было показано также и трудами Т.С. Петипа и др. [28], утверждавшей, что в Черном море существует как теплолюбивый – эпипланктонный, так и холодолюбивый – батипланктонный комплексы видов планктона. У некоторых исследователей это утверждение вызвало, сомнение поскольку часть видов активно мигрирует из слоя в слой [30]. С другой стороны, способность совершать вертикальные суточные миграции большой протяженности – это характерное свойство большинства бореальных пелагических видов Атлантики¹. Можно даже утверждать, что это – как раз и есть маркер для водных масс, несущих бореальную пелагическую фауну.

Сейчас наступил межледниковый период, когда через Босфор в Черное море происходит постоянный подток субтропических видов [31, 32], который назван «медитерранизацией». Однако так было не всегда и в определенные исторические периоды, через тот же пролив, поступали и холодноводные бореальные пелагические виды, принесенные из Атлантики в периоды оледенений.

В настоящее время опубликовано много обобщающих работ по истории биоты Средиземноморья [24, 33, 34, 35, 36, 37], которые

¹ В Североатлантическом регистре морских видов, или NARMS, приводятся подробные сведения о видовом биоразнообразии северной части Северной части Атлантического океана, Средиземного и Черного морей: сайт <https://www.vliz.be/vmdcdata/narms/>

убедительно показали, что закономерности изменений биоразнообразия всего Средиземноморского бассейна связаны процессами периодических изменений климата (оледенениями и потеплениями), колебаниями уровня моря, сменой течений и стратификации водных масс, палеогеографическими и экологическими причинами (Рис. 1).

Столь разительные изменения в жизни гидробионтов Средиземного моря определялись изменениями в гидрологии, т.е. направлениями течений и свойств водных масс. Впервые идея об этом была опубликована в работе Жан-Мари Переса «История средиземноморской биоты и колонизация глубин» [38], в которой он сформулировал основные положения теории о смене биоценозов Средиземного моря в ледниковые и межледниковые периоды из-за изменений направлений течений и структуры водных масс.

В соответствии с положениями этой уже общепринятой концепции С. Bianchi с коллегами [24] показал, что в периоды оледенений происходит понижение уровня моря, которое вызывает подток холодных атлантических вод с бореальной биотой. Распресненная поверхностная вода вытесняется водными массами Атлантики, а в глубинах моря формируется гомотермия, т.е. формируются условия, подходящие для жизни бореальной пелагической биоты. Большинство бореальных видов зоопланктона совершают вертикальные суточные миграции в широком диапазоне глубин и для них гомотермия холодных глубинных вод создавала благоприятные условия для существования

В холодные периоды оледенений (Рис. 2), когда вода накапливалась в ледниках, уровень воды в океане постепенно понижался, однако, со временем, влажная и прохладная теплая погода вызывала увеличение количество осадков, которые попадали в водосборные бассейны рек и стекали в море.

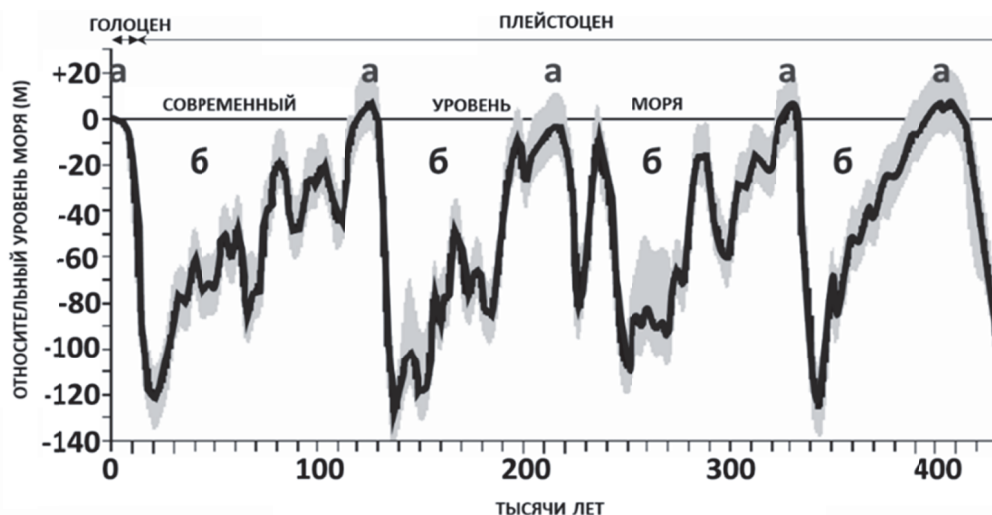


Рис. 1. Колебания уровня Средиземного моря за последние 400 тыс лет: а – теплые межледниковые периоды, б – холодные влажные периоды оледенений [по 39]

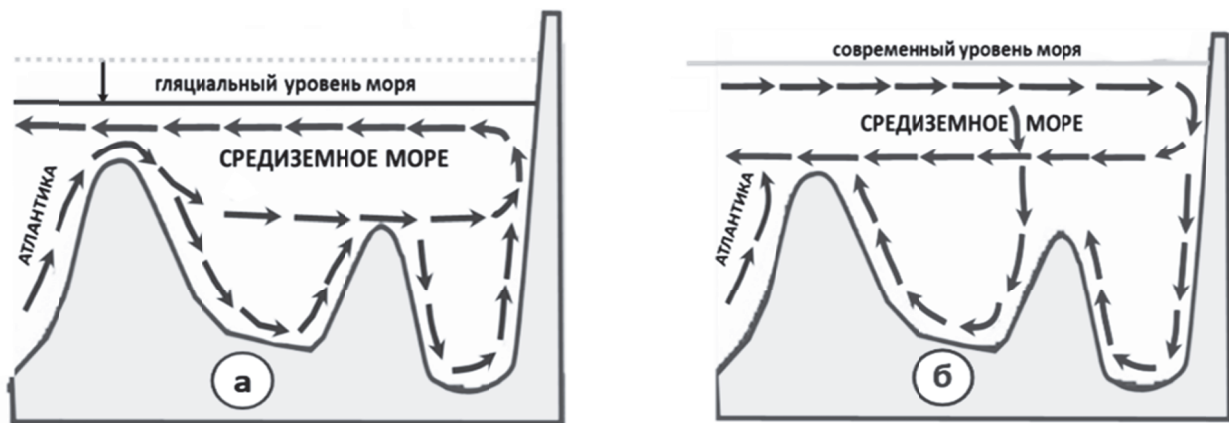


Рис. 2. Схема переноса водных масс и населяющих их организмов в Средиземном море [24]: а – в периоды оледенений, б – в периоды потеплений

В результате этого водный баланс менялся, уровень моря вновь начинал поднимался, и поверхностный распресненный поток воды направлялся в сторону Атлантики, а ниже возникал противоток холодной и соленой атлантической воды, направленный в сторону Средиземного моря. В теплые периоды (Рис. 2 б) водные массы субтропической Атлантики втекали в бассейн Средиземного моря, нагревались и постепенно меняли стратификацию водных масс.

Связано это с тем, что зимняя температура поверхностной воды в Средиземном море определяет температуру глубинных водных вод, которые в это время постепенно прогреваются и образуется сложная структура водных масс с разными физико-химическими параметрами. Прогрев толщи воды Средиземного моря в межледниковые периоды приводил гибели большинства видов холодноводной бореальной биоты.

2. ВОЗНИКНОВЕНИЕ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ

В настоящем разделе автор впервые рассматривает исторические процессы, происходившие в Черном море, с позиции уже общепринятой теории Жан-Мари Переса «История средиземноморской биоты и колонизация глубин» [24, 38], касающихся процессов возникновения современного состава гидробионтов Средиземного моря. Автор данной работы предполагает, что закономерности этих процессов были едины для всего средиземноморского бассейна, включая Черное море. На основании этого предлагает следующую схему возникновения современной структуры морской пелагической экосистемы на месте пресного озера, которое было в черноморской котловине. К моменту образования связи между водоемами (Рис. 3) уровень Атлантического океана был выше, чем в Средиземном и Черном морях приблизительно на 40 м.

В результате этого около 12,8–11,5 тысяч лет назад [40] холодные воды Атлантики с бореальной биотой сначала устремились в Средиземное море [24], а затем, после прорыва его вод в котловину будущего Черного моря, эта биота выносилась в экстремальные условия пресного озера. Это процесс произошел по мнению большинства исследователей в период 11–7 тыс. лет назад: 11 тыс. [40], 10 тыс. [9], 9 тыс. [33], 8–9 тыс. [41, 42], 7–8 тыс. [10, 43] лет назад. По мнению американских исследователей Райана и Питмена [44, 45, 46] приблизительно 7600 лет назад, средиземноморские воды хлынули через Босфор огромным водопадом (в 200 раз больше, чем Ниагарский) и со скоростью 10 см в день заполнили бассейн, подняв его уровень на 120 м за два года. С опровержением этой гипотезы выступили многие исследователи [22, 23, 47, 48] и другие. – эта гипотеза вызвала большой публичный резонанс и способствовало организации новых экспедиций в бассейн Черного моря. Не смотря на эти разногласия о том, когда и с какой скоростью заполнялось пресноводное Черное море-озеро, ясно одно что бореальная биота пелагиали Атлантики появилась в этом бассейне около 8 тыс. лет назад.

Попав в условия пресноводного озера, холодноводные обитатели океанических вод, вероятно, массово гибли из-за низкой солености, образуя поток мертвой органики в его глубины. Одновременно с этим происходила и гибель пресноводных организмов, которые также осаждались на дно этого уже мертвого озера. Анализ донных осадков показал, что вторжение соленых океанских вод (38 ‰), в пресноводное озеро привело к массовой вспышке развития фитопланктона, что направило на дно бассейна дополнительный поток мертвой органики, вызвавшей стремительное уменьшение кислорода в глубинах водоема [44, 49]. В результате этого в глубинах моря стало не хватать кислорода для окисления этого потока тонущей органики. Началась масштабная деоксигенация

глубин, которая, возможно, была подобна тому, что произошло в Черном море в конце 1980-х, когда гиперэвтрофикация сократила запасы кислорода в глубинах Черного моря на 44% [50, 51]. В первые годы после прорыва средиземноморских вод деоксигенация столь масштабной, что должна была охватить всю водную толщу от дна до поверхности [49], дав начало появлению сероводородной зоны. Пикноклина в то время, вероятно, еще не существовало, поскольку осолонение вод Черного моря происходило постепенно на протяжении 1,5 тыс. лет [49].

Так продолжалось до тех пор, пока уровень вод в Средиземноморском бассейне не сравнялся с уровнем вод в Атлантике (рис. 3). По современным оценкам это произошло около 3,5 тыс. лет назад [24]. Тогда поверхностная вода из субтропической Атлантики поступать в Средиземное море. В результате испарения теплая поверхностная вода приобретала большую плотность и опускалась в глубины, формируя там более слой более соленой воды, которая, в конечном счете стала выходить через Гибралтар с нижним течением обратно в Атлантику. Постепенно вся толща вод Средиземного моря прогрелась и стала не пригодной для жизни большинства реликтовых холодноводных видов северной Атлантики. Почти вся бореальная биота вымерла и на ее место пришла субтропическая и тропическая флора и фауна.

Судьба бореальных реликтов в Черном море сложилась более благополучно: благодаря наличию плотностного барьера в толще воды между кислородной и сероводородной зонами. В этом море охлажденная зимняя вода не погружается в глубины моря до дна (Рис. 4), а «растекается» над слоем основного пикноклина, образуя в теплое время года своеобразный природный хо-

лодильник или холодный промежуточный слой (ХПС), в котором и нашли свое спасение бореальные североатлантические реликты последнего оледенения.

Условия образования ХПС в Черном море идентичны таковым в умеренных и полярных широтах, где вертикальная конвекция ограничена по глубине галоклином (как в Балтийском, Охотском морях или субарктических районах). Именно благодаря такому стечению обстоятельств бореальные организмы в этом море оказались «запертыми» в небольшом объеме ХПС (Рис. 4, Чм), толщина которого составляет всего несколько десятков метров над анаэроконтуром [52]: зимой холодноводные животные могут подниматься до самой поверхности, а в теплое время года диапазон их обитания ограничен слоем между термоклином и анаэроконтуром.

К числу реликтов последнего оледенения (Рис. 5) относятся такие холодноводные виды фитопланктона - диатомовые *Chaetoceros socialis* H.S. Lauder, 1864, *Leptocylindrus minimus* Gran, 1915, *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden, 1928 и динофитовые *Heterocapsa triquetra* (Ehrenberg) F. Stein, 1883, *Scropsiella trochoidea* (F. Stein) A.R. Loeblich III, 1976 (Нестерова, 2001), копеподы *C. euxinus*, *P. elongatus*, *Oithona similis* Claus, 1866, хетогматы *P. setosa*, ктенофора *P. pileus*, черноморский шпрот *S. sprattus phalericus*, черноморский мерланг *M. merlangus euxinus*, умеренно холодноводные виды, такие как, черноморский лосось *Salmo trutta labrax* Pallas, 1814, колючая акула *Squalus acanthias ponticus* Мягков и Кондюрин, 1986, камбала глосса *Platichthys flesus luscus* (Pallas, 1814), а также такие донные виды как водоросли филлофора Броди *Phyllophora brodiaea* (Turner) Endlicher, 1843., филлофора пленчатолитная *P. membranifolia*



Рис. 3. Колебания уровня Средиземного моря в период голоцена и изменения состава организмов [24]

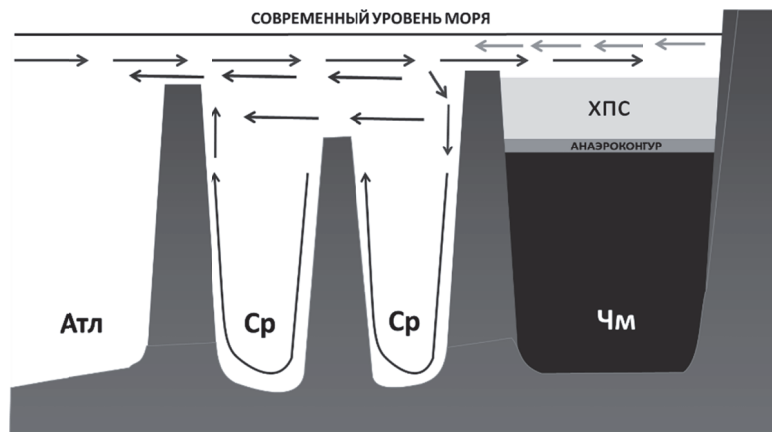


Рис. 4. Схема, объясняющая причину сохранения бореальных реликтов последнего оледенения в Черном море из-за наличия ХПС:
Атл – Атлантика, Ср – Средиземное море, ЧМ – Черное море

(Goodenough & Woodward) J. Agardh, 1842) и филофора ложноцераноидная *P. pseudoceranoidea* (S.G. Gmelin) Newroth & A.R.A. Taylor ex P.S. Dixon & L.M. Irvine, 1977).

Сейчас в составе планктона в этом море выделяют два комплекса видов: поверхностные тепловодные – эпиланктон, и глубинные холодноводные виды – батипланктон [28]. Точно так же и среди рыб Черного моря выделяются два комплекса видов – теплолюбивые тропические, субтропические и, второй, – холодолубивые бореальные виды [29].

Около 3,5 тыс. лет назад уровень воды в Атлантическом океане, Средиземном и Черном море выровнялся, что привело к возникновению современной системы течений в Босфоре и формированию современного химического состава вод Черного моря [53]. По другим данным относительная стабилизация структуры его вод произошла всего 1500 – 2000 лет назад [54].

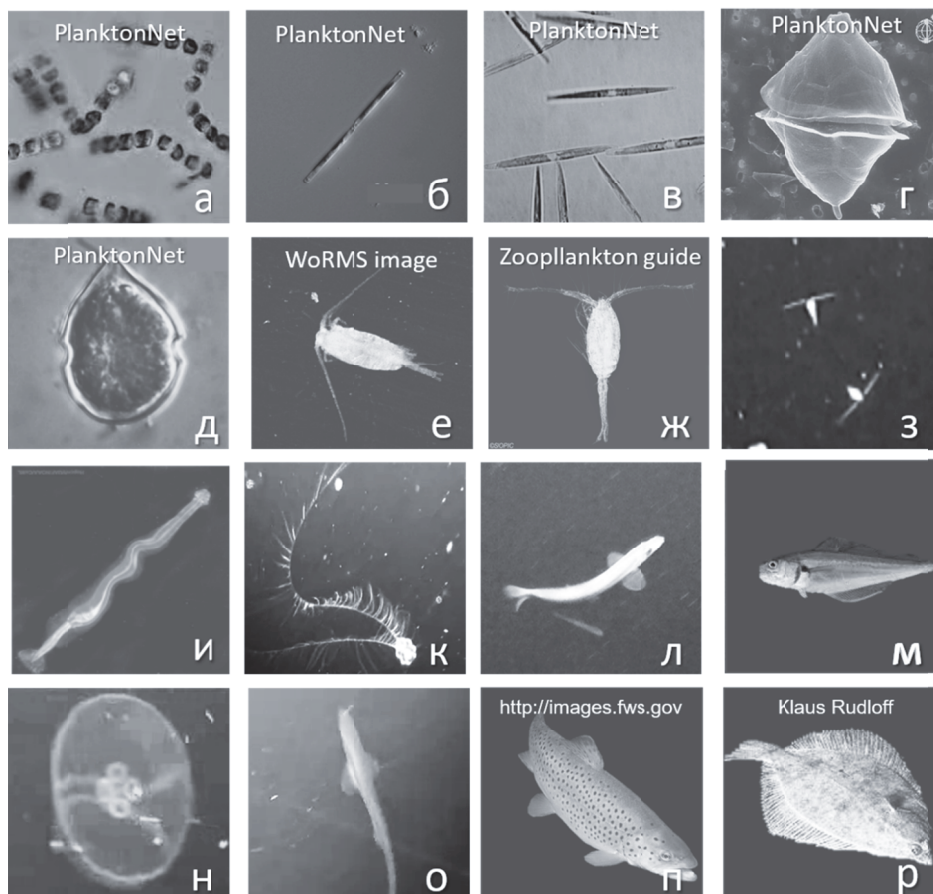
С гидробиологической точки зрения это означает, что выделение двух комплексов планктонных видов: эпипелагического и батипелагического [28], а также «бореально-атлантических реликтов» среди рыб [18], было верным с точки зрения геохронологии. Эти виды существовали в акватории Черного моря 5-7 тыс. лет, до появления первых тепловодных видов вселенцев, которые стали массово вселяться в Черном море только после того, как выровнялся уровень воды во всем Средиземноморском бассейне. С точки зрения функциональной, они, бесспорно, образуют единую [30], но очень своеобразную экологическую систему.

3. СОВРЕМЕННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПЕЛАГИАЛИ

Стацией тепловодных поверхностных пелагических видов является верхняя черноморская водная масса (ВЧВМ), которая представляет со-

бой деятельный слой глубоководной части моря, характеризующийся значительной сезонной изменчивостью и высокими вертикальными градиентами температуры и солёности. Диапазон солёности ВЧВМ 17.8-18.3‰, нижняя граница в среднем залегает на $s_t = 14.0-14.2$, средний объём 2.3 %. Солёность 18.2-18.3 ‰ имеет локальный экстремум повторяемости на общей гистограмме солёности, что также является признаком для выделения ВЧВМ в качестве отдельной водной массы [55].

Стацией бореальных атлантических реликтов в Черном море является ХПС или слоя минимальных температур между сезонным и постоянным пикноклином. Это подповерхностная водная масса, появляющаяся в результате зимнего конвективного перемешивания. Это главное условие существования холодноводного комплекса видов в Черном море. Эти условия обитания в этом слое аналогичны таковым в морских и океанических бассейнах умеренных и полярных широт, где конвекция ограничена по глубине галоклином как, например, в Балтийском, Охотском морях, субарктических районах. В тех районах Черного моря, где конвективные процессы зимой слабо развиты, ХПС имеет адвективное происхождение. До начала 1950-х гг. считалось, что ХПС возникает по всему бассейну в результате вертикального перемешивания вод зимой – это так называемая «конвекционная» гипотеза [56, 57, 58]. Затем А.Г. Колесников [59] предположил, что зимнее выхолаживание всей толщи вод в северо-западной части моря приводит к ее «сползанию» в открытые районы моря над основным пикноклином и распространяется по бассейну системой течений – это так называемая «адвекционная» гипотеза. Дальнейшие исследования показали, что процессы возникновения ХПС в центральной части моря как стация обитания пелагических гидробионтов – являются основными и аналогичны с глубокой



а – *C. socialis*; б – *L. minimus*, в – *P. delicatissima*, г – *H. triquetra*; д – *S. trochoidea*; е – *P. elongatus*; ж – *O. similis*; з – *C. euxinus**; и – *P. setosa**; к – *P. pileus**; л – *S. sprattus phalericus**; м – *M. merlangus euxinus**; н – *A. aurita*; о – *S. acanthias ponticus*; п – *S. trutta labrax*; р – *P. flesus luscus* (* – фото автора)
а- д – холодноводные фитопланктон; е- к – холодноводный зоопланктон; л-м холодноводные рыбы; н-р – умеренно холодноводные виды

Рис. 5. Представители бореальных реликтов в Черном море, сохранившиеся в нем со времен последнего ледникового периода

конвекцией в циклонических вихрях Гренландского моря или Лионского залива Средиземного моря [60, 61]. В настоящее время накоплены обширные массивы данных о том, что в реальных условиях действуют как адвекционные, так и конвекционные процессы, которые происходят в трех основных зонах Черного моря (Рис. 6).

С точки зрения гидробиологии это означает, что с началом 1980-х, когда в Черном море началась интенсивная эвтрофикация [62, 63], загрязненная вода, составляющая до 80% от общего речного стока в Черное море [55], охлаждаясь, не перемешивалась во всей водной массе кислородного слоя, а стекала в слой обитания реликтовых холодноводных пелагических видов и, соответственно, существенно ухудшая условия их обитания.

С другой стороны, началось постепенное нагревание слоя их обитания. Для этого рассмотрим критерии выделения ХПС. Обычно граница этого слоя определяется по изотерме

8° С. В определенных районах моря (например, в его юго-восточной части) поверхностная температура не опускается ниже этого уровня [55]. Однако есть и иные способы выделения ХПС, основанные на параметрах градиентов термohалинных характеристик, при этом изотерма 8° С, уже не служит жестким критерием [64, 65].

В настоящее время имеется много публикаций по многолетней динамике температуры ХПС [55, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, и др.]. Было показано, что средняя температура поверхности моря стремительно повышается в течение последних 50 лет. Происходит аномальный рост температуры ядра ХПС и нагрев основного пикноклина [55, 67; 70, 72, 73, 74, 75, и др.]. В результате чего, стало сложно выделять границы ХПС, поскольку температура ядра ХПС существенно превысила 8 °С.

С гидробиологической точки зрения это означает, что начался, нагрев слоя воды, в котором обитают холодноводные реликты последнего

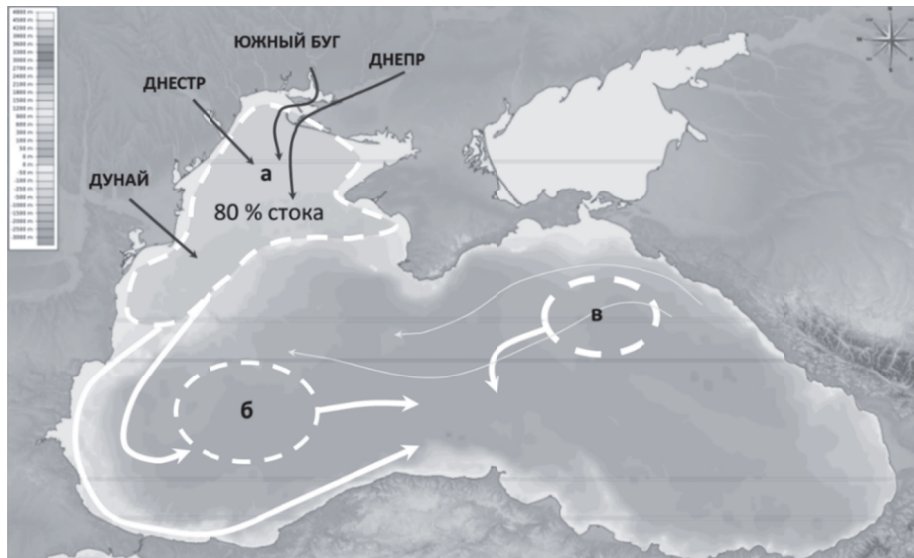


Рис. 6. Центры образования ХПС (а, б, в) в Черном море и речной сток (по [55], изменено)

оледенения. Если эта тенденция сохранится, то они могут исчезнуть, как это уже произошло с большинством бореальных реликтов в Средиземном море [76].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Холодноводная пелагическая биота Черного моря, представленная бореальными реликтами, существует в этом море, благодаря его уникальной структуре вод: над слоем основного пикноклина находится ХПС, который играет роль природного холодильника, сохранившего холодноводные виды на этих широтах.

Возникновение пелагической биоты Черного моря шло поэтапно. Первый этап наступил 20–10 тыс. лет, когда с началом таяния ледников холодные океанические воды начали поступать в Средиземное море. Второй, наступил в период 11–7 тыс. лет назад, когда морская вода из Средиземного моря с бореальной биотой заполнила бассейн Черного моря. Третий этап начался около 2,0–3,5 тыс. лет назад, после завершения стабилизации уровня вод в Средиземноморском бассейне, что привело к началу переноса субтропических видов из Атлантики, через Средиземное море, в Черное море.

Поэтому заселение вод Черного моря происходило в два этапа: сначала в него попали холодноводные реликты, которые обитают в нем 11–7 тыс. лет, а затем, после выравнивания уровня вод во всем Средиземноморье (2,0–3,5 тыс. лет назад) началось массовое вселение тепловодных видов, которые начали приноситься с нижнебосфорским течением.

За последние 50 лет в результате климатических изменений и антропогенной деятельности произошло существенное ухудшение условий существования холодноводных реликтов в Черном море. Процесс постепенного прогрева

слоя их обитания может привести к гибели этого комплекса видов, что уже почти произошло в Средиземном море. В результате этого экосистема Черного моря может потерять базовые звенья трофических цепей в виде кормового зоопланктона, шпрота и мерланга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водяницкий В.А.* О проблеме биологической продуктивности водоемов и, в частности, Чёрного моря / В.А. Водяницкий // Тр. Севастоп. биол. ст. – 1954. – Вып. 8. – С. 347–433.
2. *Невесский Е.Н.* О послеледниковой трансгрессии Черного моря / Е.Н. Невесский // ДАН СССР. – 1961. – Т. 137. – № 4.
3. *Невесская Л. А.* История Черного моря и его обитателей в позднечетвертичное время / Л. А. Невесская., Л. Б. Ильина // Палеонтологические критерии объема и ранга стратиграфических подразделений. М: Недра. 1966. – С. 78–85.
4. *Гожик П.Ф.* Положение и строение чаудинских отложений в стратотипическом разрезе / П.Ф. Гожик, А.И. Шевченко // Материалы по четвертичному периоду Украины. – Киев: Наукова думка. – 1974. – 236 с.
5. *Варуценко С.И.* Анализ позднеплейстоценовой и голоценовой истории развития природной среды северо-западного шельфа Черного моря / С.И. Варуценко // Колебания уровня Мирового океана и вопросы морской геоморфологии. – М.: Наука. – 1975. – С. 50–62.
6. *Благоволин Н.С.* Голоценовая история Черноморского бассейна / Н.С. Благоволин // Компл. исслед. Черноморской впадины. – М.: Наука. – 1976. – С. 48–53.
7. *Вронский В.А.* Маринопалинология южных морей / В.А. Вронский // Ростов н/Д: Изд-во Рост ун-та. – 1976. – 200 с.
8. *Шилик К.К.* Изменения уровня моря в позднем голоцене и палеотопография археологических памятников Северного Причерноморья античного времени // Палеогеогр. и отлож. плейстоцена южных морей СССР. – М.: Наука. – 1977. – С. 158–163.

9. *Островский А.Б.* Новые данные о стратиграфии и геохронологии плейстоценовых морских террас Черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманской области / А.Б. Островский, Я.А. Измайлов, А.П. Щеглов и др. // Палеогеография и отложения плейстоцена южных морей СССР. – М.: Наука. – 1977. – С. 61-68.
10. *Федоров П.В.* Плейстоцен Понто-Каспия / П.В. Федоров. // – М.: Наука. – 1978. – 165 с.
11. *Измайлов Я.А.* Результаты изучения строения голоценовых террас Адлерского и Лазаревского взморий (Черноморское побережье Кавказа) / Я.А. Измайлов // Колебания уровня морей и океанов за 15 000 лет. М.: Наука. – 1982. – С. 156-161.
12. *Измайлов Я.А.* Эволюционная география побережий Азовского и Черного морей / Я.А. Измайлов // Книга 1. Анапская пересыпь. Сочи: Лазаревская полиграфия. – 2005. – 175 с.
13. *Палатная Н.Н.* Влияние колебаний уровня Черного моря на формирование донных осадков в лиманах Северного Причерноморья / Н.Н. Палатная // Изменения уровня моря. М.: Изд-во МГУ. 1982. – С. 279-285.
14. *Щербаков Ф.А.* Колебания уровня Черного моря и их связь с трансгрессиями и регрессиями океана в плейстоцене / Ф.А. Щербаков // Измерения уровня моря. – М., – 1982. – С. 189-194.
15. *Балабанов И.П.* Изменение уровня и гидрохимического режима Черного и Азовского морей за последние 20 тысяч лет / И.П. Балабанов, Я.А. Измайлов // Водные ресурсы. – 1988. – № 6. – С. 54-63.
16. *Балабанов И.П.* Новое обобщение данных по хронологии позднего плейстоцена и голоцена Азово-Черноморского бассейна / И.П. Балабанов, Я.А. Измайлов // Геохронолог. четвертич. периода. – Москва. – 1989. – С. 42.
17. *Михайлеску К.Д.* Происхождение лиманов дельты Дуная / К.Д. Михайлеску // – Кишинев: Штиинца. – 1990. – 161 с.
18. *Расс Т.С.* Ихтиофауна Чёрного моря и некоторые этапы ее истории / Т.С. Расс // Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия. – Киев: Наук. Думка. – 1993. – С. 6-16.
19. *Николаев С.Д.* Изотопная палеогеография внутриконтинентальных морей / С.Д. Николаев // – М.: ВНИРО. – 1995. – 127 с.
20. *Зайцев Ю.П.* Самое синее в мире / Ю.П. Зайцев. Нью-Йорк: Изд-во ООН. – 1998. – 142 с.
21. *Winguth C.* Upper Quaternary water level history and sedimentation in the northwestern Black Sea / C. Winguth, H.K. Wong, N. Panin et al // Marine Geology. – 2000. – V. 167. – pp. 127-146.
22. *Yanko-Hombach V.* Controversy over the great flood hypothesis in the Black Sea in light of geo-logical, paleontological, and archaeological evidence / V. Yanko-Hombach, A. Gilbert, P. Dolukhanov // Quaternary International. 2007. 167-168. pp. 91-113.
23. *Янина Т.А.* Неоплейстоцен Понто-Каспия / Т.А. Янина. Часть 2. – Изд-во МГУ. – 2012. – С. 144-244.
24. *Bianchi C.* Mediterranean Sea biodiversity between the legacy from the past and a future of change / C. Bianchi, C. Morri, M. Chiantore, M. Montefalcone, V. Parravicini, A. Rovere // Life in the Mediterranean Sea: A Look at Habitat Changes Editor: Noga Stambler © Nova Science Publishers, Inc. New York. – Chapter II. – 2011. pp. 66. ISBN: 978-1-61209-644-5
25. *Anzidei M.* Coastal structure, sea-level changes and vertical motion of the land in the Mediterranean / M. Anzidei, K. Lambeck, F. Antoniol, S. Furlani, G. Mastronuzzi, E. Enrico Serpelloni, G. Vannucci // Geological Society. London: Special Publications. – 2012. – 388. pp. 453-479.
26. *Андрусов Н.И.* Послетретичная тирренская терраса в области Черного моря / Н.И. Андрусов // Bull. Intern. Acad. Sci. Boheme. – 1925. – С. 165-176.
27. *Архангельский А.Д.* Геологическое строение и история развития Черного моря / А.Д. Архангельский, Н.М. Страхов // М-Л.: Изд-во АН СССР. – 1938. – 226 с.
28. *Петипа Т.С.* О жизненных формах пелагических копепод и вопрос о структуре трофических уровней. В кн.: Структура и динамика водных сообществ и популяций / Т.С. Петипа «Наук.Думка». – К., – 1967. – С. 108-119.
29. *Манило Л.Г.* Зоогеографический состав бычковых рыб северной части азово-черноморского бассейна и его изменение от Средиземного до Азовского моря / Л.Г. Манило // Збірник праць Зоологічного музею. – 2012. – No 43. – С. 65-77.
30. *Виноградов М.Е.* Вертикальное распределение мезопланктона в открытых районах Черного моря в весенний сезон / М.Е. Виноградов, М.В. Флинт, Г.Г. Николаева // Современное состояние экосистемы Черного моря. – М.: Наука. – 1987. – С. 144-161.
31. *Ковалев А.В.* Планктон Черного моря / А.В. Ковалев – Киев: Наук. Думка – 1993. – 280 с.
32. *Ковалев А.В.* Структура зоопланктонных сообществ Атлантики и Средиземноморского бассейна / А.В. Ковалев. – Киев: Наук. Думка. – 1991. – 144 с.
33. *Degens E.T.* Chronology of the Black Sea over the last 25 000 years / E.T. Degens, D.A. Ross // Chem. Geol. – 1972. – V. 10, – N 1. pp. 1-16. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(72\)90073-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(72)90073-3).
34. *Bianchi C. N.* La biogeografia marina del Mediterraneo / C. N. Bianchi, C. Morri // Notiziario della Società Italiana di Biologia Marina. – 2002. – 42. – pp. 78-79.
35. *Boudouresque C. F.* Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities / C. F. Boudouresque // Scientific Reports of Port-Cros National Park. – 2004. – 20. pp.97-146.
36. *Coll M.* The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats / M. Coll, C. Piroddi, J. Steenbeek, K. Kaschner, F. Ben Rais Lasram, J. Aguzzi, E. Ballesteros, C. N. Bianchi, J. Corbera, T. Dailianis, R. Danovaro, M. Estrada, C. Frogliá, B. S. Galil, J. M. Gasol, R. Gertwagen, J. Gil, F. Guilhaumon, K. Kesner-Reyes, M. S. Kitsos, A. Koukouras, N. Lampadariou, E. Laxamana, C. M. López-Fé de la Cuadra, H. K. Lotze, D. Martin, D. Mouillot, D. Oro, S. Raicevich, J. Rius-Barile, Saiz-Salinas J. I., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis Carlo Nike Bianchi, Carla Morri, Mariachiara Chiantore, D., R. Villanueva, E. Voultsiadou // PLoS ONE. – 2010. – 5 (8): e11842. doi: 10.1371/journal.pone.0011842.
37. *Lejeune C.* Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. / C. Lejeune, P. Chevaldonné, C. Pergent-Martini, C. Boudouresque, T. Pérez //

- Trends in Ecology and Evolution. – 2010. – 25 (4). – pp. 250-260.
38. *Pérès J. M.* History of the Mediterranean biota and the colonization of the depths / J. M. Pérès // In Margalef, R. (Ed.). Western Mediterranean. Key environments. Pergamon Press. Oxford. UK. – 1985. – pp. 198-232.
 39. *Rovere A.* Underwater geomorphology of the rocky coastal tracts between Finale Ligure and Vado Ligure (western Liguria) / A. Rovere, M. Vacchi, M. Firpo, L. Carobene // *Quaternary International*. – 2010. – Vol. 232. – Issues 1-2. – 15 February 2011. – pp. 187-200.
 40. *Berger W. H.* The Younger Dryas cold spell: a quest for causes / W. H. Berger // *Global and Planetary Change*. 1990. 3 (3). pp. 219-237.
 41. *Виноградов А.П.* Изотопный состав серы в Черном море / А.П. Виноградов, В.А. Гринько, В.П. Устинов // *Геохимия*. – 1962. – No 10. – С. 973-977.
 42. *Куприн П.Н.* Отражение в разрезе четвертичных осадков изменений уровня Черного моря / П.Н. Куприн, В.М. Сорокин // *Изменения уровня моря*. – М.: Изд-во МГУ. – 1982. – С. 221-226.
 43. *Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы / Д.Д. Квасов. Л.: Наука. – 1975. – 278 с.
 44. *Ryan W.* Noah's Flood / W. Ryan, and W. Pitman // Touchstone Books, pub. by Simon and Schuster. – 1998. – 249 p.
 45. *Ryan W.* Noah's Flood: The New Scientific Discoveries About the Event That Changed History / W. Ryan and W. Pitman // Simon & Schuster. – 2000. – 320 p.
 46. *Ryan W.B.F.* Catastrophic flooding of the Black Sea / W. Ryan, C.O. Major, G. Lericolais, S.L. Goldstein // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. – 2003. – V. 31. – pp. 525-554.
 47. *Aksu A.* Persistent Holocene outflow from the Black Sea to the Eastern Mediterranean contradicts Noah's Flood hypothesis / A.E., Aksu, R.N., Hiscott P.J. Mudie, et al. // *GSA Today*, – 2002, – 12 (5). pp. 4-10.
 48. *Chepalyga A.* Extraordinary rate of Khvalyn transgression: huge floodings, sea level oscillations, coastline migration, influence on civilization / A. Chepalyga // 4th Intern. Conf. of UNESCO Programme 481 Dating Caspian Sea Level Change. Almaty. – 2006. – pp. 36.
 49. *Димитров П.* Черное море, Потоп и древние мифы / П. Димитров, Д. Димитров “Славена”. Варна. – 2003. – 90 с.
 50. *Capet A.* Decline of the Black Sea oxygen inventory / A. Capet, E. V. Stanev, J. M. Beckers, J. W. Murray, M. Grégoire // *Biogeosciences*. – 2016. – 13(4). – 1287-1297
 51. *Capet A.* A new intermittent regime of convective ventilation threatens the Black Sea oxygenation status / A. Capet, L. Vandenbulcke, M. Grégoire, // *Biogeosciences*. – 2020. – 17(24). – 6507-6525.
 52. *Мельников В. В.* Анаэроконтур Черного моря / В. В. Мельников // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2023. – Т. 25. – № 5. – С. 203-218. <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2023-25-5-203-218>.
 53. *Скопинцев Б.А.* Формирование современного химического состава вод Черного моря / Б.А. Скопинцев. – Л.: Гидрометеиздат. – 1975. – 336 с.
 54. *Soulet G.* Glacial hydrologic conditions in the Black Sea reconstructed using geochemical pore water profiles / G. Soulet, G. Delaygue, C. Vallet-Coulomb, M.E. Böttche, C. Sonzogni, G. Lericolais, E. Bard // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2010. – 296, 57e66.
 55. *Белокопытов В.Н.* Климатические изменения гидрологического режима Черного моря / В.Н. Белокопытов: дис. ... д-ра геогр. наук. Севастополь. – 2017. – 377 с.
 56. *Шпиндлер И.Б.* Материалы по гидрологии Черного и Азовского морей, собранные в экспедициях 1890 и 1891 гг. / И.Б. Шпиндлер, Ф.Ф. Врангель // *Зап. по гидрографии*. – 1899. – Вып. XX. – 176 с.
 57. *Шпиндлер И.Б.* Гидрология моря (океанография) / И.Б. Шпиндлер. – Петроград: Государственная Типография. – 1915. – 318 с.
 58. *Зубов Н.Н.* Морские воды и льды / Н.Н. Зубов М: Гидрометеиздат. – 1938. – 454 с.
 59. *Колесников А.Г.* Годовой ход температуры, устойчивости и вертикального турбулентного обмена тепла в открытой части Черного моря / А.Г. Колесников // *Тр. МГИ АН СССР*. – 1953. – Вып. 3. – С. 3-13.
 60. *Овчинников, И.М.* Формирование холодного промежуточного слоя в Черном море / И.М. Овчинников, Ю.И. Попов // *Океанология*. – 1987. – Т. 27. – № 5. – С. 739-746.
 61. *Овчинников И.М.* Особенности формирования холодного промежуточного слоя в Черном море при экстремальных зимних условиях / И.М. Овчинников, Ю.И. Попов // *Тр. ГОИН*. – 1990. – Вып. 190. – С. 132-151.
 62. *Yunev O. A.* Long-term variability of vertical chlorophyll a and nitrate profiles in the open Black Sea: Eutrophication and climate change / O. A. Yunev, S. Moncheva, J. Carstensen // *Marine Ecology Progress Series*. . – 2005. – Vol. 294. . – pp. 95-107. doi:10.3354/meps294095
 63. *Mikaelyan A. S.* Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea / A. S. Mikaelyan, A. G. Zatsepin, V. K. Chasovnikov // *Journal of Marine Systems*. – 2013. – Vol. 117-118. – pp. 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.02.012>
 64. *Прокопов О.И.* Сезонная изменчивость термической структуры деятельного слоя северо-восточной части Черного моря / О.И. Прокопов // *Метеорология и гидрология*. – 1997. – № 10. – С. 68-77.
 65. *Прокопов О.И.* Формирование структуры холодного промежуточного слоя в Черном море / О.И. Прокопов // *Метеорология и гидрология*. – 2000. – № 5. – С. 76-85.
 66. *Георгиев Ю.С.* О динамике холодного промежуточного слоя в Черном море / Ю.С. Георгиев // *Океанографические исследования Черного моря*. Киев: Наукова Думка. – 1967. – С. 105-113.
 67. *Блатов А.С.* Изменчивость гидрологической структуры вод Черного моря и ее связь с внешними факторами / А.С. Блатов, А.Н. Косарев, В.С. Тужилкин // *Водные ресурсы*. – 1980. – № 6. – С. 71-82.
 68. *Кривошея В.Г.* Межгодовая изменчивость обновления холодного промежуточного слоя Черного моря / В.Г. Кривошея, И.М. Овчинников, А.Ю. Скирга // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря* / под ред. А.Г. Зацепина, М.В. Флинта – М.: Наука. – 2002. – С. 27-39.
 69. *Титов В.Б.* Влияние многолетней изменчивости климатических условий на гидрологическую структуру и межгодовое обновление холодного промежуточного слоя в Черном море / В.Б. Титов // *Океанология*. – 2003. – Т. 43. – № 2. – С. 176-184.

70. Белокопытов В.Н. Оценки междесятилетней изменчивости температуры и солености в Черном море в период 1951–1995 гг. / В.Н. Белокопытов, И.Г. Шокурова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2005. – Вып. 12. – С. 12-21.
71. Белокопытов В.Н. Межгодовая изменчивость обновления вод холодного промежуточного слоя в последние десятилетия / В.Н. Белокопытов // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 5. – С. 33-41.
72. Гертман И.Ф. Термохалинная структура вод моря / И.Ф. Гертман // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 4: Черное море, вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. А.И. Симонова, Э.Н. Альтмана С.Пб: Гидрометеоздат. – 1991. – Ч. II.1. – С.146-195.
73. Дегтерев А.Х. Оценка повышения температуры деятельного слоя Черного моря за 1985-1997 гг. / А.Х. Дегтерев // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 6. – С. 72-76.
74. Полонский А.Б. Долговременные тенденции в изменчивости глубоководных термохалинных характеристик Черного моря / А.Б. Полонский, Е.А. Ловенкова // Морской гидрофизический журнал. – 2006. – № 4. – С. 18-30.
75. Полонский А.Б. Тренд температуры и солености деятельного слоя в Черном море во второй половине XX века и его возможные причины / А.Б. Полонский, Е.А. Ловенкова // Изв. РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 40. – № 6. – С. 832-841.
76. Мельников В.В. Катастрофические изменения биотопа глубоководных районов Черного моря и экосистемные сдвиги / В.В. Мельников, В.Н. Белокопытов, А.В. Масевич, Е.Ф. Васечкина // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тез. докл. II Междунар. науч.-практ. конф., 5–9 сентября 2022 г., Севастополь, Российская Федерация. – Севастополь: ФИЦ Ин-БЮМ. – 2022. – С. 120-121. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49561131>.

REASONS FOR THE APPEARANCE AND PRESERVATION OF BOREAL PELAGIC BIOTA IN THE BLACK SEA

© 2024 V.V. Melnikov

Federal Research Center, A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the South Seas of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

The work is devoted to the question of describing the uniqueness of the ecosystem of the Black Sea, which has preserved in its depths a complex of boreal pelagic relics preserved since the last glacial epoch. The author of this paper suggests that the processes of the emergence of boreal biota in the Black Sea should be considered on the basis of the theory of the change of biocenoses of the Mediterranean Sea in glacial and interglacial periods due to changes in the directions of currents and the structure of water masses (Pérès, 1985). Currently, many generalizing works on the history of the Mediterranean biota have been published (Bianchi et al., 2011), which convincingly showed that the patterns of changes in the biodiversity of the entire Mediterranean basin are associated with the processes of periodic climate changes (glaciations and warming), sea level fluctuations, changes in currents and stratification of water masses, paleogeographic and ecological causes. Based on this, the author identifies the main stages of the transformation of the freshwater lake ecosystem into a boreal marine one, and then, about 3.3 thousand years ago, into the modern ecosystem of the Black Sea, consisting of warm-water intruders living in the upper Black Sea water mass and relics preserved since the last glaciation in the Cold Intermediate Layer (CIL). The latter is a unique feature of the Black Sea, which allows it to preserve boreal species in this natural “refrigerator”. The author notes that the processes of global warming have already led to a gradual heating of the CIL core (Belokopytov, 2017), which in the future may lead to the gradual death of cold-water species, many of which are important in the trophic chains of the ecosystem.

Keywords: Black Sea; ecosystem; cold-water relics; migrations; communities

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-109-121

EDN: WZRCEL

REFERENCES

1. Vodyanitsky V.A. On the problem of biological productivity of reservoirs and, in particular, the Black Sea / V.A. Vodyanitsky // Tr. Sevastop. Biol. art. – 1954. – Issue 8. – pp. 347-433.
2. Nevevsky E.N. On the post-glacial transgression of the Black Sea / E.N. Nevevsky // DAN USSR. – 1961. – Vol. 137. – No. 4.
3. Nevevskaya L. A. The history of the Black Sea and its inhabitants in the Late Quaternary / L.A. Nevevskaya., L. B. Ilyina // Paleontological criteria for the volume and rank of stratigraphic units. M: The bowels. 1966. – pp. 78-85.
4. Gojik P.F. The position and structure of the Chaudin deposits in the stratotypic section / P.F. Gojik, A.I. Shevchenko // Materials on the Quaternary period of Ukraine. – Kiev: Scientific Duma. – 1974. – 236 c.
5. Varushchenko S.I. Analysis of the Late Pleistocene and Holocene history of the development of the natural environment of the northwestern shelf of the Black Sea / S.I. Varushchenko // Fluctuations in the level of the World ocean and issues of marine geomorphology. – M.: Nauka. - 1975. – pp. 50-62.

6. *Blagovolin N.S.* Holocene history of the Black Sea basin / N.S. Blagovolin // Set of studies. The Black Sea Basin. – M.: Science. – 1976. – pp. 48-53.
7. *Vronsky V.A.* Marinopalinity of the southern seas / V.A. Vronsky // Rostov n/A: Publishing House of the Rostov University. – 1976. – 200 p.
8. *Shilik K.K.* Sea level changes in the late Holocene and paleotopography of archaeological sites of the Northern Black Sea region of ancient times // Paleogeogr. and deposits. Pleistocene of the Southern Seas of the USSR. – M.: Nauka. – 1977. – pp. 158-163.
9. *Ostrovsky A.B.* New data on the stratigraphy and geochronology of Pleistocene marine terraces of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch-Taman region / A.B. Ostrovsky, Ya.A. Izmailov, A.P. Shcheglov et al. // Paleogeography and deposits of the Pleistocene of the southern seas of the USSR. – M.: Nauka. – 1977. – pp. 61-68.
10. *Fedorov P.V.* Pleistocene of the Ponto-Caspian Sea / P.V. Fedorov // – M.: Science. – 1978. – 165 p.
11. *Izmailov Ya.A.* Results of studying the structure of Holocene terraces of the Adler and Lazarev seas (Black Sea coast of the Caucasus) / Ya.A. Izmailov // Fluctuations in the level of seas and oceans for 15,000 years. M.: Nauka. – 1982. – pp. 156-161.
12. *zmailov Ya.A.* Evolutionary geography of the coasts of the Azov and Black Seas / Ya.A. Izmailov // Book 1. Anapa embankment. Sochi: Lazarevskaya polygraphy. – 2005. – 175 p.
13. *Palatnaya N.N.* The influence of fluctuations in the Black Sea level on the formation of bottom sediments in the estuaries of the Northern Black Sea region / N.N. Palatnaya // Sea level changes. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 1982. – pp. 279-285.
14. *Shcherbakov F.A.* Fluctuations in the Black Sea level and their connection with ocean transgressions and regressions in the Pleistocene / F.A. Shcherbakov // Sea level measurements. – M., – 1982. – pp. 189-194.
15. *Balabanov I.P.* Changes in the level and hydrochemical regime of the Black and Azov seas over the past 20 thousand years / I.P. Balabanov, Ya.A. Izmailov // Water resources. – 1988. – No. 6. – pp. 54-63.
16. *Balabanov I.P.* A new generalization of data on the chronology of the Late Pleistocene and Holocene of the Azov-Black Sea basin / I.P. Balabanov, Ya.A. Izmailov // Geochronologist. Quaternary. period. – Moscow. – 1989. – p. 42.
17. *Mihajlescu K.D.* The origin of the estuaries of the Danube Delta / K.D. Mihajlescu // – Chisinau: Stiinza. – 1990. – 161 p.
18. *Rass T.S.* Ichthyofauna of the Black Sea and some stages of its history / T.S. Russ // Ichthyofauna of the Black Sea bays in conditions of anthropogenic impact. – Kiev: Nauk. Dumka. – 1993. – pp. 6-16.
19. *Nikolaev S.D.* Isotopic paleogeography of the intracontinental seas / S.D. Nikolaev // – M.: VNIRO. – 1995. – 127 p.
20. *Zaitsev P.* The Big sun in the world / Yu.P. Zaitsev. New York: UN Publishing House. – 1998. – 142 p.
21. *Winguth C.* Upper Quaternary water level history and sedimentation in the northwestern Black Sea / C. Winguth, H.K. Wong, N. Panin et al // Marine Geology. – 2000. – V. 167. – pp. 127-146.
22. *Yanko-Hombach V.* Controversy over the great flood hypothesis in the Black Sea in light of geo-logical, paleontological, and archaeological evidence / V. Yanko-Hombach, A. Gilbert, P. Dolukhanov // Quaternary International. 2007. 167-168. pp. 91-113.
23. *Yanina T.A.* Neopleistocene of the Ponto-Caspian Sea / T.A. Yanina. Part 2. – Publishing house of Moscow State University. – 2012. – pp. 144-244.
24. *Bianchi C.* Mediterranean Sea biodiversity between the legacy from the past and a future of change / C. Bianchi, C. Morri, M. Chiantore, M. Montefalcone, V. Parravicini, A. Rovere // Life in the Mediterranean Sea: A Look at Habitat Changes Editor: Noga Stambler © Nova Science Publishers, Inc. New York. – Chapter II. – 2011. pp. 66. ISBN: 978-1-61209-644-5
25. *Anzidei M.* Coastal structure, sea-level changes and vertical motion of the land in the Mediterranean / M. Anzidei, K. Lambeck, F. Antonioli, S. Furlani, G. Mastronuzzi, E. Enrico Serpelloni, G. Vannucci // Geological Society. London: Special Publications. – 2012. – 388. pp. 453-479.
26. *Andrusov N.I.* Post-tertiary Tyrrhenian terrace in the Black Sea region / N.I. Andrusov // Bull. Intern. Acad. Sci. Boheme. – 1925. – pp. 165-176.
27. *Arkhangelsky A.D.* Geological structure and history of the development of the Black Sea / A.D. Arkhangelsky, N.M. Strakhov // /M.L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. – 1938. – 226 p.
28. *Petipa T.S.* On the life forms of pelagic copepods and the question of the structure of trophic levels. In: Structure and dynamics of aquatic communities and populations / T.S. Petipa “Sciences.Dumka”. – K., – 1967, – pp. 108-119.
29. *Manilo L. G.* Zoogeographic composition of bychkovykh fish of the northern part of the Azov-Black Sea basin and its change from the mid-Earth to the Sea of Azov / L. G. Manilo // collection of works of the Zoological Museum. – 2012. – No 43. – Pp. 65-77.
30. *Vinogradov M.E.* Vertical distribution of zooplankton in open areas of the Black Sea in the spring season / M.E. Vinogradov, M.V. Flint, G.G. Nikolaeva // The current state of the ecosystem of the Black Sea. – M.: Nauka. – 1987. – pp. 144-161.
31. *Kovalev A.V.* Plankton of the Black Sea / A.V. Kovalev – Kiev: Nauk. Dumka – 1993. – 280 p.
32. *Kovalev A.V.* The structure of zooplankton communities of the Atlantic and the Mediterranean basin / A.V. Kovalev. – Kiev: Nauk. A thought. – 1991. – 144 p.
33. *Degens E.T.* Chronology of the Black Sea over the last 25 000 years / E.T. Degens, D.A. Ross // Chem. Geol. – 1972. – V. 10, – N 1. pp. 1-16. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(72\)90073-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(72)90073-3).
34. *Bianchi C. N.* La biogeografia marina del Mediterraneo / C. N. Bianchi, C. Morri // Notiziario della Società Italiana di Biologia Marina. – 2002. – 42. – pp. 78-79.
35. *Boudouresque C. F.* Marine biodiversity in the Mediterranean: status of species, populations and communities / C. F. Boudouresque // Scientific Reports of Port-Cros National Park. – 2004. – 20. pp.97-146.
36. *Coll M.* The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats / M. Coll, C. Piroddi, J. Steenbeek, K. Kaschner, F. Ben Rais Lasram, J. Aguzzi, E. Ballesteros, C. N. Bianchi, J. Corbera, T. Dailianis, R. Danovaro, M. Estrada, C. Frogliani, B. S. Galil, J. M. Gasol, R. Gertwagen, J. Gil, F. Guilhaumon, K. Kesner-Reyes, M. S. Kitsos, A. Koukouras, N. Lampadariou, E.

- Laxamana, C. M. López-Fé de la Cuadra, H. K. Lotze, D. Martin, D. Mouillot, D. Oro, S. Raicevich, J. Rius-Barile, Saiz-Salinas J. I., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis Carlo Nike Bianchi, Carla Morri, Mariachiara Chiantore, D., R. Villanueva, E.Voultsiadou // PLoS ONE. – 2010. – 5 (8): e11842. doi: 10.1371/journal.pone.0011842.
37. *Lejeune C.* Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. / C. Lejeune, P. Chevaldonné, C. Pergent-Martini, C. Boudouresque, T.Pérez // Trends in Ecology and Evolution. – 2010. – 25 (4). – pp. 250-260.
 38. *Pérès J.M.* History of the Mediterranean biota and the colonization of the depths / J.M. Pérès // In Margalef, R. (Ed.). Western Mediterranean. Key environments. Pergamon Press. Oxford. UK. – 1985. – pp. 198-232.
 39. *Rovere A.* Underwater geomorphology of the rocky coastal tracts between Finale Ligure and Vado Ligure (western Liguria) / A. Rovere, M. Vacchi, M. Firpo, L. Carobene // Quaternary International. – 2010. – Vol. 232. – Issues 1-2. – 15 February 2011. – pp. 187-200.
 40. *Berger W.H.* The Younger Dryas cold spell: a quest for causes / W. H. Berger // Global and Planetary Change. 1990. 3 (3). pp. 219-237.
 41. *Vinogradov A.P.* Isotopic composition of sulfur in the Black Sea / A.P. Vinogradov, V.A. Grinko, V.P. Ustinov // Geochemistry. - 1962. – No. 10. – pp. 973-977.
 42. *Kuprin P.N.* Reflection of changes in the level of the Black Sea in the context of quaternary precipitation / P.N. Kuprin, V.M. Sorokin // Changes in sea level. – M.: Publishing House of Moscow State University. – 1982. – pp. 221-226.
 43. *Kvasov D.D.* Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe / D.D. Kvasov. L.: Nauka. - 1975. – 278 p.
 44. *Ryan W.* Noah's Flood / W. Ryan, and W. Pitman // Touchstone Books, pub. by Simon and Schuster. – 1998. – 249 p.
 45. *Ryan W.* Noah's Flood: The New Scientific Discoveries About the Event That Changed History / W. Ryan and W. Pitman // Simon & Schuster. – 2000. – 320 p.
 46. *Ryan W.B.F.* Catastrophic flooding of the Black Sea / W. Ryan, C.O.Major, G. Lericolais, S.L. Goldstein // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2003. – V. 31. – pp. 525-554.
 47. *Aksu A.* Persistent Holocene outflow from the Black Sea to the Eastern Mediterranean contradicts Noah's Flood hypothesis / A.E., Aksu, R.N., Hiscott P.J. Mudie, et al. // GSA Today, – 2002, – 12 (5). pp. 4-10.
 48. *Chepalyga A.* Extraordinary rate of Khvalyn transgression: huge floodings, sea level oscillations, coastline migration, influence on civilization / A. Chepalyga // 4th Intern. Conf. of UNESCO Programme 481 Dating Caspian Sea Level Change. Almaty. – 2006. – pp. 36.
 49. *Dimitrov P.* The Black Sea, the Flood and ancient myths / P. Dimitrov, D. Dimitrov "Slavena". Varna. – 2003. – 90 p.
 50. *Capet A.* Decline of the Black Sea oxygen inventory / A. Capet, E. V. Stanev, J. M. Beckers, J. W. Murray, M. Grégoire // Biogeosciences. – 2016. – 13(4). – 1287-1297
 51. *Capet A.* A new intermittent regime of convective ventilation threatens the Black Sea oxygenation status / A. Capet, L.Vandenbulcke, M. Grégoire, // Biogeosciences. – 2020. – 17(24). – 6507-6525.
 52. *Melnikov V. V.* Anaerocontour of the Black Sea / V. V. Melnikov // Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2023. – Vol. 25. – No. 5. – pp. 203-218. <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2023-25-5-203-218>.
 53. *Skopintsev B.A.* Formation of the modern chemical composition of the waters of the Black Sea / B.A. Skopintsev. – L.: Hydrometeoizdat. – 1975. – 336 p.
 54. *Soulet G.* Glacial hydrologic conditions in the Black Sea reconstructed using geochemical pore water profiles / G. Soulet, G.Delagüe, C.Vallet-Coulomb, M.E.Böttche, C. Sonzogni, G. Lericolais, E. Bard // Earth and Planetary Science Letters. – 2010. – 296, 57e66.
 55. *Belokopytov V.N.* Climatic changes in the hydrological regime of the Black Sea / V.N. Belokopytov: dis. ... Doctor of Geographical Sciences. Sevastopol. – 2017. – 377 p.
 56. *Shpindler I.B.* Materials on the hydrology of the Black and Azov Seas collected in the expeditions of 1890 and 1891 / I.B. Shpindler, F.F. Wrangel // Notes on hydrography. – 1899. – Issue XX. – 176 p.
 57. *Shpindler I.B.* Hydrology of the sea (oceanography) / I.B. Shpindler. – Petrograd: State Printing House. - 1915. – 318 p.
 58. *Zubov N.N.* Sea waters and ice / N.N. Zubov M.: Hydrometeoizdat. – 1938. – 454 p.
 59. *Kolesnikov A.G.* Annual course of temperature, stability and vertical turbulent heat exchange in the open part of the Black Sea / A.G. Kolesnikov // Tr. MGI of the USSR Academy of Sciences. – 1953. – Issue 3. – pp. 3-13.
 60. *Ovchinnikov, I.M.* Formation of a cold intermediate layer in the Black Sea / I.M. Ovchinnikov, Yu.I. Popov // Oceanology. – 1987. – vol. 27. – No. 5. – pp. 739-746.
 61. *Ovchinnikov I.M.* Features of the formation of a cold intermediate layer in the Black Sea under extreme winter conditions / I.M. Ovchinnikov, Yu.I. Popov // Tr. GOIN. – 1990. – Issue 190. – pp. 132-151.
 62. *Yunev O. A.* Long-term variability of vertical chlorophyll a and nitrate profiles in the open Black Sea: Eutrophication and climate change / O. A.Yunev, S. Moncheva, J. Carstensen // Marine Ecology Progress Series. . – 2005. – Vol. 294. . – pp. 95-107. doi:10.3354/meps294095
 63. *Mikaelyan A. S.* Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea / A. S. Mikaelyan, A. G. Zatsepin, V. K. Chasovnikov // Journal of Marine Systems. – 2013. – Vol. 117-118. – pp. 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.02.012>
 64. *Prokopov O.I.* Seasonal variability of the thermal structure of the active layer of the northeastern part of the Black Sea / O.I. Prokopov // Meteorology and hydrology. - 1997. – No. 10. – pp. 68-77.
 65. *Prokopov O.I.* Formation of the structure of the cold intermediate layer in the Black Sea / O.I. Prokopov // Meteorology and hydrology. - 2000. – No. 5. – pp. 76-85.
 66. *Georgiev Yu.S.* On the dynamics of the cold intermediate layer in the Black Sea / Yu.S. Georgiev // Oceanographic studies of the Black Sea. Kiev: Naukova Dumka. - 1967. – pp. 105-113.
 67. *Blatov A.S.* Variability of the hydrological structure of the waters of the Black Sea and its relation to external factors / A.S. Blatov, A.N. Kosarev, V.S. Tuzhilkin // Water resources. - 1980. – No. 6. – pp. 71-82.

68. *Krivosheya V.G.* Interannual variability of renewal of the cold intermediate layer of the Black Sea / V.G. Krivosheya, I.M. Ovchinnikov, A.Yu. Skirta // Complex studies of the north-eastern part of the Black Sea / edited by A.G. Zatsepin, M.V. Flint – M.: Nauka. - 2002. – pp.27-39.
69. *Titov V.B.* The influence of long-term variability of climatic conditions on the hydrological structure and interannual renewal of the cold intermediate layer in the Black Sea / V.B. Titov // *Oceanology*. – 2003. – vol. 43. – No. 2. – pp. 176-184.
70. *Titov V.B.* The influence of long-term variability of climatic conditions on the hydrological structure and interannual renewal of the cold intermediate layer in the Black Sea / V.B. Titov // *Oceanology*. – 2003. – vol. 43. – No. 2. – pp. 176-184.
71. *Belokopytov V.N.* Interannual variability of the renewal of waters of the cold intermediate layer in recent decades / V.N. Belokopytov // *Marine Hydrophysical Journal*. – 2010. – No. 5. – pp. 33-41.
72. *Gertman I.F.* Thermohaline structure of sea waters / I.F. German // *Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR*. Vol. 4: Black Sea, issue 1. Hydrometeorological conditions / edited by A.I. Simonov, E.N. Altman S.Pb: Hydrometeorological Publishing House. – 1991. – Part II.1. – S.146-195.
73. *Degterev A.H.* Assessment of the temperature increase of the active layer of the Black Sea for 1985-1997 / A.H. Degterev // *Meteorology and hydrology*. - 2000. – No. 6. – pp. 72-76.
74. *Polonsky A.B.* Long-term trends in the variability of deep-sea thermohaline characteristics of the Black Sea / A.B. Polonsky, E.A. Lovenkova // *Marine Hydrophysical Journal*. – 2006. – No. 4. – pp. 18-30.
75. *Polonsky A.B.* Long-term trends in the variability of deep-sea thermohaline characteristics of the Black Sea / A.B. Polonsky, E.A. Lovenkova // *Marine Hydrophysical Journal*. – 2006. – No. 4. – pp. 18-30.
76. *Melnikov V.V.* Catastrophic changes in the biotope of the deep-water areas of the Black Sea and ecosystem shifts / V.V. Melnikov, V.N. Belokopytov, A.V. Masevich, E.F. Vasechkina // The study of aquatic and terrestrial ecosystems: history and modernity: thesis of the II International Scientific and Practical Conference, September 5-9, 2022, Sevastopol, Russian Federation. – Sevastopol: FITZ InBUM. – 2022. – pp. 120-121. <https://elibrary.ru/item.asp?id=49561131>.