



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра Геоэкологии, природопользования и экологической
безопасности**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Магистерская диссертация

**На тему: «Механизмы эвтрофирования и биологические методы
борьбы с ними»**

Исполнитель **Сульмова Янина Валерьевна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« » декабря 2021 г.

Санкт-Петербург
2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Эвтрофикация морских экосистем как глобальная и региональная экологическая проблема	6
1.1 Основные причины эвтрофикации прибрежных морских вод	6
1.2 Экологические следствия эвтрофикации	9
Глава 2. Речной сток в бассейне Чёрного моря и его особенности	13
2.1 Климатические факторы формирования речного стока и характеристика его сезонной и многолетней динамики	13
2.1.1. Река Дунай	16
2.1.2. Реки Днепр и Южный Буг	18
2.1.3. Река Днестр	19
2.1.4. Южное и восточное побережье	20
2.2.5. Северо-восточные акватории Черного моря	21
Глава 3. Формирование паводочного экстремального стока и его характеристики	29
3.1 Паводочный сток реки Ашамба	29
3.2 Экосистемные последствия паводочного стока и эвтрофикации	35
Глава 4. Биологические методы борьбы с эвтрофикацией	37
Глава 5. Практические рекомендации	48
5.1 Использование марикультурных хозяйств с целью очистки прибрежных морских вод от биогенных элементов	49
Заключение	70
Список использованных источников	74

Введение

Экологическая безопасность – это одно из важных направлений государственной политики России и международного сотрудничества. Понятие экологическая безопасность морской среды означает безопасное, сбалансированное, стабильное состояние морской экосистемы. В результате роста антропогенного воздействия морские акватории подвергаются большому прессу, в частности, для Черного моря стабильность состояния морской экосистемы нарушена. Одной из глобальных проблем, возникшей в результате человеческой деятельности, является эвтрофикация прибрежных морских акваторий.

Антропогенное изменение трофического статуса морских вод происходит прежде всего в прибрежной зоне. Проблема эвтрофикации прибрежных акваторий Черного моря стала актуальной с 1970-х гг. По результатам многочисленных научно-исследовательских проектов на сегодняшний день состояние акватории Черного моря оценивается как удовлетворительное. Экосистемы Чёрного моря в прибрежных районах в настоящий момент вызывает определённую тревогу, очень часто в наши дни отмечаются случаи загрязнения морской среды загрязняющими веществами различного генезиса.

Основной причиной эвтрофикации вод является поступление большого количества биогенных элементов, в частности поступление N (азот) и P (фосфор), в результате речного стока. Черное море особенно подвержено влиянию материкового стока в связи с тем, что оно является внутренним, замкнутым водным объектом с большим водосборным бассейном.

Актуальность данного исследования состоит в недостаточной практической изученности вопросов эвтрофикации морских вод и биологических методов борьбы с ней, а также большая значимость данного вопроса в глобальном масштабе.

В диссертации будут рассмотрены механизмы эвтрофирования прибрежных вод Черного моря, влияние речного стока на увеличение содержания биогенных элементов в морских акваториях и биологические методы борьбы с развитием процесса эвтрофикации.

Целью магистерской диссертации является теоретическое исследование проблемы эвтрофирования Черного моря и биологических методов борьбы с ней.

Поставленная цель реализуется через следующие **задачи**:

1. Изучить основные причины эвтрофикации прибрежных вод Черного моря
2. Охарактеризовать влияние речного стока на количество биогенных элементов в прибрежных водах
3. Дать характеристику экстремального паводочного стока рек.
4. Изучить экосистемные последствия паводочного стока и эвтрофикации в целом
5. Дать характеристику биологическим методам борьбы с эвтрофикацией
6. Предложить практические рекомендации по применению биологических методов в изучаемом регионе

Объект исследования: прибрежные акватории Черного моря.

Предмет исследования: Изучение процессов эвтрофирования прибрежных морских вод в результате поступления биогенных элементов с речным стоком.

Практическая значимость работы заключается в том, что предлагаемые практические решения позволят развивать применение биологических методов, а также снизят количество биогенных элементов в прибрежных акваториях, улучшат качество вод, имеющих важное социально-экономическое значение в регионе.

Степень изученности проблемы: несмотря на большое количество литературы, посвященной эвтрофированию прибрежной акватории Черного моря, недостаточно современных публикаций, посвященных вопросам применения биологических методов с целью предотвращения развития эвтрофикации в результате поступления биогенных элементов в Черное море. Большинство изученных работ, посвященных биологическим методам борьбы с эвтрофикацией не освещают новейшие методы и принципы расчета применения современных биологических методов борьбы с эвтрофированием Черного моря. В литературе, рассматривающей применение биологических методов в рамках аквакультурных хозяйств, весьма поверхностно затрагивается тема санитарной очистки морских вод с целью экологического восстановления экосистем, а не экономической составляющей, характерной для направления аквакультуры. В результате на данный момент отсутствует работа, которая бы вместила в себя оба аспекта, которые без сомнения являются перспективными в применении биологических методов борьбы с эвтрофированием Черного моря.

Научная новизна: подробно рассмотрена возможность применения биологических методов борьбы с эвтрофированием Черного моря в совокупности с развитием марикультуры в изучаемом регионе на основе анализа литературных источников и мирового опыта.

Личный вклад автора заключается в обосновании темы, цели, задач и разработке конструктивных решений по сокращению количества биогенных элементов в Черном море на основе внедрения марикультурных ферм, способных оказывать существенный вклад в борьбу с эвтрофированием благодаря поглощению биогенных элементов в прибрежной акватории Черного моря.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографии из 43 наименований. Общий объем работы 77 стр., включая 37 иллюстраций и 3 таблицы.

Глава 1. Эвтрофикация морских экосистем как глобальная и региональная экологическая проблема

1.1 Основные причины эвтрофикации прибрежных морских вод

К концу 20-го столетия стало очевидным, что деятельность человека нарушает естественный ход и баланс биохимических процессов на планете, влияя на естественную среду. В результате различного рода деятельности, а именно создание туристических и рекреационных зон отдыха, разработка нефтяных и газовых месторождений, мест переброски углеводородного топлива, а также масштабное расселение вдоль береговой линии, увеличиваются темпы освоения прибрежных морских зон, что приводит к дестабилизации биотопов таких территорий.

В связи с резким увеличением антропогенной нагрузки экосистемы прибрежных зон Черного моря подвергаются интенсивной трансформации и потере исходных качеств [36].

Все перечисленные меры воздействия несут в себе потенциальные угрозы для равновесия морской экосистемы. Основной и по сути главной проблемой антропогенного воздействия является эвтрофикация морских прибрежных вод.

Эвтрофикацией называют переудобрение природных водоемов соединениями, преимущественно, азота и фосфора, вызывающими бурное развитие водных растений. Эти вещества поступают в море с речными водами, со стоками городов и промышленных объектов, из атмосферы [16].

Исходя из обобщенного определения понятия эвтрофикация, следует выделить более точное определение антропогенной эвтрофикации, которая и будет рассмотрена в данной диссертации.

На Международном симпозиуме по вопросам эвтрофирования поверхностных вод в 1976 году принята следующая формулировка: антропогенное эвтрофирование - это увеличение поступления в воду питательных для растений веществ вследствие деятельности человека в

бассейнах водных объектов и вызванное этим повышение продуктивности водорослей и высших водных растений [40].

Антропогенное эвтрофирование водоемов стали рассматривать как самостоятельный процесс, принципиально отличающийся от естественного эвтрофирования водоемов [40].

Естественное эвтрофирование - процесс очень медленный во времени (тысячи, десятки тысяч лет), развивается главным образом вследствие накопления донных отложений и обмеления водоемов [40].

Антропогенное эвтрофирование - процесс очень быстрый (годы, десятки лет), отрицательные последствия его для водоемов проявляются зачастую в очень резкой и уродливой форме [40].

Среди всех негативно влияющих факторов воздействия на морские прибрежные экосистемы наиболее ярко выражено влияние стока рек. С поверхностным стоком в прибрежные зоны попадает большое количество биогенных элементов, которые приводят к резкому увеличению продукции фитопланктона, что является предшественником развития процесса эвтрофикации.

Проблемы эвтрофикации можно рассматривать в трех аспектах:

- причинные факторы,
- прямые воздействия,
- косвенные воздействия.

К причинным факторам относятся поступление биогенных веществ, повышенная концентрация биогенов и изменения в отношении показателя Редфилда [35].

Прямые воздействия имеют непосредственное отношение к фитопланктону и подводной растительности, которые являются основными факторами первичного продуцирования.

Косвенные воздействия относятся к видам, обитающим в бентосной зоне, т.е. к зоопланктону, рыбам и беспозвоночной придонной фауне (макрозообентосу) [35].

Наиболее важные симптомы эвтрофикации:

- увеличение концентрации общего фосфора и общего азота в воде;
- значительное увеличение биомассы первичной продукции фитопланктона;
- увеличение мутности и уменьшение прозрачности воды вследствие большого количества сестона;
- массовое развитие донной макрофлоры, эпифитных водорослей и донной микрофлоры в прибрежной зоне водоема;
- увеличение количества зообентоса на небольших и умеренных глубинах;
- увеличение численности бактериопланктона;
- изменение видового состава и смена доминирующих видов планктона, бентоса и ихтиофауны;
- возникновение сильного дефицита растворенного кислорода в глубоких слоях воды;
- заиление грунтов водоема в результате усиления седиментации взвеси;
- увеличение в донных отложениях биогенных элементов, появление сероводорода;
- гибель зообентоса на больших глубинах из-за анаксийных условий (бентическая пустыня).

Существует большое количество международных проектов по сохранению экосистемы Черного моря. Так, например, проект восстановления экосистемы Черного моря (BSERP) призван внести вклад в устойчивое человеческое развитие в регионе Черного моря.

Национальные и международные усилия прибрежных государств Черного моря должны быть направлены на достижение двух целей: Промежуточная цель: предотвратить рост давления со стороны деятельности человека, когда переходные экономики прибрежных государств Черного моря начинают восстанавливаться; И, стратегическая цель: добиться экологических условий в Черном море, подобных тем, которые наблюдались в 1960-х годах.

1.2 Экологические следствия эвтрофикации

Увеличение биогенной нагрузки и аккумуляция органического вещества в прибрежных водах Чёрного моря ускоряют обмен биогенов в водной толще.

В сжатом перечислении в результате эвтрофировании морских прибрежных вод происходит резкое увеличение биомассы и первичной продукции фитопланктона, в большом количестве развиваются динофлагелляты, вызывающие «цветение» воды, а массовые вспышки данного вида приводят к явлению «красных приливов». Крупные формы с длительными циклами замещаются на мелкие короткоцикловые. Увеличивается доминирование какой-то группы животных и растений на разных трофических уровнях. Развитие видов, лучше адаптированных к изменяющимся условиям [40].

Изменение видовой структуры популяций, прозрачность воды, содержание в воде растворенного кислорода - все эти непосредственные или отдаленные последствия эвтрофикации достаточно хорошо изучены и иногда используются при индикации эвтрофирования, что мы увидим ниже.

Развивающийся ход эвтрофикации, как мы уже выяснили, влечет за собой цепь экологических процессов.

Одним из наиболее масштабных это развитие зон «цветения» прибрежных морских вод. В результате резкого роста численности фитопланктона и их частиц происходит снижение прозрачности воды, что в свою очередь также влияет на получение достаточного количества солнечного света для нижних ярусов водной толщи (фитали). В результате снижения освещенности водной толщи прибрежных вод происходит нарушение местообитания некоторых гидробионтов и угнетение роста бентических сообществ.

Одним из примеров влияния снижения прозрачности вод на растительные биоценозы было исчезновение знаменитого «Филлофорного поля Зернова». Здесь наблюдается преобладание водоросли рода *Phyllophora*. К середине 80-х годов в результате активного развития антропогенной

эвтрофикации остались лишь островки «Филлофорного поля Зернова» общей площадью менее 500 км² с незначительной плотностью водорослей. В связи с чем промысловое значение филлофоры из этого поля как сырья для агаровой промышленности было утрачено (Рисунок 1.2, Рисунок 1.3) [16].

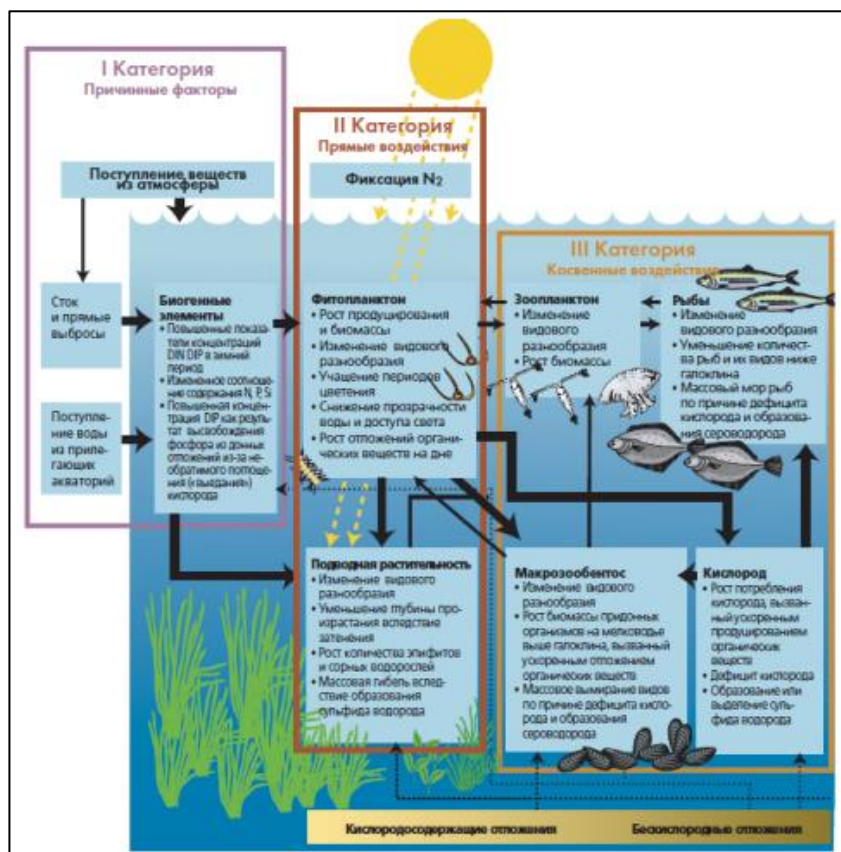


Рисунок 1.1 – Концептуальная модель эвтрофикации [40]

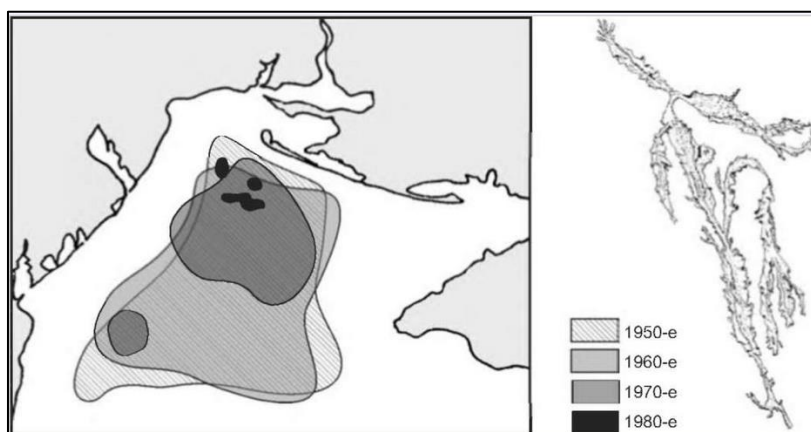


Рисунок 1.2 – Динамика распространения «Филлофорного поля Зернова» [16]

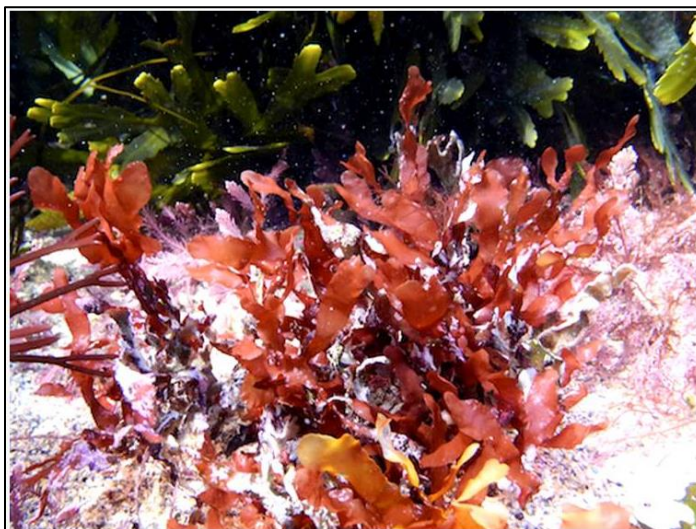


Рисунок 1.3 – Водоросли рода *Phyllophora* [16]

Одним из весьма серьезных последствий антропогенной эвтрофикации моря стало возникновение зон с дефицитом кислорода (гипоксии) в придонных слоях воды на шельфе (Рисунок 1.4). Механизм образования гипоксии придонных слоев выглядит так: в результате вегетации клетки фитопланктона опускаются на дно, выпавший осадок может потребляться донными организмами. Однако, в случае попадания максимально возможных объемов отмершего фитопланктона донные организмы не справляются с задачей его потребления. Разлагаясь, водоросли потребляют кислород, приводя к его истощению – зоны гипоксии и в худшем случае аноксии. В результате образования и развития зон гипоксии и аноксии происходят заморы представителей донной флоры и фауны.

Большинство «кризисных» областей экологического риска возникают в местах взаимодействия пресных вод речного стока и морских вод, зачастую это места заливов и бухт [15].

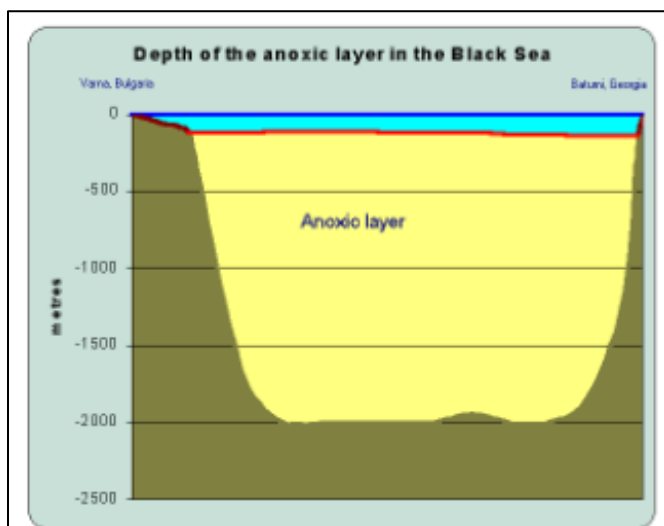


Рисунок 1.4 – Схема бескислородной толщи морских вод Черного моря в разрезе между городами Варна (Болгария) и Батуми (Грузия) [17]

сельскохозяйственного. Черное море особенно подвержено влиянию материкового стока на экосистемы прибрежных морских территорий, так как является почти замкнутой морской акваторией [22].

Количество впадающих рек в Черное море составляет около 1000, площадь водосборного бассейна более 2 млн км². Однако к наиболее крупным рекам относится всего лишь 10, с площадью водосборного бассейна свыше 10 000 км². Средний объем годового стока в Черное море оценивается примерно в 350 км³, причем около 80% этого объема приходится на 10 крупных рек. В первую очередь это Дунай (200 км³), следующими по величине стока реками являются Днепр (44 км³) и Днестр (9 км³) [11].

Для северо-западного шельфа характерно максимальное влияние речного стока, так как именно там находятся главные речные артерии Черноморского бассейна.

Основными факторами и условиями формирования речного стока являются климатические условия, геоморфологические факторы (рельеф), почвенно-гидрогеологические условия, растительный покров и геологические условия (тектоника).

Большие горные реки, впадающие в Черное море, характеризуются мощным весенним половодьем, во время которого выносятся преобладающее большинство годовых наносов. Половодье формируется за счёт талых вод с наложением высоких дождевых пиков, происходящих именно в весенний период [11].

На малых реках, особенно на Колхидской низменности, половодье выражено слабо. Наносы выносятся ими в основном при активном выпадении осадков, т.е. во время дождевых паводков. Малые горные реки, в отличие от Колхидских рек, характеризуются кратковременным весенним половодьем, при котором выносятся около половины годового количества наносов [11].

Крупные формы рельефа оказывают значительное влияние на сток рек. Воздушные потоки задерживаются и отклоняются хребтами, метеорологические фронты деформируются. На разных склонах возникают

разные условия нагрева и охлаждения и, следовательно, разные режимы температуры воздуха и пола. В связи с перетеканием воздушных потоков через горные хребты на горных склонах, особенно на нижних и более узких залах перевалов, создаются условия для повышенной застенчивости и осадков. А вот на подветренных склонах есть фены - ветер с более высокой температурой и более низкой влажностью. Над нагретыми горными склонами усиливается конвекция воздуха и, как следствие, образование облаков. Зимне-весенние максимумы вызваны таянием снега и одновременным выпадением осадков.

Исходя из вышесказанного, стоит отметить, что высотная поясность очень точно проявляется в формировании стока и питании рек, впадающих в прибрежные зоны Черного моря.

Сезонные колебания являются наиболее показательными характеристиками стока. Для них характерна тенденция к увеличению расходов во все сезоны с изменением годового распределения. Для бассейна реки Черного моря, как и для многих рек России, отмечается незначительное снижение доли летнего стока (на 0,9-2,5%) и увеличение осенне-зимнего и весеннего (на 0,4-1,9%), что, скорее всего, связано с увеличением доли зимних осадков и грунтовых вод в формировании стока [7].

В целом, долговременные колебания годового стока определяются изменениями климатических условий (температура, осадки), которые, в свою очередь, связаны с атмосферной циркуляцией, т.е. изменение уровня моря во многом определяется изменениями циркуляционных процессов и связанные с ними климатические изменения (температура приземного воздуха, осадки, атмосферное давление), гидрологические (сбросы воды в реки), гидродинамические (штормовая активность) и т. д. (Рисунок 2.2) [7].

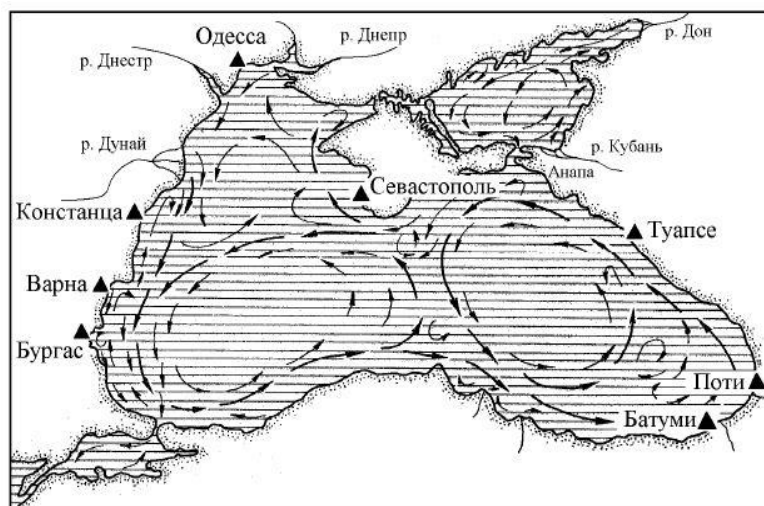


Рисунок 2.2 – Схема циркуляции поверхностных вод Черного моря и расположение пунктов наблюдений за уровнем воды [12]

2.1.1. Река Дунай

Поступающие загрязнения и другие факторы радикально изменили экосистемы Черного моря, начиная примерно с 1960 года. В последующие десятилетия экосистема Черного моря пришла в состояние коллапса. Пляжи в Украине и Румынии были завалены мертвыми и разлагающимися морскими растениями и животными.

Наиболее высокая антропогенная нагрузка речного стока на прибрежные акватории Черного моря характерна для стока реки Дунай. Сток Дуная в вершине дельты разделен двумя рукавами: Килийским и Тульчинским. Килийский рукав находится в территориальных границах Украины, а второй в пределах Румынии. В свою очередь Тульчинский рукав распадается на Сулинский и Георгиевский рукава. В устьях Килийского и Георгиевского рукавов сформированы частные дельты. В связи с раздробленностью стока реки Дунай, довольно сложно оценить объем воды, поступающий из Дуная в Черное море. Однако, согласно данным расходов Дунайской ГМО за общий объем воды, поступающий в Черное море со стоком Дуная, можно считать объем в 200 км³ [11].

Основное влияние на колебания стока р. Дунай оказывают изменения климатических условий над площадью его водосбора [11].

Важнейшим фактором, влияющим на качество речного стока Дуная является промышленность прибрежных городов и развитие сельскохозяйственных угодий на берегах реки. В связи с таким антропогенным прессом концентрация нитратов и фосфатов увеличилась в 5 раз в 80-х годах [11].

Взморье Дуная представляет собой зону постоянного взаимодействия речных и морских вод, в результате которого изменяются их свойства, образуются водные массы с новым качеством (Рисунок 2.3) [26].

Формирование гидрохимических условий при впадении Дуная в Черное море происходит под влиянием сложных гидрофизических и гидродинамических процессов, характерных для этого региона. Таким образом, прибрежный лиман Дуная является одним из наиболее сложных для изучения гидрологических и гидрохимических режимов в регионах Черного моря. Поглощение значительного количества питательных веществ со стоком пресной воды обеспечивает обильный источник пищи для фитопланктона круглый год [26].



Рисунок 2.3 – Бассейн реки Дунай [42]

Пресноводный сток реки Дунай обеспечивает в прибрежной акватории Черного моря питание фитопланктона неорганическими формами азота, фосфора и кремния в течение всего года. Наиболее опасным временем года

считается летний период в связи с активностью цветения токсичных водорослей [19].

2.1.2. Реки Днепр и Южный Буг

Реки Днепр и Южный Буг, протекающие на территории Украины и Румынии, образуют в месте слияния Днепро-Бугский лиман.

Значительное влияние на сток р. Днепр оказывает хозяйственная деятельность в низовьях реки. Средняя величина годового стока реки Днепр составляет $43,2 \text{ км}^3$ (Рисунок 2.4) [11].

Внутригодовое распределение стока Южного Буга характеризуется половодьем, а также меженью в летний и зимний период. Наиболее полноводными месяцами являются март и апрель, наименее полноводными - сентябрь и октябрь.

Одна из отличительных черт реки Южный Буг - наличие большого количества твердого стока. Он был создан после деформации рельефа, через который протекает река, и большого количества вспаханных сельскохозяйственных угодий в бассейне реки. Среднегодовой сток реки Южный Буг составляет $3,4 \text{ км}^3$. Пресная вода Днепра и Южного Буга тонким слоем разлились по поверхности прибрежных вод Черного моря [11].

Основными источниками поступления биогенных веществ в северо-западную акваторию Черного моря являются речной сток, промышленно-коммунальные и сельскохозяйственные стоки, донные отложения и биотические составляющие данной экосистемы [31].

Приднепровско-Бугский район считается немного шире эстуарной зоны Днепро-Бугского лимана. На юго-востоке ограничен Кинбурским дятлом; на западе - место у небольшого лимана Аджалыка; на юге - южные склоны Одесского берега [11].



Рисунок 2.4 – Бассейн реки Днепр

В рассматриваемом районе количество соединений, например, азота выше, чем в областях реки Дунай [10].

2.1.3. Река Днестр

Сток Днестра в средний по водности год составляет $10,2 \text{ км}^3$. Средний многолетний расход реки в устьевой части равен $310 \text{ м}^3/\text{с}$ (Рисунок 2.5) [28].

Нижняя часть бассейна характеризуется малым количеством годовых осадков и представляет собой расчлененную равнину с малым уклоном и слаборазвитой гидрографической сетью.

По фактическим данным средний многолетний сток реки $311 \text{ м}^3/\text{с}$ (за период 1987-1995 гг. - $313 \text{ м}^3/\text{с}$) [28].

Следует отметить, что в последние десятилетия внутригодовое распределение стока несколько изменилось. Прежде всего, меньшими стали расходы весеннего половодья. Вместе с тем несколько возросли расходы в течение межени [28].

Как правило, поток воды из Днестровского лимана распространяется в море на 1,5 - 2 мили. Значительная его часть уходит на юг вдоль побережья до Шаганской банки. Прозрачность воды здесь выше, чем в Придунайском районе. Несмотря на то, что концентрации биогенных веществ в период

антропогенного эвтрофирования в Днестре и Дунае были близкими, их значения на устьевом взморье Днестра ниже [10].

Предельные значения для минеральных и органических веществ составляют 0 - 300 мкг / л для фосфатов, 13 - 800 мкг / л для аммонийного азота, 3 - 861 мкг / л, органического азота - 2160 мкг / л [10].

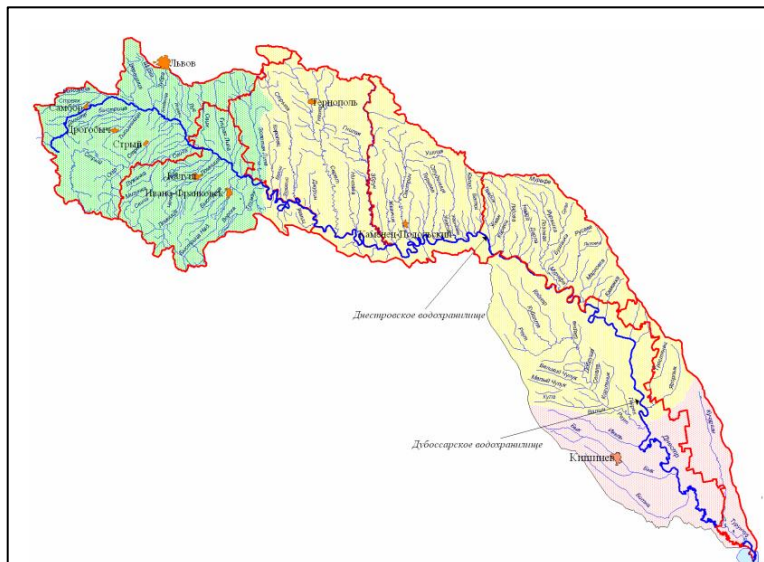


Рисунок 2.5 – Сток реки Днестр

2.1.4. Южное и восточное побережье

Реки Черноморского бассейна Турции менее остальных освещены гидрометрическими наблюдениями. Во всех этих данных учитывается река Чорохи, сток которой в основном формируется в Турции, но устье расположено в пределах Грузии.

Большинство крупных рек Турции сильно зарегулированы, используются в энергетических целях, для орошения и находятся под значительным антропогенным прессом. Суммарный объем стока в Черное море в пределах Турции в условиях регулирования составляет до 38,0 км³ [11].

В зависимости от климатических условий этот регион можно разделить на два субрайона: Крайневосточная часть от Чорохи до Харшита с влажным субтропическим климатом и от Харшита до Есил-Ирмака с субтропическим климатом средиземноморского типа [11].

На равнинной части турецкого побережья (полуостровы Коджаэли и Чаталья) меньше рек, преобладают малые реки и временные водотоки, с преобладанием дождевой воды. Общий объем стока в море от реки Филос до границы с Болгарией составляет всего $2,60 \text{ км}^3$ [11].

Значительная часть зарегулированного стока турецких рек используется для орошения и водопотребления, особенно значительные невосполнимые потери на реках Кызыл-Ирмак, Ешил-Ирмак, Рива, Карасу, Гулук и Абдал. Для этих же целей используется сток многих малых и средних рек [11].

На западном побережье Болгарии в море впадают маловодные реки. Самые крупные из них, Велека и Камчия, сбрасывают в море $0,276 \text{ км}^3$ и $0,607 \text{ км}^3$ воды соответственно. Следует отметить, что сток из Камчии регулируется несколькими дамбами и служит для снабжения водой крупных городов Варна и Бургас, поэтому объем стока значительно занижен. Вдоль болгарского побережья есть много прибрежных озер и эстуариев, которые напрямую или частично связаны с морем. Однако реки, впадающие в эти водоемы, незначительны в наполнении Черного моря пресной водой [11].

Таким образом, в пределах Болгарии годовой объем стока рек, непосредственно впадающих в море, составляет $1,2 \text{ км}^3$, а вместе с реками впадающих в прибрежные озёра — $1,8 \text{ км}^3$ [11].

В восточной части моря впадают более крупные реки. Общее количество стока речных вод в Черное море с территории Грузии (с учётом малых рек) составляет $46,0 \text{ км}^3$. Из этого количества почти три четверти в море доставляют крупные реки: Бзыби ($3,79 \text{ км}^3$); Кодори ($4,17 \text{ км}^3$); канал Эрисцкали ($3,15 \text{ км}^3$), куда переброшен сток Ингури после зарегулирования; Риони ($13,37 \text{ км}^3$) и Чорохи ($8,71 \text{ км}^3$) [11].

2.2.5. Северо-восточные акватории Черного моря

Эта часть российского черноморского сектора простирается от Анапы до Сочи. Рельеф дна характеризуется узким шельфом и сильно фрагментированным континентальным склоном. Ширина шельфа здесь в

среднем 8 км. Граница шельфа редко превышает глубину 110 м, переход к материковому склону крутой, уклон 15–20°. Склон сильно пересечен ущельями, некоторые из которых ограничены эстуариями, и затруднен горными хребтами и возвышенностями, основания которых простираются до глубин 1400–1800 м (Рисунок 2.6) [22].

Северо-восточная часть – береговая линия протяженностью 450 км от полуострова Тамань, идущая вдоль Кавказского хребта.

В пределах России протяженность побережья Черного моря составляет 410 км. По этому маршруту в море впадают многие реки и временные ручьи [22].

Общий среднемноголетний объем стока в Черное море с территории России – около 7 км³ в год. Это лишь 2% от суммарного пресноводного стока в море. Большинство рек северо-восточной части моря сбрасывают более 80% своего стока в зимне-весенний период, что связано с преобладанием в их питании дождевой составляющей [22].

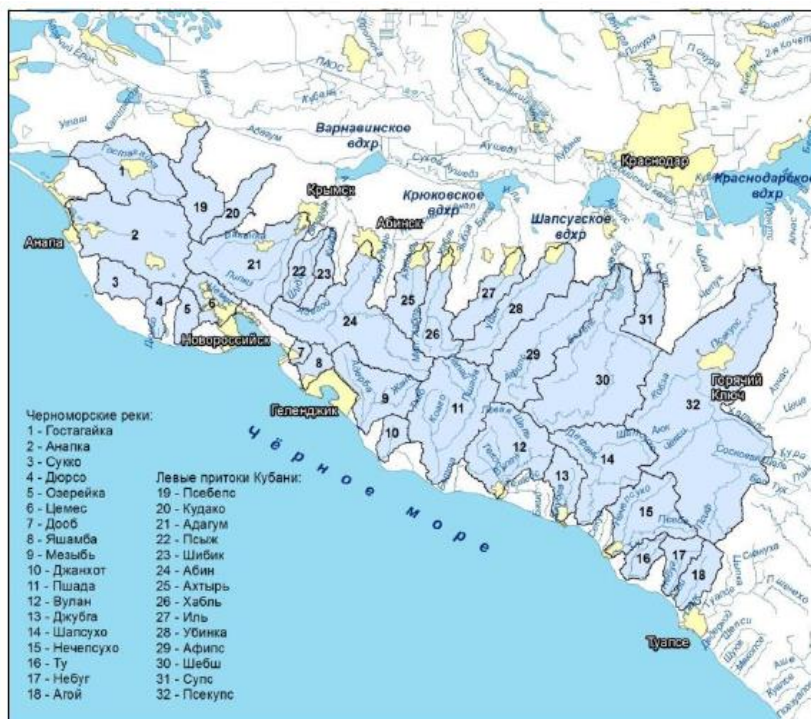


Рисунок 2.6 – Крупнейшие водосборы северо-восточной части шельфа Черного моря

Река Вулан

Река Вулан берет начало на южном склоне Главного хребта на высоте 520 м. Основными притоками являются Левая Щель и Текос. Густота речной сети 0,78 км/км². После прохождения высоких паводков русло часто меняет форму. Берега высокие в верхнем течении и низкие в нижнем [22].

В водном режиме р. Вулан выделяются два периода. В зимний период с ноября по февраль характерны высокие быстро сменяющиеся паводки, вызываемые дождями и таянием снега в верховьях. Объем стока реки за этот период значителен и может достигать до 80% годового стока. В летне-осенний период с июня по октябрь устойчивая межень редко прерывается дождевыми паводками. Среднегодовое значение стока р. Вулан составляет 0,20 км³ в год, или 6,4 м³/с [11].

В результате исследований влияние стока реки Вулан прослежено на протяжении более километра в сторону прибрежных вод Черного моря. Как и ожидалось, наибольшее проявление речного стока было отмечено по ядру струйного течения. Вдоль побережья почти в 3 км к востоку от лимана отмечаются изменения химического состава воды.

Река Туапсе

Река Туапсе берет начало на южном склоне Главного хребта на высоте 540 м [22]. Для водного режима р. Туапсе свойственны паводки, которые проходят в любой сезон года. Наиболее высокие паводки формируются, как правило, с декабря по март, но возможны и летом. С декабря по март проходит порядка 60% годового стока [22].

Среднегодовой расход воды составляет 13,1 м³/с [22].

В результате исследований было изучено влияние речного стока на распределение биогенных веществ в прибрежных водах Черного моря, поэтому содержание фосфатов и аммонийного азота оказалось низким и практически не влияло на процесс эвтрофикации [22].

Река Сочи

Сочи – третья по длине река в районе Большого Сочи после Мзымты и Шахэ. Годовой объем стока реки 0,3–0,5 км³. Исток реки находится на южном склоне Главного Кавказского хребта у подножия горы Большая Чура на высоте около 2000 м над уровнем моря. Почти половина ее бассейна лежит на высоте более 1000 м [22].

Питание реки Сочи смешанное. Половодье на реке Сочи происходит из-за таяния снегов в верховьях бассейна водосбора. Летом разливы реки происходят от выпадения обильных дождей. В течение года на реке Сочи происходят значительные колебания уровня вод [22].

Для участков впадения реки в морскую акваторию характерно очень низкое содержание биогенных элементов в верхнем 30–50-метровом слое, за исключением их прибрежной части, где влияние материкового и бытового стока приводило к повышению содержания азота, особенно в нитритной форме, и небольшому повышению содержания фосфатов [22].

Река Бытха

Эта река ответственна за значительный приток в море растворенных органических веществ. Общая концентрация растворенных органических веществ в морской воде вблизи устья речки превышает фоновые значения более чем в 15 раз, концентрация фосфатов превышает фоновые значения почти втрое. Во время паводков химический сток реки заметно увеличивается [22].

Река Мзымта

Мзымта – самая крупная и многоводная река, впадающая в Черное море на территории России. Исток реки находится на южном склоне Главного Кавказского хребта на высоте 2980 м над уровнем моря в Мостовском районе Краснодарского края. Высшая точка бассейна реки – гора Агепста (3256 м). В своих верховьях Мзымта впадает в высокогорные озера Верхний Кардывач

(2472 м) и Кардывач (1838 м). В нижнем течении долина Мзымты расширяется, и река принимает равнинный характер [22].

Река Мзымта имеет годовой объем стока около $1,6 \text{ км}^3$, наибольший из всех исследованных в экспедиции рек. Несомненно, что и ее воздействие на гидрохимический и гидродинамический режимы прибрежной акватории будет наиболее значительным из всех рассмотренных нами рек Черноморского побережья РФ [22].

Значительная загрязненность вод Мзымты бытовыми стоками проявляется на разрезах повышением содержания растворенного фосфора (как общего, так и минерального) и аммонийного азота [22].

2.2.6 Побережье Крыма

Реки Крыма делятся на три категории: южную, западную и восточную. К южной относятся реки южного склона Главной Крымской гряды. К ним относятся реки длиной 8-15 км, отличающиеся большими уклонами и местами образующие водопады [39].

Реки полуострова Крым отличаются активным зимним периодом, для которого характерны паводки. Летние росты уровней воды в реках обусловлены лишь мощными ливневыми дождями [39].

Исходя из вышесказанного целесообразней на наш взгляд разделить обзор рек полуострова Крым по наиболее крупным и значимым бухтам, в которые впадают равнинные и горные реки Крыма.

Среди большого количества заливов и бухт полуострова наиболее значимыми и изученными в части речного стока и его влияния на эвтрофикацию являются: Севастопольская и Балаклавская бухты.

Севастопольская бухта представляет собой сложную систему, в которую входят около 20 бухт. Длина ее составляет более 7,5 км, площадь – $7,96 \text{ км}^2$, максимальная глубина – 21 м [29].

Севастопольская бухта представляет собой эстуарий, который ограничен в части водообмена. Севастопольская бухта подвержена техногенному давлению – наличие судоходства в ближайшей акватории, гидротехнические работы, берегоукрепление, а также безусловным наличием бытовых городских стоков. Основными загрязнителями бухт Севастополя являются нефтепродукты, тяжелые металлы, биогены, хлорорганические соединения, фенолы и поверхностно активные вещества (Рисунок 2.7) [29].

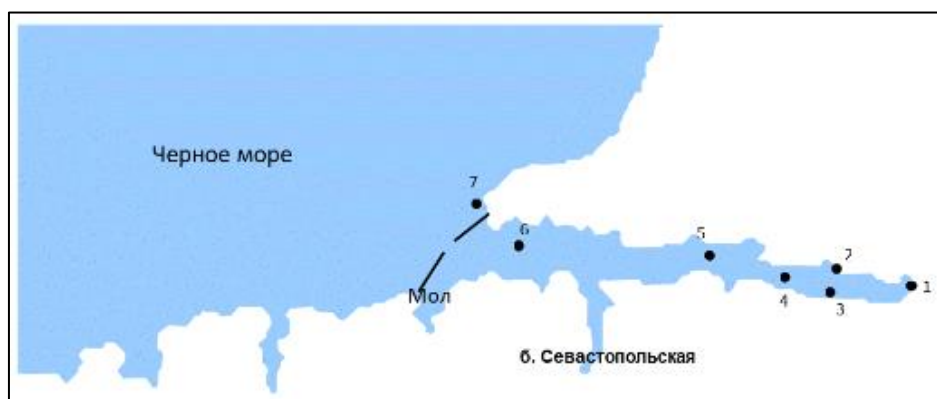


Рисунок 2.7 – Севастопольская бухта Черного моря [29]

Как видно на рисунке для Севастопольской бухты характерно сужение и образование эстуария, куда впадает река Черная - Основной и, по сути, единственный источник поступления пресных вод в Севастопольскую бухту.

При разгрузке в Севастопольскую бухту воды реки в значительной степени определяют ее гидролого-гидрохимический режим и экологическое состояние

Рассмотрим влияние реки Черной на воды Севастопольской бухты.

Река Черная

Река Черная, одна из наиболее значимых рек полуострова Крым, а в частности, Севастопольского региона. По протяженности и водности (среднемесячный расход $1,82 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный – $15,2 \text{ м}^3/\text{с}$), относится к группе рек северо-западного склона Главной гряды Крымских гор [30].

Воды реки Черной, которая впадает в кутовую часть Севастопольской бухты в районе Инкермана, несут дополнительное количество биогенных элементов и других загрязняющих веществ [30].

Содержание биогенных веществ в бухте находится в прямой зависимости от источников их поступления (муниципальный, речной и ливневый стоки и пр.) и характеризуется максимальными концентрациями минеральных форм азота, кремния, фосфатов в Южной бухте и районе Нефтегавани, подверженных наибольшему антропогенному воздействию. Сделан вывод, что антропогенные факторы оказывают большее влияние на содержание биогенных элементов в акватории бухты, чем естественные биохимические процессы [23].

Еще одной рассматриваемой бухтой является – Балаклавская.

Балаклавская бухта напротив узкая акватория в южной части Крымского полуострова. Имеет протяженность 1,4 км, и глубины от 4 м. [23].

На основе множества работ был сделан вывод, что концентрации элементов главного биогенного цикла в водах бухты за период 1991–2001 гг., уменьшились в среднем в 3 раза, однако возникший уровень концентраций биогенных веществ примерно на порядок превышает средние значения [23].

Основным источником поступления пресных вод (а вместе с ними и элементов биогенного и карбонатного циклов) в Балаклавскую бухту является впадающий в вершину бухты сезонный водоток – речка Балаклавка с расходом воды для сухого периода года около 197 тыс. м³/год, или около 540 м³/сутки [23].

Схема поверхностных течений, возникающих в Балаклавской бухте при ветрах южной четверти, представлена на Рисунке 2.7. Согласно этой схеме, ветровые поверхностные течения должны «запирать» пресноводный сток речки Балаклавки, который также распространяется в основном в поверхностном слое, и в приустьевой части бухты следует ожидать максимального распреснения, что вполне подтверждается данными по

распределению солености в поверхностных водах. Среднегодовое количество осадков в Балаклавской долине составляет ~400–500 мм/год [23].

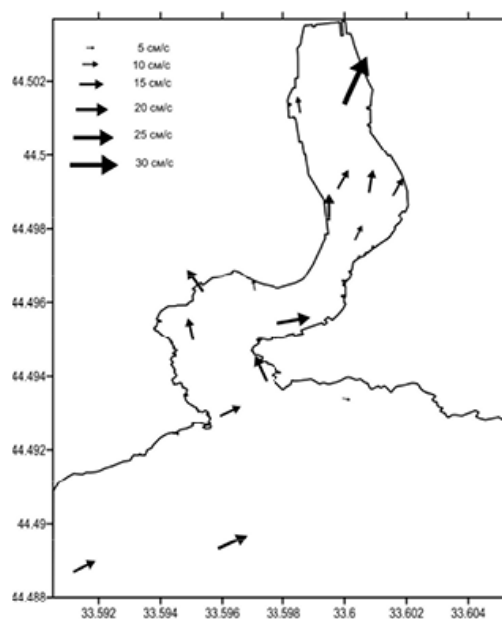


Рисунок 2.8 – Схема поверхностных течений в Балаклавской бухте под действием ветров южных румбов [23]

Глава 3. Формирование паводочного экстремального стока и его характеристики

3.1 Паводочный сток реки Ашамба

Применительно к понятию паводков, отметим, что интенсивное поступление водных масс по поймам впадающих в море рек может привести к разрушениям систем берега как самих рек, так и устьевой зоны.

Формирование паводков происходит при взаимодействии выпадающих осадков с различными элементами водосборов (растительностью, почвами, орографией и др.). В результате этого взаимодействия в руслах рек происходит кратковременный значительный скачок расходов, обусловленный стеканием водных масс поверхностного стока с водосборной площади. Высокая скорость увеличивает способность водного потока перемещать объекты, что увеличивает его опасность для имущества и жизни людей.

Целесообразно рассмотреть паводковую опасность на водосборах рек Северо-Западной части Черного моря, а именно район Голубой бухты близ Геленджика. В рамках производственной практики мне довелось получить практические навыки в Южном отделении Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, расположенное в поселке Голубая бухта около г. Геленджик.

В результате данной практики были получены навыки отбора проб морских прибрежных вод, изучена материальная база лабораторий института океанологии, получен навык работы с современными приборами.

Отдельный интерес во время практики был уделен процессам эвтрофикации Голубой бухты, механизмам и причинам ее развития, последствиям и методам борьбы с ней, в связи с чем и выбрана тема магистерской диссертации.

Особого внимания в контексте данной работы заслуживает влияние реки Ашамбы (Яшамбы), впадающей в акваторию Голубой бухты и протекающей непосредственной вблизи лабораторий Южного отделения института

океанологии им. П.П. Ширшова. Река Ашамба и Голубая бухта являются географическими составляющими Геленджикского района. Прилегающая территория входит в состав зоны контакта горного сооружения Большого Кавказа и Черноморского побережья.

Голубая бухта представляет собой глубоко вдающуюся в материковую часть акваторию. Наибольшая ширина характерна для южной части бухты в месте выхода ее в открытое море. С севера в бухту впадает единственный постоянный водоток — р. Ашамба (Рисунки 3.1 и 3.2) [2].

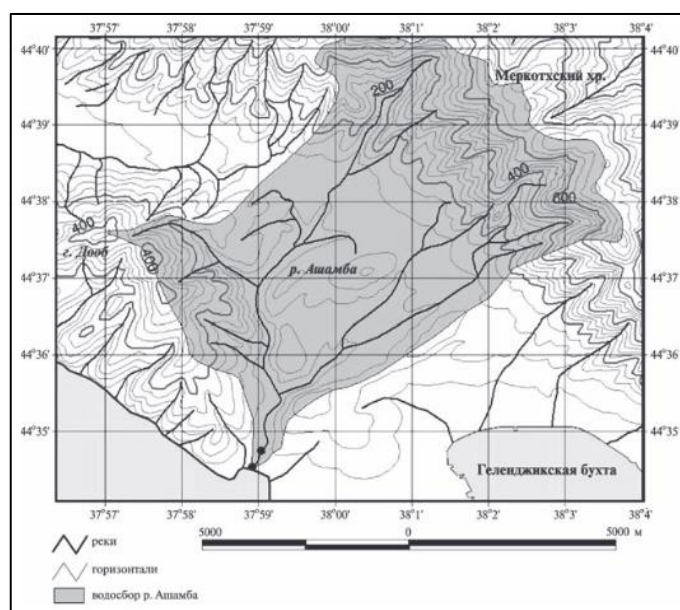


Рисунок 3.1 – Схема водосбора реки Ашамба [2]



Рисунок 3.2 – Устье реки Ашамбы

Река Ашамба берет начало на хребте Маркотх на высоте около 380 м над уровнем моря. Длина русла 11,4 км, ширина русла 4-15 м, площадь водосбора 44,3 км² [2]. В связи с тем, что река берет свое начало на гребне, общий уклон реки довольно значительный - 34°. Кроме того, русло реки Ашамба отличается перекатами и плесами, т.е. в целом можно констатировать, что оно имеет горный характер на всем протяжении [2].

Для реки характерен смешанный тип питания: талый, подземный и дождевой, в %-соотношении – 5/33/62. Интенсивный поверхностный сток происходит практически сразу, а эффект от стихийного бедствия складывается из двух составляющих - подземной и наземной (Рисунок 3.3) [13].



Рисунок 3.3 – Русло реки Ашамбы в период половодья

Летом для реки характерна низкая межень, периодически в результате ливневых дождей появляются паводки (Рисунок 3.4).

Так как площадь речного бассейна реки Ашамба невелико, скорость и время добегания водной массы очень быстрая. За несколько часов водная толща способна достичь устья реки и начать свое распределение в морских соленых водах [2].

Прибрежные экосистемы тесно связаны с гидрохимическими параметрами. Фитопланктон особенно чувствителен к изменениям

концентрации и соотношения важнейших биогенных элементов в прибрежных водах, от которых зависит видовая структура фитопланктона.



Рисунок 3.4 – Русло реки Ашамбы в период межени

Помимо обычных сукцессионных процессов, прибрежные воды характеризуются резкими изменениями структуры видового состава фитопланктонного сообщества в результате экстремальных явлений. Для этого региона одним из таких экстремальных явлений стал катастрофический ливень, обрушившийся на территорию Краснодарского края и в частности район Голубой губы, 6-7. Июль 2012 г [25].

6 июля с 2 до 16 часов на данную территорию обрушился ливень небывалой силы. Уровень воды поднялся на 4-6 м выше поймы реки Ашамба. Русло реки стало глубже на 2-2,5 м, а по бровке поймы — шире на 8-10 м (местами до 15 м). Огромный объем грязекаменного материала вынесен в Голубую бухту, в результате чего изменилась морфология ее донной поверхности (Рисунок 3.5) [13].

Пресные воды распределялись по направлению юго-запада от устья на расстоянии до 300 метров от береговой линии. Распреснение было настолько

сильным, что в ходе океанологических измерений в подповерхностном горизонте была зафиксирована соленость около 3 – 4‰ при норме 16 – 17‰ [13].

После катастрофического ливня глубина верхнего перемешанного слоя (ВПС) достигла 20 м (Таблица 1). На станциях глубиной 10, 20 и 30 м влияние пресной воды прослеживается во всем слое ВПС, но наибольшее распреснение зарегистрировано в верхнем 5-метровом слое воды. Распространение повышенного речного стока от устья к середине бухты может сопровождаться изменением солености и температуры (пресная вода холоднее) в поверхностном слое воды [25].

По результатам гидрохимических исследований сотрудников местного института океанологии было установлено, что содержание фосфора и кремния на станции с глубиной 10 м превышало стандартные значения на 2 порядка, а концентрация азота - в 50 раз.

При этом был зафиксирован значительный вертикальный градиент минеральных элементов питания, поэтому в Голубой бухте (станция с глубиной 10 м) концентрация азота на поверхности моря была в несколько раз выше, чем концентрация этого элемента на глубине 5 м. м (53, 2 против 3, 22 мкМ) [25].

Тезисно описать произошедшую катастрофу и ее последствия можно следующим образом.

Пресные воды были распределены в акватории бухты, количество взвешенных частиц в воде было повышенным, что привело к затемнению водной толщи. Исходя из этого предполагается, что фитопланктон, входящий в состав данного биоценоза, был подвержен сильному влиянию.

Прежде всего под действием интенсивной динамики вод часть планктона, вероятно, была вынесена за пределы бухты. Кроме того, планктон вблизи устья, видимо, погиб из-за резкого уменьшения солености. Снижение освещенности водной толщи из-за мутного поверхностного слоя также не могло не сказаться на продуктивности фитопланктона.



Рисунок 3.5 – Последствия экстремального паводка р. Ашамба в 2012 году

Таблица 3.1 – Изменение температуры и солености по вертикали на различных станция шельфа [25].

Глубина на станции, м	Горизонт, м	Температура, °C	Соленость, psu
10	0	23,7572	16,3341
	2	23,9071	16,8478
	5	23,9296	17,0837
20	0	24,0632	16,9325
	2	24,1816	17,0388
	5	24,1572	17,0582
30	0	24,1879	16,8999
	5	24,1546	17,0636
	12	23,7236	17,1229
	18	23,1485	17,3279
	24	22,0708	17,6620
50	0	24,2816	17,2215
	15	24,0628	17,2232
	35	8,9429	18,0844
	50	7,3397	18,2865
100	0	24,4796	17,3541
	15	23,5809	17,2996
	35	9,3738	18,0645
	50	7,1055	18,2472

Резкие изменения, гидрохимических параметров морской акватории имеет максимальное негативное влияние.

3.2 Экосистемные последствия паводочного стока и эвтрофикации

По результатам анализа материала, изложенного в 1 и 2 Главах магистерской диссертации можно прийти к выводу, что основным результатом влияния речного стока на прибрежные морские акватории является увеличение содержания биогенных элементов в водной толще.

В результате изменения концентраций биогенных элементов относительно устойчивых и стандартных значений меняется биомасса и продукция фитопланктона соответственно.

Помимо прямых и очевидных цепочек взаимосвязей увеличения количества биогенов и рост продукции фитопланктона, существуют не прямые ответы экосистемы на чрезмерное поступление биогенных элементов, которые в свою очередь также указывают на рост первичной продукции. К таким следствиям относиться уменьшение растворенного кислорода в бентическом слое, что является следствием роста первичной продукции в эвфотическом слое.

Рост первичной продукции влияет на поток органического вещества в придонные слои. В результате активного размножения органического вещества происходит уменьшение концентрации растворенного кислорода в придонном слое посредством активизации бактерий, минерализующих поступающее органическое вещество.

Увеличение биомассы и продукции бентосных организмов вследствие оседания органического вещества из эвфотического слоя в придонные слои, аналогично концентрации кислорода, также является ответом морских экосистем на чрезмерное поступление биогенных веществ.

Еще одной «реакцией» экосистемы на чрезмерное поступление биогенов в морские воды считается ухудшение световых условий водной толщи, т.е. уменьшение прозрачности воды, которое возникает в результате повышенного

содержания органического вещества и продуктов его образования. В результате роста светоотражающих частиц, распространяющихся в водной толще, происходит затруднения в прохождении световых потоков через водные массы. Это приводит к угнетению развития морских сообществ, среди которых наибольшее влияние испытывают сообщества бентической зоны.

Одним из наиболее актуальных в настоящее время вопросов исследования влияния речного стока на прибрежные морские воды является изменения элементных соотношений N, P и Si и влияние этих изменений на развитие определенных доминирующих групп водорослей. Отдельное внимание в данном случае уделяется изучению соотношений Si:N и Si:P, так как все три элемента могут лимитировать рост диатомовых водорослей, развивающихся непосредственно в результате эвтрофикации прибрежных морских зон, но антропогенной эвтрофикацией обусловлено поступление в воды только N и P, а не Si. Поскольку диатомовые водоросли нуждаются в N и Si в молярном соотношении около 1, падение соотношения Si:N от ≥ 1 до ≤ 1 приводит к условиям, когда диатомовые водоросли перестают конкурировать с другими таксономическими группами водорослей, которые имеют небольшие потребности в Si. Действительно, существенное увеличение концентрации нитратов и существенное уменьшение силикатов и изменение их общего соотношения привело к замене в фитопланктоне диатомовых водорослей на флагелляты/динофлагелляты [25].

Одним из последствий изменения элементных соотношений является развитие токсичных динофлагеллят, вызывающих «красные приливы», которые стали наиболее активны в результате развития эвтрофикации. Цветение токсичных водорослей оказывает негативное влияние на состояние беспозвоночных животных и рыб [25].

Глава 4. Биологические методы борьбы с эвтрофикацией

В настоящее время ведутся активные разработки использования различных методов борьбы с эвтрофикацией. В целом методы борьбы разделяют на две группы: первая - профилактические мероприятия; вторая - регулирующие мероприятия.

В рамках данной диссертации рассмотрим более подробно биологические методы борьбы с эвтрофикацией.

В настоящее время наибольшую изученность и популярность приобретают следующие биологические методы борьбы с поступлением биогенов: фиторемедиация, альгоремедиация и зооремедиация. Эти способы рассматриваются в связи с поисками экотехнологий очищения водной среды от загрязняющих веществ, в том числе токсикантов.

Предлагаем рассмотреть метод наиболее полно раскрывающий механизмы борьбы с биогенами - *альгоремедиацию*. Этим термином означает использование водорослей (включая макроводоросли) для удаления из воды нежелательных веществ [33].

Зооремедиация. Суть данного метода заключается в использовании животных с целью внесения вклада в обезвреживание воды [33].

Опыт исследований на беспозвоночных животных, которые фильтруют воду (фильтраторах), свидетельствует о существенной роли этих организмов в поддержании качества воды и очищении воды от взвесей в природных и экспериментальных водных системах [33].

Как было упомянуто в Главе 2, одним из механизмов поступления биогенных элементов в прибрежные воды Черного моря является развитие рыбной аквакультуры, а правильнее было бы сказать марикультуры. Ежегодное поступление питательных веществ в прибрежные районы океана посредством рыбной аквакультуры увеличилось во всем мире в 6 раз по сравнению с $\sim 0,43 \times 10^9$ кг N год⁻¹ в 1985 г. до $2,60 \times 10^9$ кг N год⁻¹ в 2005 году (Штамм и Харгрейв, 2005).

Основная задача марикультуры - получение в течение длительного времени высоких и устойчивых урожаев морских растений и животных при сохранении качества окружающей среды [33].

В России марикультура сегодня является активно развивающейся отраслью сельского хозяйства. Устойчивость этой отрасли зависит не только от знаний о воздействии популяций мидий на экосистему, но и от обеспеченности моллюсков пищей. Именно наличие и доступность пищи являются одними из основных факторов, лимитирующих рост и размножение гидробионтов, в том числе двустворчатых моллюсков [27].

Рассмотрим биологические методы борьбы с эвтрофикацией в рамках развития марикультуры в прибрежных водах Черного моря.

Устойчивое развитие марикультуры зависит от эффективности решения задач морского пространственного планирования и рационального природопользования в прибрежных регионах.

Минимизация отрицательных воздействий больших аквакультурных хозяйств на окружающую среду возможна путем отказа от эксплуатации монокультур и замены их интегрированной мультитрофической аквакультурой (ИМТА) [5].

ИМТА основана на совместном сбалансированном культивировании видов, занимающих разные трофические уровни и связанных потоками вещества. ИМТА предлагает комплексный подход к организации аквакультурных хозяйств: выращивание нескольких объектов с различным спектром питания на одной акватории. В такой аквакультуре культивируемые виды подбираются таким образом, чтобы продукты выделения одного вида усваивались другим видом. В этом случае все эти организмы могут участвовать в одних и тех же биологических и химических процессах с небольшими синергетическими преимуществами, которые потенциально могут привести к значительным сдвигам в экосистеме, как показано на Рисунке 4.1 [37, 43].

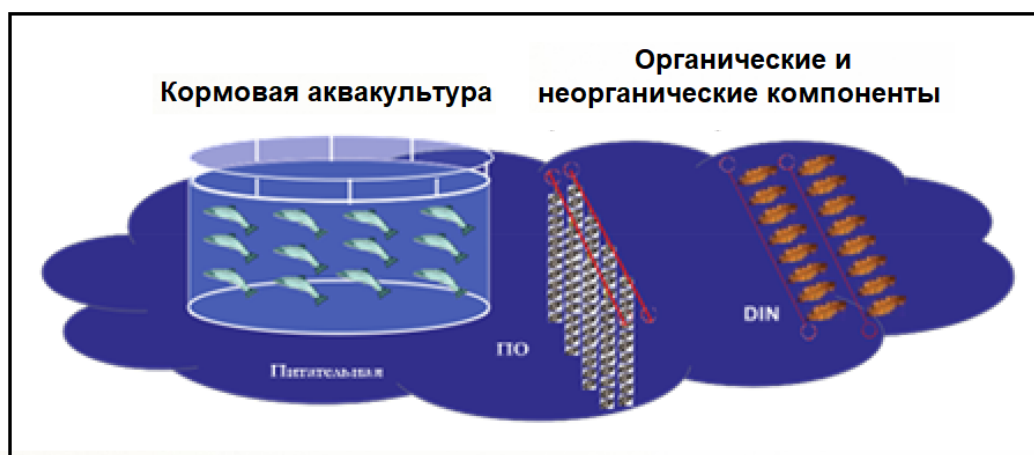


Рисунок 4.1 – Концептуальная модель ИМТА, сочетающей кормовую аквакультуру (рыбы) с кормлением органической аквакультурой (моллюски) и неорганической экстрактивной аквакультурой [37]

Мультитрофическая интеграция представляется следующим логическим шагом в эволюции аквакультуры и усиление воздействия на окружающую среду непосредственно на экосистему. ИМТА относится к более интенсивному выращиванию различных видов в непосредственной близости друг от друга (но не обязательно прямо в одном и том же месте).

При стандартном культивировании морских видов возникает большое негативное влияние на экологическое состояние морских экосистем. В частности, выращивание рыбы приводит к загрязнению бентали в результате процессов жизнедеятельности выращиваемых рыб. При накоплении на дне моря органического осадка начинается образование метана, известного как отравляющий газ в морской среде. Также опасностью могут выступать паразиты, возникающие у выращиваемых представителей ихтиофауны, для предотвращения которых используют различные химические антипаразитарные медикаменты, которые также негативно влияют на морскую среду.

Концепция ИМТА чрезвычайно гибкая. Её можно применять к открытым и наземным системам, а также к морским и пресноводным системам (иногда называемым «аквапоника» или «разделенная аквакультура»). Важно то, что подходящие организмы выбираются на основе функций, которые они выполняют в экосистеме, и, более того, с учетом их экономической ценности

или потенциала. На самом деле примечательно то, что ИМТА не делает ничего, кроме воссоздания упрощенной, культивируемой экосистемы в балансе с окружающей средой, вместо того, чтобы вводить биомассу определенного типа, ожидая, что ее можно культивировать изолированно от всего остального.

Важно то, что подходящие организмы выбираются на основе функций, которые они выполняют в экосистеме, их экономической ценности или потенциала и их признания потребителями. Хотя ИМТА, вероятно, возникает из-за традиционного или случайного соседнего культивирования разнородных видов в некоторых прибрежных районах, намеренно созданные участки ИМТА в настоящее время встречаются реже.

Интеграция различных видов в одну культуральную единицу может уменьшить эти воздействия, поскольку культивирование видов, не требующих экзогенного питания, может уравнивать выходы системы за счет преобразования энергии, в результате чего отходы одного вида становятся пищей для другого.

Например, отходы, выделяемые при выращивании лосося, например, несъеденный корм для рыб, рыбные фекалии и выделенный азот (N) и фосфор (P), могут ассимилироваться моллюсками (органические переработчики) и морскими водорослями (неорганические переработчики), тем самым сокращая количество отходов, сбрасываемых рыбоводным хозяйством и превращающих их в корм для других видов, приводя к очистке водоема, сохранению экологического состояния водного объекта и, как следствие, повышению устойчивости самого морского хозяйства, что также имеет коммерческую ценность.

Такая практика ИМТА может помочь уменьшить воздействие на окружающую среду, одновременно создавая другие экономически жизнеспособные продукты. Именно эта двойная выгода должна сделать ИМТА привлекательной не только для рыбоводов, но и одновременно делая экосистему более стабильной и восстановленной от негативного воздействия биогенных элементов.

Более того, ИМТА выходит за рамки экологической устойчивости, она обеспечивает экономическую диверсификацию и снижает экономический риск при выборе подходящих видов, а также увеличивает приемлемость для всего сектора аквакультуры за счет использования методов, признанных данной отраслью хозяйства, регулирующими органами и общественностью в целом.

Для побережья Черного моря характерно развитие марикультуры в контексте выращивания голубой мидии *Mytilus galloprovincialis lam* (Рисунок 4.2). Местом обитания мидий - северо-западная часть Черного моря (включая все побережье Крыма), где 90-95% популяции было сосредоточено в Черном море.



Рисунок 4.2 – Мидия семейства митилид

Мидии - не только важная часть морской экосистемы, но и один из самых распространенных объектов марикультуры (мировое производство мидий достигло 1,9 млн тонн). В основном культивируемые мидии рода *Mytilus* (*Mytilus*): *Mytilus edulis* - обыкновенная или голубая мидия (blue mussel) - наиболее распространены при выращивании мидий (39% производства мидий); На втором месте по культивируемому объему находится зеленая мидия (green mussel) *Mytilus viridis* (синоним: *Perna viridis*), на третьем - средиземноморская или черная мидия [33].

В Черном и Азовском морях мидии обитают в скальных и иловых биотопах: от уреза воды до глубины 80 м мидии образуют кусты на камнях и щебне. На мягком грунте они группами прикрепляются к мелкой гальке и мертвым мидиям и образует друзы. Ракушки - один из основных компонентов растительности портовых сооружений и кораблей. В биоценозе преобладает мидийный ил [33].

Одной из уникальных особенностей данного вида является фильтрационный тип питания, играющий существенную роль в процессах переноса вещества и энергии в прибрежных водах Черного моря. Установлено, что мидийные плантации могут задерживать до 30 % углерода, 42 % азота [34].

Мидии пропускают через себя морскую воду, содержащую фитопланктон, взвешенные органические частицы и бактериофлору. Одна крупная мидия (размером более 5 см) фильтрует в сутки от 40 до 50 л морской воды. Исходя из этого, только 1 т мидий (30–33 тыс. экз) в сутки фильтрует 1500–1600 м³ и за год может профильтровать от 500 до 540 тыс. м³ морской воды [34].

При создании морских хозяйств по выращиванию мидий (устриц) в первую очередь осуществляют выбор конструкции гидробиотехнического сооружения (ГБТС) для конкретного места эксплуатации (для условий выбранной и отведенной акватории), а также решают вопрос о выборе оптимальной конструкции мидийного коллектора (Рисунок 4.3) [34].

Именно на коллекторе размещаются личинки мидий и устриц с их последующим ростом и развитием. Одним из примеров бюджетного варианта установки для системы биологической очистки из наиболее доступных материалов может служить искусственный риф.

Проводились исследования и расчеты для выявления предположительного объема биомассы моллюсков-фильтраторов, который необходимо восстановить для поддержания естественного хода биологической очистки водных масс.

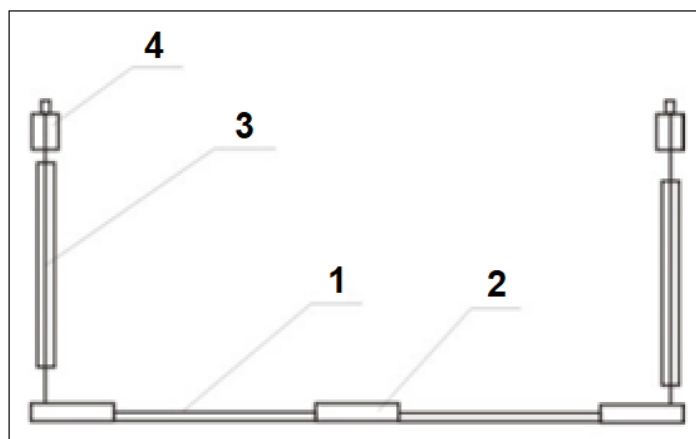


Рисунок 4.3 – Морское сооружение (искусственный риф) для содержания гидробионтов-обрастателей в мелководных районах: линии грузовых хребтин – 1, грузы – 2, коллекторы – 3, поплавки – 4 [34].

С учетом перечисленных особенностей может быть предложена следующая схема очистки акваторий (Рисунок 4.4).

В ряде исследований изучен оценочный расчет применения мидийно-устричных коллекторов на примере акватории Черного моря в районе пгт Коктебель в Крыму [34].

Для наглядного рассмотрения эффективности метода ИМТА в условиях Черноморского побережья, были произведены расчеты степени очистки вод с помощью культивируемого вида *Mytilus galloprovincialis lam* [34].

Согласно данным на 2012 г. численность населения пгт Коктебель составляет 2833 чел. Система очистки канализационно-бытовых сточных вод отсутствует. Допускаем, что все сточные воды поступают в акваторию моря, тогда с учетом средней нормы расхода воды потребителями, которая составляет 200 л на человека ($0,2 \text{ м}^3$), в акваторию в среднем выбрасывается 566 м^3 бытовых сточных вод в сутки. Расчет производился по двум основным элементам – азоту и фосфору [34].

Оценочный расчет очищения воды мидиями по азоту: известно, что содержание азота ($N_{\text{орг}}$) в моллюсках составляет 5 % от массы сухого вещества, влажность сырой массы примерно 90 %, т. е. в 100 т мидий содержится 500 кг азота. Если принять, что такое количество вещества содержится во взрослой мидии, а она набирает свою основную массу примерно за 2 года, то 100 т

мидий набирают 500 кг азота по сухому веществу за 2 года (730 сут), т. е. 100 т мидий набирают 684 г азота в сутки. По нормам (СНиП 2.04.01-85) один человек выделяет 8 г/сут азота. В пгт Коктебель проживает 2833 человек. Из этого следует, что в море в районе пгт Коктебель в сутки поступает 22,6 кг азота общего. Разделив полученное значение на объем, поглощаемый мидиями в сутки, получаем количество мидий, необходимое для утилизации поступающего азота. Получается, что необходимо 3300 т мидий, выращиваемых до двухлетнего возраста. Средняя ферма на 5 га дает 200 т мидий, таким образом, получаем, что вокруг Коктебеля необходимо установить 16–17 ферм, общая площадь которых составит 82,5 га. Расчет по поглощению общего фосфора дает схожие результаты [34].

Аквакультура может успешно развиваться на Черноморском побережье и стать эффективным способом самоочищения морской воды одновременно с производством продуктов питания.

Рассмотренные экологические, технологические и технические возможности развития мидийных ферм в прибрежной зоне Крымского полуострова на примере пгт Коктебель, показали, что площадь мидийных ферм, которые могут утилизировать поступающий в море азот и фосфор, составляет чуть более 80 га, то есть – около 40 % от площади прибрежной морской зоны. Нет никаких технологических или технических противоречий для обустройства таких ферм.

Чтобы обеспечить расширение ИМТА в изучаемом регионе, необходимо предпринять несколько шагов:

- 1) Установление экономической и экологической ценности систем ИМТА и их побочных продуктов - морские водоросли и беспозвоночные могут быть очень прибыльными культивируемыми видами не только для их услуг в качестве биомитигаторов сточных вод, но и в качестве дифференцированных товарных культур премиум-класса, диверсифицирующих сектор аквакультуры и снижающих риски.

- 2) Выбор видов, соответствующих среде обитания и доступным технологиям - следует использовать местные виды, чтобы избежать проблем с инвазивными и потенциально опасными видами.
- 3) Выбор видов в соответствии с экологическими и океанографическими условиями участков, предлагаемых для развития ИМТА, а также в соответствии с их дополнительными экосистемными функциями.
- 4) Выбор видов, которые способны вырасти до значительной биомассы, чтобы улавливать многие из избыточных питательных веществ и эффективно удалять их во время сбора урожая.
- 5) Выбор видов, которые имеют установленную или предполагаемую рыночную стоимость и для которых коммерциализация не вызовет непреодолимых нормативных препятствий.
- 6) Содействие эффективному правительственному законодательству/постановлениям и стимулам для содействия развитию практики ИМТА и коммерциализации продуктов ИМТА.
- 7) Просвещение правительства / промышленности / академических кругов и широкой общественности о преимуществах ИМТА. Это может быть сделано путем распространения знаний через различные средства массовой информации, ориентированные на различные аудитории.

Подводя итог раздела 4 стоит отметить, что внедрение отдельных групп организмов для целей очищения, восстановления загрязненных водоемов и водотоков (фиторемедиация, биоремедиация, система аквакультуры ИМТА и др.) целесообразно базировать на функциональных особенностях гидробионтов и их адаптивности к условиям среды.

Во многих случаях необходимы дополнительные исследования для дальнейшей интегрированной марикультуры, особенно в отношении технической реализации фермы. На этом уровне важным вопросом является

принятие адекватных методов управления, которые предотвращают или снижают вероятность передачи болезней внутри и между объектами аквакультуры или естественной водной фауне. Кроме того, следует внимательно отнестись к выбору видов, используемых в поликультуре или интегрированной мультитрофной аквакультуре, чтобы снизить потенциальный стресс и страдания культурных особей. Интегрированную аквакультуру следует рассматривать как очень важный инструмент, способствующий росту морской аквакультуры и способствующий устойчивому развитию.

Экономическая ценность управления прибрежной зоной, связанная с экологическими/социальными услугами добывающих видов, должна быть признана и учтена при оценке истинной ценности этих компонентов ИМТА. Это создаст экономические стимулы к дальнейшему развитию и внедрению ИМТА.

Успешная операция ИМТА должна интегрировать все заинтересованные стороны в свой план развития. Правительство, промышленность, научные круги, широкая общественность и ЭНПО должны работать вместе. Роль ИМТА в комплексном плане управления прибрежной зоной должна быть четко определена. Помимо выбора подходящих видов для выращивания на определенном участке, экономическая и социальная приемлемость также должны играть ключевую роль.

Фермы ИМТА следует планировать и проектировать как целостные системы, а не как кластеры различных культур, чтобы максимизировать выгоды от дополнительных экологических функций различных видов для повышения прибыльности всей деятельности. Экономический анализ необходимо включить в общее моделирование систем ИМТА, поскольку они приближаются к коммерческому масштабу и их экономическое воздействие на прибрежные сообщества становится лучше. Таким образом, можно будет добавить рентабельность и экономические последствия к сравнению воздействия на окружающую среду между ИМТА и монокультурами.

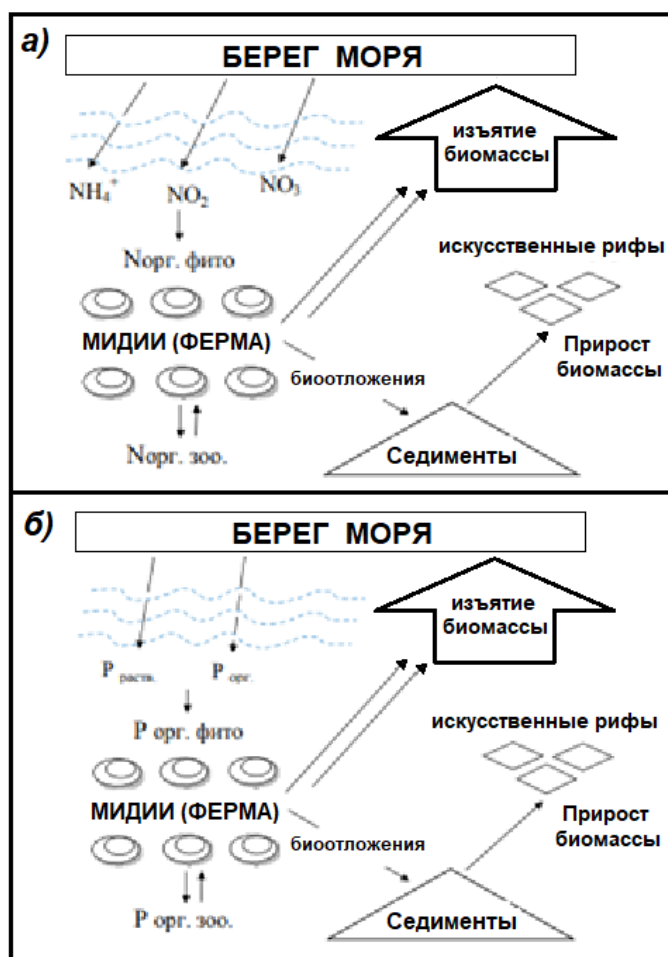


Рисунок 4.4 – Схемы циркуляции азота (а) и фосфора (б) и его соединений в акватории с учетом установки станции биоочистки [34]

Глава 5. Практические рекомендации

В результате изучения биологических методов борьбы с эвтрофикацией мы пришли к выводу, что существует несколько способов снижения биогенной нагрузки на морские воды – это альгоремедиация, зооремедиация и марикультура, однако, существует естественный процесс биологической очистки морских вод в результате жизнедеятельности организмов, входящих в состав биоценоза.

Таковыми представителями могут выступать в первую очередь планктоноядные рыбы - хамса и черноморская ставрида. Эти рыбы являются основными потребителями зоопланктона. Образование пятен, относительно богатых зоопланктоном обусловлено увеличением содержания в воде биогенных веществ. Это приводит к увеличению концентрации на определенной акватории планктоноядных рыб [4].

Помимо представителей ихтиофауны Черного моря естественными фильтраторами выступают гребневик мнemiопсис (*Mnemiopsis leidyi*), который был завезен судами в 1980-х гг. в Черное море и начал активно развиваться (Рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 - мнemiопсис (*Mnemiopsis leidyi*) [6]

Однако, в связи с его массовым распространением он оказал негативное влияние на численность некоторых представителей ихтиофауны. Это обстоятельство вынудило начать борьбу с мнemiопсисом путем вселения другого гребневика.

Также естественным фильтратором прибрежных морских вод выступает медуза (*Aurelia aurita*), питающаяся преимущественно растительным планктоном (Рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 - медуза (*Aurelia aurita*) [6]

Естественные фильтраторы морских прибрежных вод не могут достаточно хорошо очищать акваторию от высокого содержания биогенных элементов, так как являются компонентами экосистемы и осуществляют в данной акватории свои процессы жизнедеятельности. Поэтому объемы очистки в данном случае несущественны и несут лишь слабый регуляторный характер.

Для эффективного биологического метода борьбы с эвтрофикацией предлагается рассмотреть развитие марикультурных ферм в прибрежных водах Черного моря. Марикультура считается наиболее перспективным и интенсивно развивающимся направлением экономической деятельности человека, а также с целью очистки прибрежных морских вод от поступающих биогенных элементов.

5.1 Использование марикультурных хозяйств с целью очистки прибрежных морских вод от биогенных элементов

В части практических рекомендаций рассмотрим именно данный способ, так как марикультура на сегодняшний день является одним из мировых перспективных направлений деятельности человека. При этом

марикультура недостаточно развита в России по сравнению с Европейскими и Азиатскими странами-лидерами по изученности и полноте применения марикультурных и аквакультурных хозяйств в своей деятельности.

Для понимания процесса внедрения марикультуры с точки зрения не экономической прибыли, а очистки морских вод от загрязняющих веществ, необходимо ввести понятие санитарной марикультуры.

Санитарная марикультура - культивирование гидробионтов для биологической очистки прибрежных вод [41].

Мероприятия санитарной марикультуры включают в себя применение естественных свойств морской экосистемы и входящих в нее организмов, а также их способность производить и потреблять органические соединения, образующиеся внутри данной экосистемы.

Для морских экосистем морская вода - субстрат и носитель энергии и вещества. В процессе использования организмами потоков вещества и энергии, доставляемых с морскими водами, происходит глубокая переработка самих водных масс, входящих в качестве элемента в экосистему, и в результате достигается перестройка качества водной среды [41].

За основу санитарной марикультуры берется упоминаемая нами в Главе 4 система ИМТА.

Примером выращивания марикультурных хозяйств на основе системы ИМТА может служить разведение двустворчатых моллюсков, имеющих высокую очистительную способность. Подробно о механизме очистки морских вод было упомянуто в Главе 4.

Здесь мы подробно остановимся на практических рекомендациях по биологическим методам очистки воды с помощью разведения марикультурных хозяйств в прибрежных Черноморских водах. Безусловно, марикультуру не стоит считать, как универсальный способ борьбы с эвтрофикацией. Данный метод изначально носит в себе экономический характер, однако, внедрение таких систем с другой основной целью снижает экономическую эффективность разведения марикультурных сообществ.

Мы рассматриваем марикультуру исключительно с точки зрения биологической эффективности, однако, при успешном ее внедрении она может в небольших масштабах иметь и экономическую выгоду. Марикультурное хозяйство имеет санитарную функцию и индикаторную функцию состояния среды.

Для полноты раскрытия внедрения системы марикультурных хозяйств начнем с основных методов и способов выращивания двустворчатых в прибрежных морских водах.

Существует несколько типов культивации двустворчатых:

1) Культивация в мешках в клетках, которые оставляют на морском дне и поднимают только для анализа роста и сбора урожая.



Рисунок 5.3 – Выращивание двустворчатых моллюсков в специальных мешках на морском дне

2) Выращивание концессиями в глинистых экосистемах.

Важное условие данного вида культивирования моллюсков – это отливы и приливы. Данный способ не актуален для вод Черного моря, так как для него наличие приливно-отливных явлений отсутствует.

3) Выращивание на веревках

Данный тип выращивания делится на поверхностный, подповерхностный и донный (Рисунок 5.4., 5.5).

В данном случае наиболее подходящим способом выращивания моллюсков в целях санитарной марикультуры на наш взгляд выступает вертикальный тип выращивания. Данную установку можно рассматривать как искусственный риф, охватывающий пелагическую толщу воды в отличие от донного типа установки, направленного исключительно на бентическую зону.

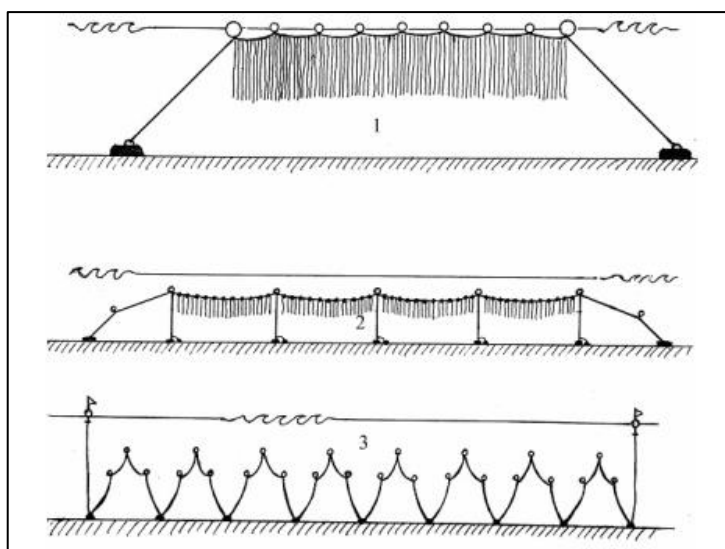


Рисунок 5.4 – Тип мидийно-устричных носителей: 1- поверхностный, 2- подповерхностный, 3- донный [33]



Рисунок 5.5 – Вертикальный тип выращивания мидий и устриц

Виды моллюсков, культивируемые на искусственных рифах санитарной марикультуры, выступающими в качестве основных по нашим предположениям будут:

- мидия *Mytilus edulis* - самый распространенный и многочисленный тип мидий на Черном море, а также наиболее популярный для выращивания в марикультурных целях (Рисунок 5.6) [33].



Рисунок 5.6 - мидия *Mytilus edulis* [33]

- устрица *Ostrea edulis* - местный исчезающий вид и *Crassostrea gigas* - сравнительно недавно акклиматизированный новый, пока ещё редкий вид, данный вид, как устойчивый к заболеваниям, является более перспективным для устрицеводства (Рисунок 5.7., 5.8) [33].

Данные виды моллюсков обитают в Черноморских экосистемах в естественных условиях, что обеспечивает их адаптивность к процессу искусственного выращивания в морских водах Черного моря. В данном случае можно исключить потери продуктивности сообществ в связи с их адаптацией к новой среде обитания. Поэтому целесообразность разведения перечисленных видов моллюсков объясняется данными критериями.

Стоит отметить следующие особенности жизнедеятельности моллюсков. Сезонные изменения фильтрационной активности моллюсков зависят от солености и температуры воды, количества растворенного в ней кислорода. Например, при температуре воды 10°C скорость фильтрации мидий в три раза выше, чем при 20°C. Снижение солености воды на 5% приводит к увеличению фильтрации в 1,8 раза по сравнению с интенсивностью этого процесса при солености 15 ‰. Уменьшение содержания

кислорода в воде также увеличивает фильтрацию в 1,8 раза по сравнению с повышенным содержанием кислорода. Изменение освещения в течение дня не оказывает особого влияния на рост мидий, так как потребление кальция днем и ночью одинаково [14].



Рисунок 5.7 – Устрица *Ostrea edulis*



Рисунок 5.8 – Устрица *Crassostrea gigas*

Учитывая среднюю соленость Черного моря равной 18‰, для моллюсков это вполне комфортные условия для максимальной производительности в рамках санитарной функции. При детальном рассмотрении вопроса солености морских прибрежных вод отметим, что пресноводный сток крупных рек снижает соленость прибрежных акваторий, что еще больше улучшает интенсивность фильтрации воды.

Рассмотрев всю эффективность развития марикультуры с системой ИМТА, а также продуктивность двустворчатых моллюсков в очистке морских

вод, мы пришли к выводу о том, что сочетания данных компонентов может сыграть существенную роль в борьбе с прибрежной эвтрофикацией.

В рамках диссертации нами рассматривалось поступление только биогенных элементов в прибрежную акваторию посредством одного из самых главных его источников - речного стока. Помимо речного стока существует огромное количество источников биогенов, однако, при рассмотрении практических рекомендаций в борьбе с эвтрофикацией стоит учесть и биогенную нагрузку хозяйственно-бытовых сточных вод с городских территорий.

Переходя непосредственно к практическим рекомендациям, отметим, что нами будет рассмотрен комплекс ферм санитарной марикультуры в акватории 3-4 км от береговой линии, так как глубоководные выпуски сточных вод городских поселений располагаются на расстоянии до 5 км от берега.

На побережье Черного моря порядка 30 населенных пунктов с населением от 2 до 4 тыс. человек. В рамках данной работы предлагается внедрение мидийно-устричных ферм в акваториях прибрежных городских поселений. Эффективность таких ферм в прибрежных водах будет иметь положительный результат в акваториях городов с населением не более 2-3 тыс. человек, так как с большими объемами поступления биогенных элементов применяемая нами система не справится, выращиваемые сообщества будут обречены на гибель. Подробный обзор расчетов фильтрационной способности двустворчатых было подробно описано в Главе 4.

Выбираемый участок размещения марикультурных установок должен иметь оптимальную глубину, относительно ровное дно, с умеренным течением, а также хорошо промываться морскими течениями. [8, 33].

В технические характеристики марикультурной фермы в рамках данной диссертации углубляться не будем, отметим лишь некоторые аспекты.

Итак, развитие марикультурных мидийно-устричных ферм на наш взгляд является перспективным направлением в борьбе с эвтрофикацией прибрежных морских вод. Фильтрационная способность выращиваемых

моллюсков может справиться с биогенной нагрузкой города с населением 2-3 тыс. человек.

С учетом гидрологических особенностей прибрежного шельфа Черного моря на наш взгляд целесообразнее применять структуру мидийно-устричных ферм типа вертикального выращивания на веревках и сетках. Общий вид веревочных и сетных носителей с устрицами представлен на Рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 – Расположение устриц на веревочных и сетных носителях.

Данный способ учитывает особенности подводных морских течений, способствующих равномерному кислородному обмену в толще воды. С точки зрения продуктивности выращивания, то вертикальный способ обеспечивает сохранность и целостность вертикальной марикультуры под влиянием неблагоприятных погодных условий. Учитывая сильные шторма в осенне-зимний период, отметим некоторые технологии устойчивости данных марикультурных ферм:

1. заглубление носителей и/или размещение их на отдалении от береговой линии
2. использование особо прочных материалов для сетей и носителей, усиление швартовки и/или крепления конструкций. Применяются

материалы с функцией уменьшения диаметра повреждения и/или блокировки дальнейшего разрушения всего сетного носителя или садка.

3. «принцип поплавок» (плавающего предмета), при котором не используются жесткие конструкции [9]

Один из способов минимизировать пагубные последствия штормов - «подтопление» или углубление гребней и/или отдельных опор для стабилизации положения клеток с моллюсками. Этот метод был опробован на морской ферме в Карадагском районе [Силкин и др., 2001]. Группа специалистов под руководством Ю.А. Силкина разработал и применил штормоустойчивую конструкцию, в которой оптимальная глубина до конвейеров составляла 14-20 м. Опыт показал, что такие системы выдерживают зимние штормы до 5-6 баллов [9].

При веревочном способе выращивания практически отсутствует обрастание створок устриц и мидий, что характерно для донного типа выращивания. Однако, в зависимости от погодных условий некоторое обрастание все-таки присутствует. В таком случае каждый коллектор (веревка) поднимается с определенной периодичностью из воды.

При вытягивании тела коллектора, нарастающие элементы подвергается водяному потоку и в результате механического сопротивления удаляются с мидий и устриц (Рисунок 5.10).

Несмотря на универсальность устрично-мидийных коллекторов, существуют некоторые отрицательные составляющие конхиокультурных ферм. В первую очередь это образование органического вещества в результате процессов жизнедеятельности моллюсков. Опускающиеся на дно отходы жизнедеятельности содержат органическое вещество. При достаточно плотном размещении моллюсков на акватории на дне начинает скапливаться мидийный ил, называемый в данном случае «биоотложениями». Зачастую толщина таких осадков достигает нескольких метров и несет в себе угрозу для пляжных территорий.



Рисунок 5.10 - вытягивание мидийно-устричного коллектора с целью очистки от нарастаний

Таким «биоотложениям», например, в США дали вторую жизнь. Их используют в качестве удобрений в сельском хозяйстве и частных домовладениях, так как данный ил содержит в своем составе большое количество питательных органических веществ так необходимых для почв [33].

Для предотвращения образования марикультурного ила и с целью внедрения системы ИМТА, мы предлагаем использовать при совместном выращивании с мидиями и устрицами потребителей образующегося органического вещества. Данный метод дает универсальность и автономность такой марикультурной фермы и обеспечивает максимальную эффективность санитарной функции.

В роли потребителей «биоотложений» могут выступать детритофаги.

Приведем пример нескольких обитателей литорали гастропод — моллюск гиббула (*Gibbula divaricata*) (Рисунок 5.11). Это естественный обитатель Черного моря, встречающийся под камнями по несколько десятков на квадратный метр. По характеру питания - это типичные скребущие

моллюски, потребляющие диатомовые водоросли, детрит и обрастания, покрывающие камни и скалы [18].

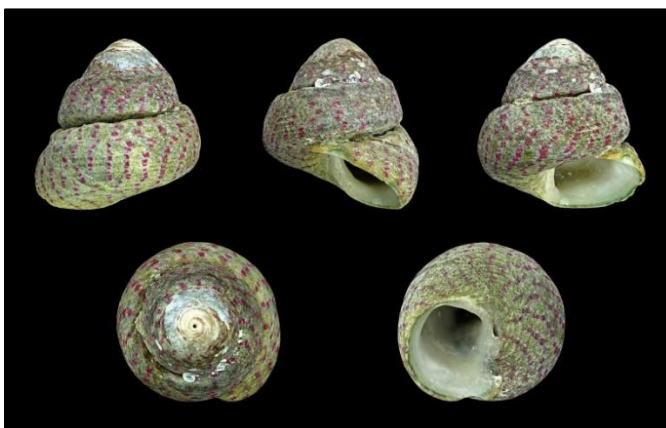


Рисунок 5.11 – Моллюск гиббула (*Gibbula divaricata*) [18]

Также одним из представителей детритофагов выступает моллюск биттиум (*Bittium reticulatum*) (Рисунок 5.12). Зачастую они встречаются в грунте и в зарослях водорослей. Питаются детритом, одноклеточными водорослями и мелкими веточками макрофитов, и живут, в отличие от предыдущих видов, более 2-х лет. В защищенных бухтах их бывает такое изобилие, что пустые домики моллюсков образуют особый грунт — церитиолиевый песок [6].



Рисунок 5.12 – Моллюск биттиум (*Bittium reticulatum*) [18]

Малые размеры и короткий срок жизни всех этих моллюсков объясняют пониженной соленостью Черного моря.

Образующийся донный ил от мидийно-устричных ферм также потенциально могут потреблять раки-отшельники двух видов — диогена (*Diogenes pugilator*) и клибанария (*Clibanarius erythropus*)., обитающие в донных грунтах Черноморского побережья (Рисунок 5.13).



Рисунок 5.13 – Рак-отшельник *Diogenes pugilator* [18]

Исходя из вышесказанного для повышения эффективности марикультурных установок предлагается совместно с мидийно-устричными коллекторами на дне акватории увеличивать концентрацию детритофагов с помощью их искусственного подселения.

Проанализировав большое количество источников информации по развитию конхиокультуры, в графическом виде был составлен общий механизм процесса фильтрации морских вод выращиваемыми двустворчатыми моллюсками (Рисунок 5.14).

Как уже было сказано, в рамках данной диссертации предлагается создание санитарных марикультурных ферм в прибрежных акваториях малых городов и поселках городского типа Черноморского побережья.

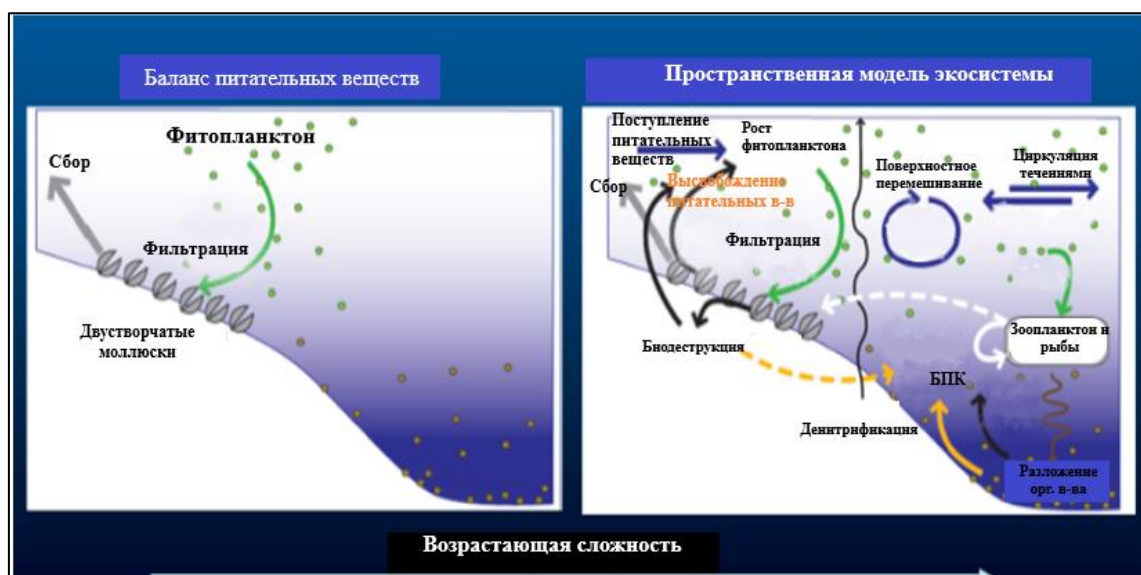


Рисунок 5.14 – механизм процесса фильтрации морских вод выращиваемыми двустворчатыми моллюсками

Проблема эвтрофирования прибрежных морских вод в районе населенных пунктов имеет острое значение. В крупных морских городах созданы системы очистных сооружений, которые препятствует прямому проникновению загрязняющих веществ, в том числе биогенов, в прибрежную акваторию. Однако, в целом для Черноморского региона характерна изношенность очистных канализационных систем, которая требует большого объема финансирования. В силу особенностей географического положения и экономической составляющей региона создание новых модернизированных очистных систем представляется затруднительным, что объясняет существующую изношенность очистных установок. Применительно к очистным сооружениям зачастую речь идет о наиболее крупных городах. Рассматривая населенные пункты с малым количеством населения, необходимо отметить, что очистные системы там отсутствуют вовсе.

В рамках нашего исследования предлагается применить биологический метод борьбы с эвтрофикацией – внедрение марикультурных ферм в прибрежных малонаселенных городах. В силу того, что небольшие городские поселения имеют малые мощности сбросов, предлагаемый нами биологический метод борьбы с поступлением биогенов целесообразен.

Мультитрофические марикультурные фермы теоретически способны справиться с биогенной нагрузкой двух-трехтысячного населенного пункта.

В результате грамотного расположения ферм, с учетом особенностей местообитания выращиваемых видов, местоположения глубоководных выпусков и общего физико-географического расположения, марикультурные фермы способны очищать акватории прибрежных поселений от негативного воздействия биогенов и загрязняющих веществ.

Жизнедеятельность выращиваемых видов моллюсков, поддержание их устойчивости с помощью человеческого вмешательства, обеспечивает нормальное функционирование конхиокультуры и ее санитарной функции.

Мидийно-устричная плантация за сутки способна профильтровывать и частично очищать, занимая 1 м² дна, до 280 м³ воды [33].

Согласно расчетам [34] мидийно-устричная ферма способна справиться с поступлением биогенных элементов с территории с населением 2-3 тыс. человек. Исходя из вышесказанного предлагается применять данный биологический метод сокращения поступления биогенных элементов в морскую акваторию, приводящую к развитию процессов эвтрофикации.

В качестве практических рекомендаций примером внедрения таких систем с учетом всех требований могут послужить следующие городские поселения Черноморского побережья с наличием биогенной нагрузки в виде впадающих рек в ближайшую акваторию. Нами рассматриваются населенные пункты с населением 2-3 тыс. человек, однако, теоретически марикультурные установки можно предложить населенным пунктам с немного большим количеством проживающих. Эффективность предложенных нами установок по биологической очистке прибрежных вод от биогенных элементов в городах с населением более 3 тыс. человек не гарантирована, возможны различные реакции воспроизводимых моллюсков-фильтраторов, что требует доработки предложенных схем или вовсе отказа от них. Для обобщения практических рекомендаций применительно к изучаемому району отразим это в виде Таблицы 2.

Площади пригодных для марикультуры акваторий в этих населенных пунктах Черноморского побережья, измеряются десятками и даже сотнями квадратных километров. Расстояние от берега считается оптимальным равным 2-4 км. Это положительно отражается на санитарном состоянии вод и не вступает в «конфликт» с индустрией отдыха. Берега в некоторых районах пока ещё сравнительно свободны, поэтому возможно строительство береговых баз для марикультурного хозяйства (Рисунок 5.15).

Также в рамках данной диссертации предлагается установка марикультурных ферм с целью санитарной очистки в районе Керченского пролива – месте впадения Азовского моря с малосолеными водами в акваторию Черного моря с относительно повышенной соленостью. Нами отмечено, что моллюски-фильтраторы (устрицы и мидии) наибольшую фильтрационную способность проявляют в условиях пониженной солености и температуры воды. Следовательно, можно предположить, что воды Азовского моря, характеризующиеся низким показателем солености и повышенным содержанием биогенных элементов благоприятны для развития моллюсков-фильтраторов. Поэтому целесообразно перехватывать поступающие пресные воды на этапе Керченского пролива, где марикультурные фермы могли бы выполнять биологическую очистку до распределения биогенов в Черноморскую акваторию.

В части расположения конхиокультурных установок в районе Керченского пролива стоит учесть небольшие площади свободных акваторий в связи с выполняемой Керченским проливом транспортной функции, что также негативно приведет и к состоянию марикультурных ферм.

Таблица 2 – населенные пункты с населением 2-7 тыс. человек для потенциального внедрения маркикультурных хозяйств с целью очистки прибрежных вод

Район	Населенные пункты с численностью население до 3 тыс. человек	Населенные пункты с численностью население от 3 до 7 тыс. человек
Побережье Краснодарского края		
Анапский	Благовещенская Сукко	Витязево
Новороссийский	Абрау-Дюрсо	
Геленджикский	Джанхот	Кабардинка Дивноморское Архипо-Осиповка
Туапсинский	Лермонтово, Ольгино Небуг Агой Шепси	
Сочинский	Макопсе	Вишневка
Побережье Крымского п-ва		
Феодосийский	Береговое	Заозерное (Евпаторийский р-н)
Бахчисарайский	Песчаное	
Севастопольский	Андреевка	
Ялтинский	Форос Кацивели Симеиз Никита	Алупка Гурзуф Партенит Кореиз
Алуштинский	Семидворье Солнечногорское Малореченское Рыбачье	
Судакский	Новый Свет	
Сакский	Прибрежное	
Феодосийский	Коктебель Орджоникидзе Береговое	

Стоит отметить, что маркикультура может вступать в конкурентные отношения с рекреационной составляющей региона (морской туризм, парусный спорт и т.д.). В нашем случае вертикальная подповерхностная система была выбрана не случайно, так как Черное море – это главное туристическое направление в нашей стране, где важно учитывать потребности

отдыхающих и вместе с тем экологическое состояние экосистем, где выбранный нами тип системы может эффективно функционировать, не мешая при этом проходящим мимо маломерным судам, развитию туристических услуг и не портят морской пейзаж.

В начале данной главы мы упоминали о том, что главной функцией марикультурных ферм в рамках данной диссертации является очистка прибрежных вод от биогенных элементов. Однако, в целом хочется отметить, что основная функция - экономическая - все-таки имеет место быть. Вероятно, при внедрении конхиокультурных ферм в предложенные нами районы и населенные пункты может нести в себе первостепенную функцию продажи выращиваемых гидробионтов на Российском и общемировом рынке (Рисунок 5.16, 5.17).

Конечно, объемы выращиваемых моллюсков не столь высоки для целей продажи. Однако, в случае реализации возможной экономической цели, стоит учитывать следующее важное требование: содержание в мясе токсических веществ не должно превышать санитарно-эпидемиологические нормативы (Таблица 3). Концентрация тяжёлых металлов и мышьяка в мясе мидий не должна превышать ПДК (мг/г сырого мяса): ртуть –0,2; кадмий –2,0; свинец –10,0; медь –30; мышьяк –2,0. Для этого моллюсков, населяющих выбиравемый участок сдать в СЭС для микробиологического анализа. Категорически запрещена реализация моллюсков, не прошедших аттестацию санитарными органами, т.к. не проверенные моллюски могут представлять серьёзную угрозу здоровью потребителей [33].

Подводя итоги, отметим, что марикультура также нуждается в теоретических исследованиях, позволяющих не столько оценить возможный «урожай» выращиваемых гидробионтов при конкретных условиях среды обитания, сколько сформировать и управлять потоком вещества и энергии в морских экосистемах. Только в данном случае выращивание водных организмов с их последующей утилизацией на суше — это прямой путь

очистки водных экосистем от накопившегося объема органического вещества [1].



Рисунок 5.16 – Съем урожая с поверхностных носителей



Рисунок 5.17 – Вертикальные мидийно-устричные коллекторы

Экологическое состояние водной среды Черноморского побережья в настоящее время неблагоприятно и требует модернизации систем и методов очистки сточных вод. При этом важно отметить, что в естественных условиях черноморского побережья уже обитают гидробионты, способные выполнять функцию биофильтров, именно они могут быть использованы в санитарной марикультуре.

В данном разделе мы рассмотрели практические варианты использования естественных гидробионтов, способных выполнять санитарную функцию для прибрежных морских вод Черного моря.

Таблица 3 – микробиологические показатели двустворчатых моллюсков в период выращивания [33]

Название показателя	Норма
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КУО в 1 г, не более	1×10^5
Бактерии группы кишечных палочек в 0,001 г	Не допускаются
Наиболее вероятное число бактерий группы кишечных палочек в 1 г, не более	100
Споры мезофильных анаэробных микроорганизмов в 0,01 г	Не допускаются
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы в 25 г	-//-
Патогенные мезофильные вибрионы в 25 г	-//-
Патогенные галофильные вибрионы в 25 г	-//-

Рассмотренные экологические, технологические и технические возможности развития мидийных-устричных ферм на основе системы ИМТА в прибрежной зоне Черного моря не имеют очевидных технологических или технических противоречий для обустройства таких ферм.

Необходимо разработать современные интегрированные системы марикультуры, чтобы способствовать устойчивому расширению сектора в прибрежных и морских экосистемах, таким образом отвечая на глобальную антропогенную эвтрофикацию и одновременно рост спроса на морепродукты, но с новой парадигмой более эффективных систем производства продуктов питания и улучшения состояния прибрежных экосистем. Успешные операции по интегрированной марикультуре должны учитывать все соответствующие заинтересованные стороны в своем плане развития: правительство, промышленность, научные круги, широкая общественность и неправительственные организации должны работать вместе, а роль

интегрированной марикультуры в комплексных планах управления прибрежной зоной должна быть четко определена.

В предложенных нами районах внедрение конхиокультурных ферм позволит сократить развитие эвтрофикации, увеличит устойчивость экосистем, позволит использовать марикультуру в качестве объекта туристической составляющей региона.

Также стоит отметить, что развитие марикультурных ИМТА (культивирование моллюсков и любых других видов) ферм способствует притоку трудовых ресурсов в изучаемый регион. В связи масштабным оттоком трудовых ресурсов из периферийных регионов в центральный, целесообразно развитие данной отрасли со стороны органов власти некоторых субъектов РФ. А также помимо увеличения рабочих мест, стоит отметить, что помимо основной рекреационной деятельности региона добавляется еще одно перспективное направление развития экономики и одновременно направление деятельности по охране окружающей среды.

На данный момент в РФ недостаточно методической и управленческой базы со стороны государства. Аквакультура (марикультура) на сегодняшний день является частью сельского хозяйства, что ограничивает ее развитие. Тогда как во многих развитых странах аквакультура считается отдельной отраслью экономики, которая получает соответствующее финансирование, государственное регулирование и достаточное количество регламентирующих документов. Одна из ключевых ролей государственных органов, от муниципального до федерального, - понять основную концепцию ИМТА и оценить их текущую и будущую политику. Если они согласны с концепцией ИМТА, то они должны попытаться продвигать протоколы с помощью своей политики, которые будут поощрять секторы морского производства следовать этим принципам. Это может быть сделано в форме стимулов или штрафов, аналогичных экономической политике, которая в настоящее время используется для регулирования экологического поведения людей в наземных системах.

Помимо дополнительного источника трудовых ресурсов, у населения будет формироваться общая экологическая культура, стремление сохранить свои рабочие места посредством методов охраны окружающей среды. С экономической точки зрения выращивание двустворчатых моллюсков с целью продажи позволит сократить импорт морепродуктов на территорию РФ.

Для некоторых экологические, экономические и социальные проблемы, которые еще предстоит решить, могут быть пугающими. Однако наша цель - разработать современные системы ИМТА, которые непременно сыграют важную роль в Черноморском регионе в устойчивом развитии и расширении деятельности аквакультуры в будущем. Сбалансированная экосистема позволит ответить на растущий во всем мире антропогенный пресс, а также спрос на морепродукты с помощью новой парадигмы в разработке наиболее эффективных систем обеспечения экологической безопасности. Простых решений не существует, но одно можно сказать наверняка - человеческое население на этой планете растет, и по мере того, как человечество развивается, необходимо в должной мере обеспечивать сохранение окружающей среды и недопущение дальнейшей деградации глобальных экосистем.

Заключение

Магистерская диссертационная работа посвящена исследованию процессов эвтрофирования прибрежных вод Черного моря. В работе выполнен анализ проблемы эвтрофирования и биологических методов борьбы с ней. Основные результаты исследования могут быть сформулированы следующим образом.

1. Основными причинами эвтрофикации прибрежных вод Черного моря является поступление биогенных элементов с речным стоком. С поверхностным стоком в прибрежные зоны попадает большое количество биогенных элементов, которые приводят к резкому увеличению продукции фитопланктона, что является предшественником развития процесса эвтрофикации. Увеличение степени эвтрофикации ускоряет гетеротрофные процессы, увеличивает биомассу гетеротрофных микроорганизмов в сравнении с фитопланктоном и детритом, увеличивающих производство органического вещества. Длительное загрязнение прибрежной полосы моря из разных источников органическим веществом различного происхождения приводят к необратимым последствиям для морской среды и представляет большую опасность для здоровья людей при использовании морских продуктов и акватории в целях рекреации.

2. Областями максимального негативного воздействия в акватории Черного моря выступают районы контакта пресноводного речного стока и устья данных водотоков. Количество впадающих рек в Черное море составляет около 1000, площадь водосборного бассейна более 2 млн км². В числе наиболее мощных и крупных многоводных рек выступают река Дунай, следующими по величине стока реками являются Днепр и Днестр. Суммарный объем стока в Черное море на его южном побережье составляет до 38,0 км³. Для западного побережья характерен объем стока рек, непосредственно впадающих в море, равный 1,2 км³. В восточной части моря впадают более крупные реки, общее количество стока речных вод в Черное море с территории

Грузии составляет 46,0 км³. На Российском побережье крупным источником биогенных элементов является пресные воды Азовского моря, общий среднемноголетний объем стока в Черное море с территории России – около 7 км³ в год.

3. Экосистемные последствия паводочного стока рек несут в себе моментальный разрушительный характер. Наиболее опасными паводковыми районами Черноморского побережья РФ являются Новороссийский, Геленджикский, Туапсинский и Сочинский районы. Так, например, экстремальный паводочный сток реки Ашамбы Геленджикского района в Голубую бухту в 2012 году, где суточная сумма осадков в 3 раза превысила максимум многочисленных годы наблюдений, привело к масштабным разрушениям, большому экономическому ущербу и человеческим жертвам. Экстремальный паводок сыграл важнейшую роль в дальнейшем развитие экосистемы Голубой бухты и устья реки Ашамба. Помимо изменения энтропии экосистемы, серьезно пострадали объекты инфраструктуры населенного пункта. Береговая зона была лишена судоходства, выполнения своих рекреационных и оздоровительных функций.

4. Применительно к биологическим методам борьбы с эвтрофикацией отметим, что в настоящее время наибольшую изученность и популярность приобретают методы фиторемедиации, альгоремедиации и зооремедиация. Одним из перспективных методов является развитие марикультуры с целью санитарной очистки прибрежных вод от биогенных элементов. В связи с популярностью марикультуры в целом и слабой изученности и применимости данного метода на практике, целесообразно внедрение данного метода с учетом его научной обоснованности и эффективности. Марикультурные мультитрофические хозяйства являются перспективным и приоритетным направлением развития Черноморского побережья, которое может способствовать процессам очистки морских вод одновременно выполняя функция потенциального производства продуктов питания.

5. В части практических рекомендаций по внедрению биологических методов в борьбе с эвтрофированием отметим, что на наш взгляд наиболее перспективным является использование марикультурных хозяйств с целью санитарной очистки акватории Черного моря. Мероприятия санитарной марикультуры включают в себя применение естественных свойств морской экосистемы и входящих в нее организмов, а также их способность производить и потреблять органические соединения, образующиеся внутри данной экосистемы. Мультитрофическая марикультурная система способствует экономической и экологической устойчивости путем преобразования побочных продуктов и несъеденных кормов от скормливаемых организмов в урожайные культуры, тем самым снижая эвтрофикацию и увеличивая экономическую диверсификацию. С учетом гидрологических особенностей прибрежного шельфа Черного моря на наш взгляд целесообразнее применять структуру мидийно-устричных ферм типа вертикального выращивания на веревках и сетках. В результате грамотного расположения ферм, с учетом особенностей местообитания выращиваемых видов, местоположения глубоководных выпусков и общего физико-географического расположения, мультитрофические марикультурные фермы способны очищать акватории прибрежных поселений от негативного воздействия биогенов и загрязняющих веществ. Состояние экологического оптимума водной среды Черноморского побережья в настоящее время неблагоприятно. При этом важно отметить, что для данных морских биотопов существуют естественные гидробионты, способные очищать морскую воду, которые и могут быть применены в рамках санитарной марикультуры. В предложенных нами районах внедрение конхиокультурных ферм позволит сократить развитие эвтрофикации, увеличит устойчивость экосистем, позволит использовать марикультуру в качестве объекта туристической составляющей региона, а также, возможно, добавит рабочие места для жителей прибрежных населенных пунктов. Также, на данный момент в РФ недостаточно методической и управленческой базы со стороны государства. Аквакультура (марикультура) на сегодняшний день

является частью сельского хозяйства, что ограничивает ее развитие. Тогда как во многих развитых странах аквакультура считается отдельной отраслью экономики, которая получает соответствующее финансировании, государственное регулирование и достаточное количество регламентирующих документов. Черноморский регион как нельзя лучше подходит для развития марикультуры благодаря своим уникальным климатическим характеристикам. В данном случае культивируемые фермы имеют круглогодичный характер за счет теплого климата и постоянного наличия пищи для моллюсков.

В результате изучения поставленных целей и задач исследования, анализа предложенных практических рекомендаций в рамках диссертации хочется подытожить утверждением, выдвинутым В.И. Вернадским, о том, что выявление многосторонней роли живых организмов в самоочищении морской воды дополнительно детализирует тезис о том, что «Живое вещество... геологически...является самой большой силой в биосфере и определяет... все идущие в ней процессы» [24].

Список использованных источников

1. Александров Б.Г. Гидробиологические основы управления состоянием прибрежных экосистем Черного моря. Национальная академия наук Украины Одесский филиал института биологии Южных морей им. А.О. Ковалевского. Киев. Наукова думка - 2008 г.
2. Архипкин В.С., Добролюбов С.А., Мухаметов С.С. Недоспасов А.А., Самборский Т.В., Самсонов Т.Е., Серебренникова Е.А., Суркова Г.В. Экстремальный дождевой паводок в бассейне р. Ашамба и его влияние на рельеф дна и структуру вод моря в районе г. Геленджик. Вестник Московского университета. Серия 5. География 2013. № 3
3. Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (Региональная экология). Учебное пособие. – Краснодар: ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ», 2010. - 356 с.
4. Воробьева Л. В., Виноградова К., Нестерова, Д. А., Синегуб И. А., Настенко Е. В., Гарлицкая Л. А. Условия формирования кормовой базы рыб в северо-западной части Черного моря в 1980 – 2000 гг.
5. Васечкина Е.Ф. Информационная технология поддержки устойчивого развития аквакультуры – концептуальная модель. Морской гидрофизический институт Российской академии наук, Севастополь, Российская Федерация.
6. Вершинин А. Жизнь Черного моря © 2003–2007
7. Виноградова Н.Н., Виноградова О.В. Колебания стока рек Кавказа в условиях современных изменений климата.
8. Вялова О.Ю. Перспективы развития устрицеводства у берегов Крыма (Институт морских биологических исследований им. А.О.Ковалевского РАН, г. Севастополь).
9. Вялова О.Ю. Использование некоторых технических приемов для оптимизации процесса выращивания тихоокеанской устрицы в Черном море.
10. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Берлинский Н.А., Гончаров А.Ю. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Сборник научных трудов г. Севастополь 2000.
11. Джаошвили Ш. Реки Черного моря. Европейское агентство по охране окружающей среды 2003
12. Дроздов В.В. Влияние крупномасштабных параметров циркуляции атмосферы и речного стока на уровненный режим Черного моря. // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 18.

13. Евсюков Ю.Д., Руднев В.И., Куклев С.Б. Рельеф дна Голубой бухты после катастрофического наводнения в долине реки Ашамба. Институт океанологии им. П.П. Ширшова (ЮО ИО РАН), Геленджик, Россия. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2013. № 2
14. Жиликова И.Г. Промышленное разведение мидий и устриц. Издательская группа «АСТ» Москва.
15. Зайцев Ю. П., Поликарпов Г. Г. Экологические процессы в критических зонах Черного моря: синтез результатов двух направлений исследований с середины XX века до начала XXI веков ©, 2002.
16. Зайцев Ю.П. Введение в экологию Черного моря. Одесса: «Эвен», 2006. с. 224.
17. Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Романов А.С., Игнатьева О.Г./ Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов МГИ НАН Украины. – Севастополь, 2006 – 90 с.
18. Искви Е. П. Подводный мир Черного моря.
19. Кондратьев С. И. Три характерные гидролого-гидрохимические ситуации возле устья Дуная по данным экспедиционных исследований Морского гидрофизического института в 1997–2013 годах.
20. Конилов Е.Г., Лиходедова О.Г. Глобальные и региональные факторы колебаний уровня Черного моря как основа геодинамической модели береговой зоны, 2009.
21. Макаревич А. А., Яротов А. Е. Речной сток и русловые процессы: пособие / – Минск : БГУ, 2019 – 115 с.
3. Маккавеев П.Н., Завьялов П.О. Сток малых и средних рек российского побережья Черного моря и его влияние на характеристики вод. Геохимия речного стока в Черное море.
23. Мухаметов С.С., Кондратьев С.И. Экстремальные значения гидрохимических параметров в водах Балаклавской бухты в феврале 2015 г. Вестник Московского университета. Серия 5. География 2018. № 5.
24. Остроумов С.А. Биоконтроль загрязнения водной среды: проблемы реабилитации и ремедиации, включая фиторемедиацию и зооремедиацию. Токсикологический вестник №6 (99), 2009.
25. Паутова Л.А., Силкин В.А., Часовников В.К. Реакция фитопланктонного сообщества на катастрофическое наводнение (июль 2012 г.)/Вопросы современной альгологии. 2018. № 2 (17). URL: <http://algology.ru/1295>
26. Полонский А.Б., Гребнева Е.А. Климатические характеристики водородного показателя вод приустьевой акватории у р. Дунай и его сезонная

изменчивость. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции моря России: исследования береговой и шельфовой зон (XXVIII береговая конференция). г.Севастополь, 2020.

27. Поспелова Н. В., Приймак А. С. Особенности питания мидии *mytilus galloprovincialis lam.*, культивируемой в прибрежье г. Севастополя/ ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Российская Федерация.

28. Проект ОБСЕ/ЕЭК ООН: Трансграничное сотрудничество и устойчивое управление бассейном реки Днестр. Трансграничное диагностическое исследование бассейна р. Днестр, ноябрь 2005.

29. Руднева, И.И., Шайда В.Г., 2019. Биотестирование вод эстуария реки Черной (Севастопольская бухта, Черное море) с помощью жаброногого рачка артемии. Трансформация экосистем 2 (3), 76–84 с.

30. Совга Е. Е., Хмара Т. В. Влияние стока реки Черной в периоды паводка и межени на экологическое состояние кутовой части акватории Севастопольской бухты.

31. Тучковенко Ю.С., Иванов В.А., Сапко О.Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района в северо-западной части Черного моря.

32. Хецуриани Е.Д. Хецуриани Т.Е. Мероприятия по борьбе с эвтрофикацией водоёмов Донской государственной технической университет Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический университет) им. М.И. Платова.

33. Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Черном море / под. ред. В.Н. Еремеева; Национальная академия наук Украины, Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского. – Севастополь. - 2010. - 424 с.

34. Чуприна Е.В., Щеголькова Н.М. Эколого-экономическая оценка потенциала развития аквакультуры моллюсков на побережье Черного моря © 2015 г. ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», Москва.

35. Эспер Х. Андерсен, Датский институт гидравлики вод и окружающей среды (DHI), Дженет Паулак, МЕС ~ Marine Environmental Consultants (Консалтинговое Агентство по защите Морской Среды) ООО «Калининградский печатный двор».

36. Юнев О. А. Вторичная эвтрофикация черноморского шельфа. Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь.

37. Barrington K., Chopin T. and Robinson S. 2009. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In D. Soto (ed.). Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. Rome, FAO. pp. 7–46.
38. Ovsyany E. I., Orekhova N. A. Hydrochemical regime of the River Chernaya (Crimea): Environmental aspects.
39. Вода России. Научно-популярная энциклопедия. Реки Крыма. Режим доступа: https://waterrf.ru/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%8B_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8/2536/%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%9A%D1%80%D1%8B%D0%BC/ (Дата обращения 30.10.2021)
40. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук. Антропогенная эвтрофикация. Режим доступа: <https://www.ibiw.ru/index.php?p=edu/eco/eco6> (Дата обращения 05.08.2021)
41. РГАУ-МСХА. Зооинженерный факультет. Санитарная маркиультаура. Режим доступа: <https://www.activestudy.info/sanitarnaya-marikultura/> ©. (Дата обращения 10.09.2021)
42. Река Дунай. Режим доступа: http://nemiga.info/europe/reka_dunay.html (Дата обращения 28.10.2021)
43. WWF. Позиция WWF России по вопросу коллекторной аквакультуры (марикультуры). Режим доступа: <https://wwf.ru/about/positions/kollektornaya-akvakultura-marikultura/> (Дата обращения 23.10.2021)