

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

---

**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

На правах рукописи

**ПШЕНИЧНЫЙ**  
**БОРИС ПАВЛОВИЧ**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**  
**ИСКУССТВЕННОГО ПОДЪЕМА ГЛУБИННЫХ ВОД ОКЕАНА**  
**И ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ИХ РЕСУРСОВ**

03.00.16 – Экология  
03.00.18 – Гидробиология

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук

Москва – 2005

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «ВНИРО») и Межведомственной Ихтиологической комиссии Министерства природных ресурсов Российской Федерации, Федерального агентства по рыболовству Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Российской Академии Наук.

### **Научный консультант**

доктор биологических наук В.Н. Безносков

### **ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:**

доктор биологических наук, профессор В.А. Абакумов

доктор биологических наук, профессор В.М. Хромов

доктор биологических наук, профессор В.И. Козлов

**ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:** Краснодарский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (КрасНИИРХ)

Защита состоится «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2005 г. в 15 час. 30 мин. на заседании Диссертационного совета Д 501.001.55 в Московском Государственном Университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119892 Москва, Ленинские горы, МГУ, Биологический факультет, 389 ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Биологического факультета МГУ.

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ »\_\_\_\_\_ 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат биологических наук

Н.В. Карташева

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Рост населения Земли привел к резкому увеличению потребностей человека в природных ресурсах. Уже в первой половине XX столетия антропогенная деятельность по освоению ресурсов достигла масштабов, сравнимых с масштабами геологических процессов, происходящих на Земле (Вернадский, 1960, 1965). Многие природные ресурсы стали исчерпываться настолько быстрыми темпами, что их нехватка уже в ближайшем будущем может сказаться на развитии нашей цивилизации. В то же время антропогенное загрязнение биосферы, происходящее, главным образом, при освоении ресурсов, достигло такого уровня, что поставило нашу планету перед угрозой глобального экологического кризиса (Коммонер, 1976; Будыко, 1984; Израэль, 1984; Израэль, Цыбань, 1989; Абакумов, Калабеков, 2002).

Дальнейший рост населения Земли потребует освоения еще большего количества природных ресурсов, запасы которых ограничены и, в значительной степени, уже истощены. На освоение такого количества ресурсов потребуется затрачивать еще больше энергии. Однако запасы традиционных источников энергии также ограничены и находятся на грани исчерпания. Кроме того, их использование, загрязняющее окружающую среду, может ускорить наступление экологического кризиса. В связи с этим, поиск путей рационального освоения природных ресурсов, не приводящих к негативным экологическим последствиям, становится одной из наиболее актуальных проблем.

Одним из перспективных путей решения проблемы дефицита природных ресурсов является освоение многочисленных ресурсов океана, содержащихся в толще его вод и в водах больших глубин. Освоить эти ресурсы можно, поднимая в поверхностный слой глубинную воду. Однако антропогенный подъем в поверхностный слой морей и океанов глубинной воды, как правило, значительно отличающейся от водной массы поверхностного слоя по ряду абиотических и биотических параметров, нарушит природную вертикальную структуру вод в районах подъема, изменит условия поверхностного слоя моря и приведет к нарушению структурно-функциональной организации водных экосистем. Таким образом, крупномасштабные нарушения стратификации вод океана при освоении ресурсов его глубинных вод могут привести к негативным экологическим последствиям для биосферы (Малиновский, 1993; Несов, 1995; Пшеничный 2000; Пшеничный, Безносков, 2001; Пшеничный, 2002; 2003 а, б; 2004).

Экологические проблемы, возникающие при искусственном подъеме глубинных вод, являются новыми проблемами, с которыми человек не сталкивался ранее, и изучены явно недостаточно. Интенсивное освоение ресурсов глубинных вод океана, связанное с их подъемом в поверхностный слой, потребует разработки научно обоснованных прогнозов возможных экологических последствий такой деятельности и практических рекомендаций по рациональному освоению ресурсов, предотвращающих возникновение негативных последствий, что приобретает особую актуальность.

**Цель и задачи исследования.** Основной целью работы является исследование экологических проблем, возникающих при искусственном подъеме глубинных вод в поверхностный слой океана, и разработка путей их рационального освоения, предотвращающих негативные экологические последствия.

Для решения этой цели поставлены следующие конкретные задачи:

- проанализировать современное состояние и использование биологических, химических, тепловых и энергетических ресурсов океана, особенности их распределения по глубинам и перспективы освоения при подъеме глубинных вод в поверхностный слой;
- рассмотреть существующие проекты и устройства для подъема в поверхностный слой океана глубинных вод и разработать устройства, использующие для этой цели возобновляемые источники энергии океана;
- проанализировать процессы, происходящие в поверхностном слое вод океана и в функционировании пелагических экосистем в районах природных подъемов глубинных вод, и выявить их связи с экологическими последствиями;
- исследовать воздействие основных факторов среды при искусственном подъеме глубинных вод на условия поверхностного слоя моря, жизнедеятельность организмов и функционирование пелагических экосистем;
- изучить причины возникновения экологических последствий в различных случаях распространения глубинной воды при ее искусственном подъеме в поверхностный слой моря;
- оценить перспективы использования биопродукционного потенциала глубинных вод океана при их подъеме в поверхностный слой с целью комплексного освоения ресурсов и предотвращения негативных экологических последствий;
- обосновать целесообразность создания искусственного подъема глубинных вод для промысла рыбы и культивирования гидробионтов и использования для этих целей глубинных вод, поднимаемых в качестве побочного продукта при других видах антропогенной деятельности;
- разработать мероприятия по управлению распространением глубинной воды при ее подъеме в поверхностный слой, позволяющие предотвратить действие факторов среды, приводящих к негативным последствиям, и использовать действие факторов, приводящих к позитивным последствиям для производства биологической продукции;
- разработать мероприятия и устройства по искусственной дестратификации вод загрязненных природных водоемов, способствующие улучшению качества их вод и комплексному использованию ресурсов, содержащихся в глубинных слоях.

**Основные защищаемые положения.** Предметом защиты являются следующие положения:

1. Искусственный подъем глубинных вод является мощным фактором воздействия на среду поверхностного слоя моря, жизнедеятельность водных организмов, структуру и функционирование пелагической экосистемы и биосферу.

2. К негативным экологическим последствиям при искусственном подъеме глубинных вод приводит, главным образом, действие температурного фактора среды, вызывающее изменение теплосодержания вод поверхностного слоя моря, и функционирование высокопродуктивных пелагических экосистем, образующихся в местах подъема вод, приводящее к нарушению современного баланса биогеохимических процессов биосферы.

3. Одним из путей рационального освоения природных ресурсов глубинных вод океана является их комплексное использование, включающее использование биопродукционного потенциала глубинных вод. Культивирование гидробионтов в местах искусственного подъема глубинных вод может быть одним из основных мероприятий по мелиорации вод поверхностного слоя, предотвращающих возникновение негативных экологических последствий.

4. Организация промысла рыбы и культивирования гидробионтов в местах искусственного подъема глубинных вод может быть перспективным направлением антропогенной деятельности по производству биологической продукции. Для этой цели целесообразно как создание искусственного подъема вод в некоторых районах океана, так и использование глубинных вод, поднимаемых к поверхности в качестве побочного продукта при других видах антропогенной деятельности.

5. На основании дифференцированного подхода к оценке действия факторов среды при искусственном подъеме глубинных вод разработана система мероприятий, технологических схем и рекомендаций по управлению распространением глубинной воды, направленных на предотвращение действия факторов среды, приводящих к негативным последствиям и использование действия факторов, приводящих к позитивным последствиям. Проведение предложенных мероприятий предотвратит возникновение негативных последствий и обеспечит создание высокопродуктивных экосистем для производства биологической продукции.

6. Искусственная дестратификация вод загрязненных водоемов волновыми устройствами, интенсифицирующими водообмен и аэрацию вод, способствует улучшению качества водной среды и рациональному использованию ресурсов глубинных слоев, увеличивая выход биологической пищевой продукции.

**Научная новизна и теоретическая значимость работы.** Настоящая работа является первым целенаправленным исследованием экологических проблем, возникающих в океане при искусственном подъеме глубинных вод, позволившим разработать некоторые пути их рационального освоения, предотвращающие возникновение негативных экологических последствий.

На основании полученных материалов по воздействию факторов среды на воду поверхностного слоя и жизнедеятельность пелагических организмов предложена принципиальная схема структурной перестройки и функционирования пелагической экосистемы при искусственном подъеме глубинных вод и возникновения экологических последствий.

Научно обоснованы перспективы комплексного освоения природных ресурсов глубинных вод океана, включающего использование биопродукционного потенциала этих вод для культивирования растительных и животных организмов. Показано, что культивирование гидробионтов в местах антропогенного подъема вод может быть одним из основных мероприятий по предотвращению возникновения негативных экологических последствий.

Научно обоснована целесообразность создания искусственного подъема глубинных вод в некоторых районах океана для промысла рыбы и культивирования гидробионтов, а также использования для этих целей глубинных вод, поднимаемых в качестве побочного продукта при других видах антропогенной деятельности.

Разработана методологическая основа системы мероприятий, технологических схем и рекомендаций по управлению распространением глубинной воды при ее подъеме в поверхностный слой, предотвращающих возникновение негативных экологических последствий и способствующих созданию высокопродуктивных, сбалансированных пелагических экосистем с целью увеличения производства биологической пищевой продукции. Предложена гипотетическая схема функционирования пелагических экосистем при проведении таких мероприятий.

Разработаны мероприятия по искусственной дестратификации вод загрязненных водоемов, для реализации которых разработаны и апробированы устройства, интенсифицирующие водообмен и аэрацию вод, использующие энергию волн.

**Практическое значение.** Результаты работы могут быть использованы в следующих областях практической деятельности:

- для оценки возможных экологических последствий воздействия различных видов антропогенной деятельности, связанной с подъемом глубинных вод, на окружающую среду (ОВОС);
- для оценки ущерба деятельности по подъему глубинных вод;
- при разработке и проведении в водоемах природоохранных мероприятий по предотвращению негативных экологических последствий антропогенного подъема глубинных вод;
- для организации рационального, комплексного использования ресурсов глубинных вод;
- при организации промысла рыбы и хозяйств по культивированию гидробионтов в местах искусственного подъема глубинных вод с целью увеличения производства биологической продукции в водоемах;
- при разработке технологий интенсивной аквакультуры;
- при проведении природоохранных мероприятий по улучшению качества вод загрязненных природных водоемов различного назначения.

**Апробация работы.** Результаты исследований были представлены на международном симпозиуме по биопродуктивности экосистем апвеллингов (Москва, 1979); научно-техническом совещании «Использование физических раздражителей в

целях развития морского рыбного промысла» (Клайпеда, 1982); II-м Всесоюзном съезде океанологов (Ялта, 1982); I-м Всесоюзном симпозиуме «Теоретические основы аквакультуры» (Москва, 1983); заседании Ученого Совета ВНИРО (Москва, 1984); заседании лаборатории планктона института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва, 1984); Всесоюзной конференции «Природная среда и проблемы изучения, освоения и охраны биологических ресурсов морей СССР и Мирового океана» (Ленинград, 1984); Международном симпозиуме по районам апвеллингов Западной Африки (Барселона, 1985); Научно-консультативном совете по биологическим ресурсам Мирового океана Межведомственной Ихтиологической комиссии (Москва, 1985); Всесоюзной конференции «Искусственные рифы для рыбного хозяйства» (Москва, 1987); III-м съезде советских океанологов (Ленинград, 1987); III-й Всесоюзной конференции по морской биологии (Севастополь, 1988); Международном симпозиуме по современным проблемам марикультуры в социалистических странах (Б.Утриш, 1989); Международном конгрессе «Вода: экология и технология» (Москва, 1994); Международном симпозиуме «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре» (Краснодар, 1996); I-м Конгрессе ихтиологов России (Астрахань, 1997); Международном Тихоокеанском конгрессе (PACON) «Человечество и океан» (Москва, 1999); Научной конференции «Водные экосистемы и организмы – 3» (Москва, 2000); XII-й Международной конференции по промысловой океанологии (Светлогорск, 2002); Международном семинаре «Роль климата и промысла в изменении структуры зообентоса шельфа» (Мурманск, 2003); Ученом Совете Межведомственной Ихтиологической комиссии (Москва, 2004).

Результаты работы демонстрировались на международных выставках. На ВДНХ СССР в 1990 г. работа отмечена серебряной медалью, на выставке «Инрыбпром - 2000» в 2000 г. - дипломом.

**Публикации.** По теме работы опубликовано 58 работ, из которых 15 авторских свидетельств.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 416 страницах машинописного текста и состоит из введения, 8 глав, выводов и списка литературы. Диссертация включает 23 таблицы и 40 рисунков. Список литературы содержит 558 отечественных и 106 иностранных наименований работ.

## **ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ОКЕАНА**

Анализ состояния мировых природных ресурсов, темпов их потребления и производства показал, что ресурсы ограничены, а добыча многих из них на суше подошла к предельно допустимому уровню. Экологические последствия чрезмерно интенсивного освоения ресурсов суши, приведшие к глобальному загрязнению биосферы, уже в настоящее время изменили условия обитания живых организмов и сказываются на жизнедеятельности и здоровье людей. Освоение природных ресурсов океана должно

осуществляться не только бережно и рационально, но и с учетом негативных последствий освоения ресурсов суши, приведших к глобальным экологическим проблемам.

Антропогенная деятельность в океане была традиционно приурочена к водам поверхностного слоя или к районам с небольшими глубинами. В настоящее время она распространяется на всю толщу вод и большие глубины. В качестве примеров можно привести добычу нефти, газа, угля, полиметаллических конкреций, извлечение из морской воды ценных химических веществ, выработку электроэнергии на термальных станциях ОТЕК, водозаборы холодной воды для охлаждения атомных электростанций, подъем вод для повышения биологической продуктивности в хозяйствах аквакультуры и др.

Освоение природных ресурсов океана осуществляется по трем основным направлениям: освоение биологических, химических, тепловых и энергетических ресурсов.

Водная оболочка Земли – гидросфера, является средой обитания водных растений и животных, являющихся **биологическим ресурсом океана**, который традиционно используется человеком, главным образом, для обеспечения пищевых потребностей. Основную часть водной биологической продукции человек получает за счет промыслового вылова рыбы.

Долгое время освоение биологических ресурсов океана осуществлялось медленными темпами. Мировой улов рыбы и морепродуктов к середине прошлого столетия составлял всего лишь 17,0 млн.т. (табл. 1). Рост потребностей населения Земли в рыбном белке и достижения научно-технического прогресса привели к резкому увеличению интенсивности промысла. С 50-х до 70-х годов прошлого столетия мировой промысловый вылов рыбы и водных объектов увеличился примерно в 5 раз. В этот период темпы прироста мирового вылова ежегодно увеличивались на 10%, превышая темпы прироста населения Земли.

Таблица 1. Мировой промысловый вылов рыбы и мировая продукция аквакультуры, млн. тонн (ФАО, 2003).

Годы	Промысловый вылов	Аквакультура	Всего
1950	17,0	--	17,0
1960	34,0	--	34,0
1970	76,2	--	76,2
1980	75,4	--	75,4
1985	79,0	11,2	90,2
1990	85,6	13,1	98,7
1995	91,9	24,5	116,4
2000	95,4	37,5	130,9

С середины 90-х годов мировой вылов стабилизировался на уровне 90-95 млн.т. Стало очевидным, что промысловые биологические ресурсы океана ограничены и истощены, а объем продукции, добываемой в настоящее время в Мировом океане, является предельно допустимым. Дальнейшее наращивание интенсивности промысла не приведет к увеличению вылова и создаст угрозу для существования как отдельных видов, так и всей водной экосистемы в целом.

Тем не менее, несмотря на стабилизацию промыслового вылова, абсолютные величины мирового производства водной продукции продолжали расти и к началу нашего столетия

превысили 130 млн.т. Этот рост происходил за счет аквакультуры.



Мировая аквакультура начала развиваться с 80-х годов прошлого столетия бурными темпами, значительно опережающими темпы промышленного лова. К настоящему времени мировой объем ее продукции достиг свыше 35 млн.т (более 30% от величины мирового производства водной биологической продукции).

Не вызывает сомнения, что увеличить производство белковой пищи в океане возможно лишь при переходе от промыслового вылова к таким перспективным формам хозяйствования, как аквакультура, управляемые хозяйства, повышение биологической продуктивности вод и др. (Моисеев 1969, 1985; 1996; Пшеничный, 1982; 2004; Виноградов и др., 1986; Макоедов, 2001).

Все химические вещества и соединения, растворенные в водах морей и океанов, являются **химическим ресурсом океана**. Несмотря на их малые концентрации в литре воды, общие и потенциальные запасы химических веществ в океане, учитывая громадные объемы его вод, огромны и составляют многие млн.т.

Концентрация многих химических веществ значительно повышается с увеличением глубины. Эта особенность наиболее ярко выражена у химических веществ, относящихся к группе биогенных элементов, у микроэлементов, некоторых металлов, газов. Еще более заметно увеличение концентрации химических веществ в местах выхода со дна океана глубоководных гидротермальных источников, в которых концентрация металлов - никеля, меди, обогащенного взвесями железа, серебра, марганца и ряда других микроэлементов в тысячи раз превышает их среднее содержание в океане, так что наибольшие перспективы имеет освоение химических ресурсов глубинных вод (Дрейк, Имбри и др., 1982; Галкин, 2002; Гебрук, Галкин, 2002).

Человек также использует **тепловые и энергетические ресурсы океана**, накапливаемые в его водах от энергии солнца. Энергия солнечного тепла трансформируется в океане в другие формы возобновляемой энергии – в энергию ветра, течений, волн, приливов, разницы температуры, перепада солености и др. Освоение этих источников энергии может обеспечить огромные мощности – сотни млрд. кВт и удовлетворить как существующие потребности человека, так и потребности будущего (Обрезков, 1987; Волшаник, Хаманджода, 2001).

Огромна также запас воды, имеющей низкую температуру - «запас холода» глубинных вод. Этот ресурс используется для охлаждения силовых механизмов, получения пресной воды, кондиционирования воздуха.

Наиболее перспективно использование энергетического ресурса океана в виде разницы температуры воды поверхностного и глубинного слоев для получения электроэнергии. Существуют программы использования термальной энергии океана, в рамках которых уже построено несколько опытных океанских электростанций, вырабатывающих электроэнергию (Hanson, 1974; Пенни, Бхаратхан, 1987).

Несмотря на богатство вод океана различными природными ресурсами, в их освоении делаются лишь первые шаги, и эти ресурсы в настоящее время считаются нетрадиционными. К настоящему времени только традиционные биологические ресурсы

океана освоены на 100%. Ресурсы минерального топлива освоены незначительно, в то время как ресурсы химических веществ, тепловые и энергетические ресурсы океана практически не освоены.

Рост потребностей человека в ресурсах, их исчерпание на суше и наличие в толще вод и на больших глубинах приводит к тому, что антропогенная деятельность по освоению природных ресурсов, содержащихся в глубинных водах океана, является перспективной и расширяется. Подъем в поверхностный слой глубинных вод принимает все большие масштабы, и вероятность возникновения негативных последствий будет возрастать.

## **ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалом для настоящей работы послужили результаты многолетних исследований, проведенных на Черном, Белом, Балтийском, Охотском морях, в Атлантическом и Индийском океанах, а также на пресноводных озерах и водохранилищах. Основные исследования по влиянию глубинных вод на жизнедеятельность водных организмов проводились в северо-восточной части Черного моря на научно-экспериментальном комплексе марикультуры ВНИРО Б. Утриш в период с 1982 по 1990 гг.

Сбор и обработка материалов осуществлялись по общепринятым, стандартным гидрохимическим (Методы гидрохимических исследований океана, 1978; Сапожников и др., 1988) и гидробиологическим методикам (Киселев, 1969; Федоров, 1979; Сорокин, 1983).

В проведении экспериментальных работ, в сборе и обработке материалов принимали участие сотрудники ВНИРО, лаборатории гидробиологии Кубанского государственного университета и лаборатории планктона ИОАН СССР. Основная часть материалов собрана и обработана нами совместно с сотрудниками кафедры гидробиологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

## **ГЛАВА III. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДЪЕМА ГЛУБИННЫХ ВОД**

Для освоения ресурсов, содержащихся в глубинных водах морей и океанов, существует множество различных проектов и устройств, предназначенных для подъема в поверхностный слой глубинных вод. Для их работы предлагается использовать как традиционные, невозобновляемые источники энергии, так и альтернативные, возобновляемые - энергию течений, волн, приливов, разницу температуры вод поверхностного и глубинного слоев и др. Следует отметить, что большинство из них имеет сложную конструкцию, малоэффективно и их работоспособность вызывает сомнения.

На протяжении ряда лет нами разрабатывались устройства для подъема в

поверхностный слой глубинных вод. Созданные нами устройства искусственного апвеллинга работают, используя энергию ветровых, поверхностных волн водоемов, просты по своей конструкции, недорогостоящи, автономны, не потребляют электроэнергии, не требуют технического обслуживания и не загрязняют окружающую среду. Конструкции устройств защищены 7 авторскими свидетельствами (Авт. свидет., Пшеничный №№ 1248579, 1976; 1314989, 1987; 1384656, 1987; 1511455, 1989; 1563646, 1990; 2057230, 1996; 2074837, 1997).

Разработанные волновые устройства можно разделить на 3 типа (рис. 1):

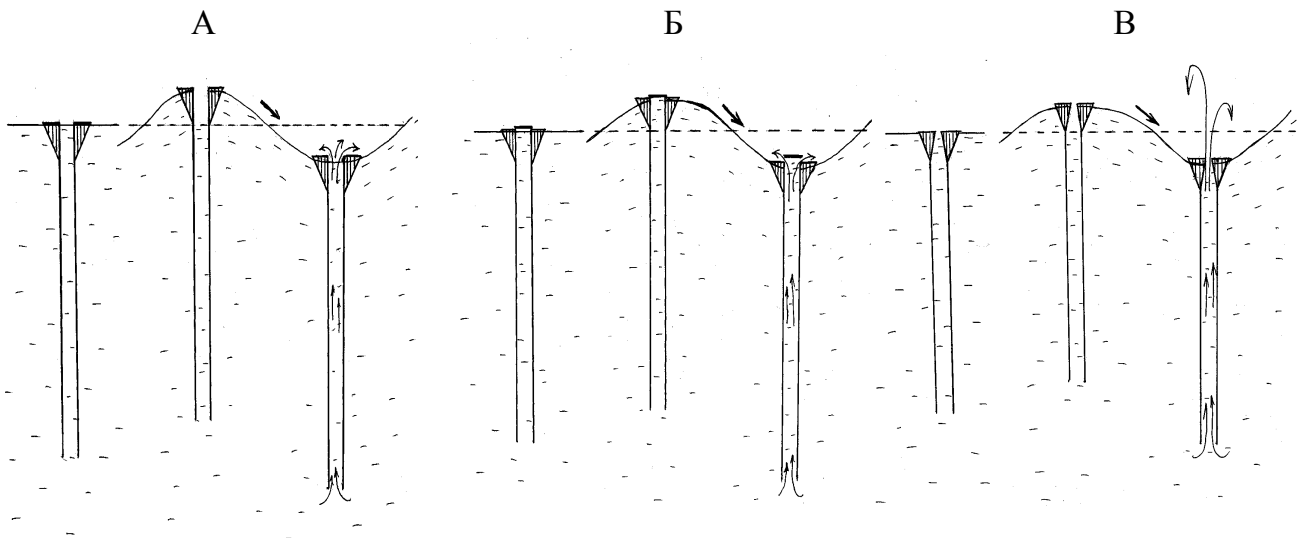


Рис. 1. Схема работы волновых устройств для подъема вод с глубины (искусственный апвеллинг) (А - без клапана, Б – с клапаном, В – с воронкой).

устройства без клапана (А), с клапаном (Б), с соплом–воронкой (В). Эти устройства представляют собой трубопроводы, укрепленные на поплавках, «отслеживающих» волны. Совершая на волнах перемещения вверх-вниз, они, благодаря несложным приспособлениям, преобразуют кинетическую энергию волн в работу по подъему воды с глубины на поверхность или над поверхностью водоема.

Нами изготовлено несколько десятков опытных образцов волновых устройств разных типов. Испытания показали их работоспособность и эффективность. Производительность устройств достигала  $4 \text{ м}^3/\text{мин.}$  при высоте волн до 1 м и периоде 15-20 сек. Наибольшая глубина, с которой устройства поднимали воду в Черном море, – около 200 м (Пшеничный, 1986). Разработана методика расчета их производительности, показывающая, что волновые устройства с трубопроводом диаметром 1,2 м могут обеспечить расход воды порядка  $1 \text{ м}^3/\text{сек.}$  (Вершинский, Пшеничный и др., 1987).

Опыт зарубежных исследователей подтвердил справедливость наших расчетов. Волновое устройство с трубопроводом диаметром 1,2 м, длиной 300 м, имеющее аналогичную конструкцию, в районе Гавай обеспечивало расход  $0,95 \text{ м}^3/\text{сек.}$  (Clark, 1995; 1999). Существуют возможности значительного увеличения расходов волновых устройств

и их использования для подъема воды с гораздо больших глубин (Монахов, 1997; Веселов, Лукерченко, Пшеничный, 1998).

#### **ГЛАВА IV. ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД ОКЕАНА. ПРИРОДНЫЕ НАРУШЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ**

Важнейшей особенностью гидрологической структуры вод океана является характер вертикального расположения его водных масс. Большинство районов океана постоянно стратифицированы (Sverdrup et al., 1942; Schott, 1943; Добровольский, 1961; McGowan, 1974; Беклемишев, Парин и др., 1977). Между тем, под влиянием природных факторов вертикальная структура вод в некоторых районах океана может нарушаться и воды одной водной массы поступают в воды другой.

В качестве примеров природного нарушения вертикальной структуры вод можно привести нарушение стратификации в периоды осенне-зимней конвекции в районах высоких и умеренных широт (Гершанович, Сапожников и др., 1986). В этих районах с наступлением осени воды поверхностного слоя охлаждаются, их плотность изменяется и они опускаются вниз, смешиваясь с водами глубинного слоя, то есть наблюдается миктический тип нарушения стратификации (Безносков, 2000). Миктический тип нарушения вертикальной структуры вод может наблюдаться также во время сильных штормов, когда в волновое движение вовлекается водная масса подповерхностного слоя воды, которая смешивается с водной массой поверхностного слоя. Вертикальная структура вод также нарушается и во время сгонно-нагонных ветров, когда водная масса поверхностного слоя «отгоняется» ветром от берега, а на ее место поступает вода с глубины (хорический тип распространения глубинной воды).

Природные нарушения вертикальной структуры происходят и в водах открытого океана в результате действия синоптических вихрей в атмосфере (Сапожников, 1988), вихревых образований в толще вод (Мордасова и др., 2002), а также в результате действия некоторых катастрофических природных явлений – тектонических, сейсмических, извержениях подводных вулканов (Алексеев, Бадюков и др., 1990; Безносков, 1998). Постоянные природные нарушения вертикальной структуры вод происходят также в местах поступления в море пресных вод речного стока (Пантюлин, 1983; Day, Jonson, 1989).

Особенно ярко нарушения структуры вод проявляются в районах морей и океанов, в которых под действием природных причин, происходит постоянный подъем в поверхностный слой вод с глубины – в так называемых районах природных апвеллингов. Наиболее мощные постоянные прибрежные природные апвеллинги – Перуанский, Калифорнийский, Бенгельский, Канарский, Сомалийский, связаны с действием восточных пограничных течений (Кочиков, 1980; Фомичев, 1986; Виноградов, 1990).

Природные причины подъема глубинных вод в разных районах океана различны. Различны глубины, с которых поднимается вода, различны объемы, скорости подъема, температура, состав и концентрация химических веществ, состав гидробионтов в поднимающейся воде и т.д. Однако, не смотря на это, в разных районах природного подъема вод существуют общие закономерности как в условиях, создающихся в поверхностном слое, так и в развитии планктонных сообществ, а также в возникающих при подъемах вод экологических последствиях.

Площади, занимаемые известными в настоящее время природными апвеллингами в океане велики, составляют многие сотни миль<sup>2</sup>. Вместе с тем, в сумме они не превышают 0,1 – 1% площади поверхности Мирового океана. Значение этих районов в продуцировании первичного органического вещества и последующей биологической продукции огромно. Мировой вылов рыбы в районах природных апвеллингов составляет до 50% от вылова рыбы во всем Мировом океане (Моисеев, 1969).

Процессы, происходящие при антропогенных подъемах в поверхностный слой глубинных вод, наиболее схожи с природными процессами, происходящими в морях и океанах в районах природных апвеллингов. Поэтому анализ материалов, описывающих природные нарушения вертикальной структуры вод в этих районах, имеет большое значение для оценки возможных экологических последствий искусственного подъема глубинных вод и разработки путей их рационального освоения, предотвращающих возникновение негативных экологических последствий.

**Распространение глубинной воды в поверхностном слое моря.** В районах природных апвеллингов более плотная глубинная вода, поднимающаяся в поверхностный слой моря, не погружается на глубину, «не тонет», так как существует природный механизм, направленный на «удержание» этой воды в воде поверхностного слоя путем выравнивания ее плотности с плотностью воды этого слоя. Действию этого механизма способствуют следующие природные факторы: небольшая разница в плотности, большие площади подъема, малая скорость подъема, возможность «вовлечь» в вертикальное движение водные массы расположенных выше менее плотных промежуточных слоев воды, наличие постоянного «подпора» водой, поднимающейся с глубины, динамические процессы (волнение, течения) в поверхностном слое моря и др.

**Изменение условий среды поверхностного слоя вод.** Природный подъем глубинных вод является мощным фактором воздействия на условия поверхностного слоя моря и на организмы. При подъеме вод действует комплекс факторов среды – физические, химические и биологические, и в воды поверхностного слоя, характеризующиеся определенным комплексом физико-химических и биологических параметров, поступают воды глубинных водных масс, характеризующиеся набором других показателей. В результате происходит смешивание вод и обмен теплом, химическими веществами и организмами. Образуется «новая» водная масса, отличающаяся от водной массы как поверхностного, так и глубинного слоев, в которой создаются «новые», нетипичные для существующей ранее биоты условия.

Важную роль при природных нарушениях структуры вод имеет действие температурного (физического) фактора среды – «запаса холода» глубинных вод. Поступление в теплые воды поверхностного слоя моря холодных вод с глубины приводит к изменению теплосодержания вод поверхностного слоя, что является важным экологическим последствием природного подъема глубинных вод. В результате этого последствия нарушаются процессы теплообмена в контактной зоне гидросферы и атмосферы, происходит изменение температуры атмосферного воздуха, увеличивается облачность и количество атмосферных осадков, то есть оказывается воздействие на климат. Такое воздействие сказывается не только на климате в районах природных подъемов глубинных вод, но и на климате прилегающих районов суши, то есть оказывает влияние на биосферу (Демин, Усыченко, 1982; Седых, 1983; Степанов, 1983; Лаппо, Гулев и др., 1990).

С экологической точки зрения понижение температуры имеет гораздо большее значение для организмов, чем ее повышение на ту же величину. В связи с этим, изменение температурных условий поверхностного слоя моря в районах природных апвеллингов можно рассматривать как разновидность термального загрязнения водной среды – загрязнение холодом. В то же время, действие химического и биологического факторов рассматривается как разновидность химического и биологического загрязнения вод. Таким образом, природный подъем вод является особым видом природного загрязнения водной среды – природным дестратификационным загрязнением, которое происходит за счет вертикального перераспределения физических, химических и биологических компонентов среды из вод одной водной массы в другую (Безносков, 2000).

В поверхностном слое моря в районах природных апвеллингов, вблизи от места подъема, какой-то объем вод поверхностного слоя может быть заполнен «молодой», «голубой», глубинной водой, то есть преобладает хорический тип распространения глубинной воды. Поднявшаяся с глубины вода сносится поверхностным течением. С увеличением расстояния от зоны подъема эта вода смешиваются с водой поверхностного слоя и начинает преобладать миктический тип ее распространения. Еще дальше к периферии глубинная вода полностью смешивается с водой поверхностного слоя, «новая» водная масса «созревает», «стареет» и ее присутствие в поверхностном слое перестает ощущаться. На разном расстоянии от зоны подъема создаются различные условия. В соответствии с этим, происходит сукцессия и созревание пелагической экосистемы и на разных участках «новой» водной массы ответные реакции организмов носят принципиально различный характер.

**Изменение структуры и функционирования пелагической экосистемы.** Следует отметить, что к изменению состояния биосферы при природных подъемах вод приводит не только действие абиотических факторов среды, но также действие биотического фактора – функционирование пелагических экосистем.

Вопросы функционирования пелагических сообществ в районах природных апвеллингов подробно изложены в многочисленных работах М.Е. Виноградова и его

коллег (В кн.: Биология океана, 1977, т. 1, т. 2; Экосистемы пелагиали Перуанского района, 1980; Биопродуктивность экосистем апвеллингов, 1983; Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана, 1985 и др.). В этих работах показано, что поступление в поверхностный слой моря глубинных вод приводит к изменению условий поверхностного слоя (к образованию «новой» водной массы), и описаны изменения в жизнедеятельности организмов и функционировании пелагических экосистем в районах природных подъемов глубинных вод.

На основании анализа литературных данных нами предложена схема изменений структурно-функциональной организации пелагических экосистем, происходящих в районах природных апвеллингов под действием основных факторов среды на разном расстоянии от зоны подъема воды, позволяющая объяснить некоторые причинно-следственные связи между их функционированием и возникающими при этом экологическими последствиями (рис. 2).

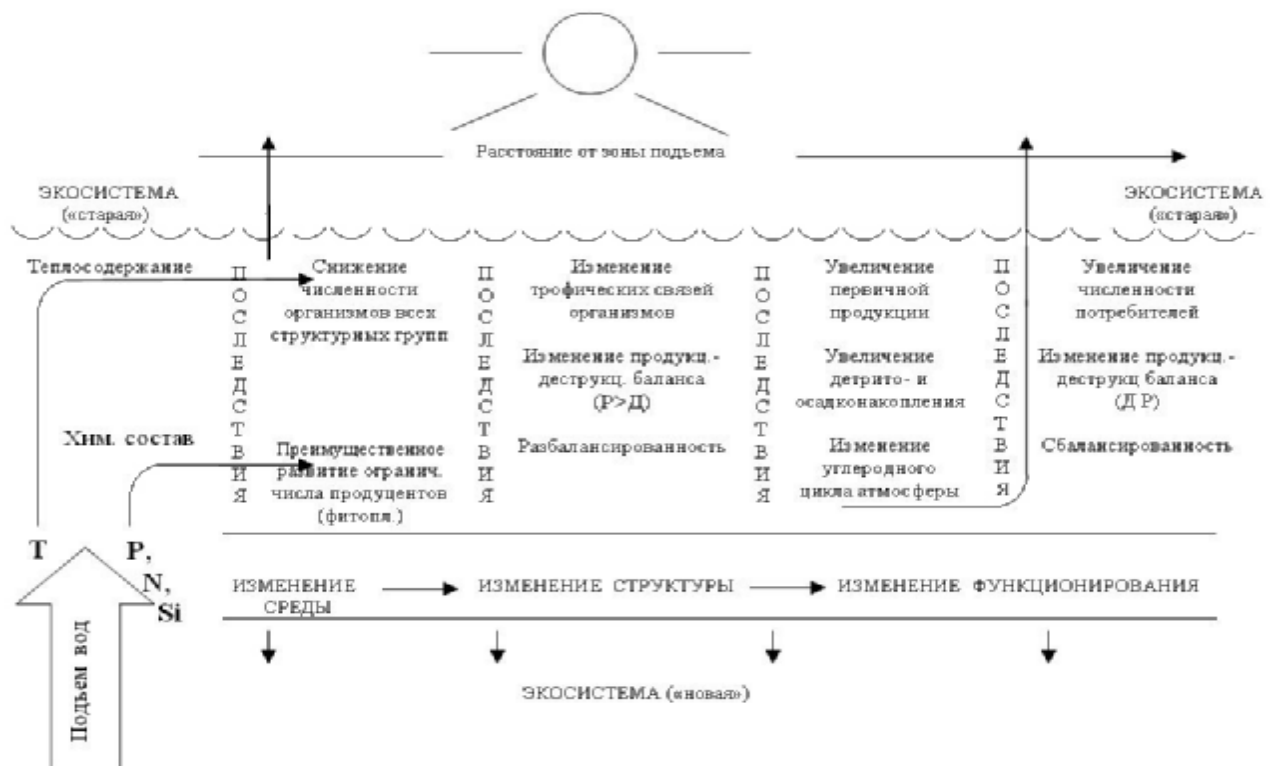


Рис. 2. Схема хода основных процессов функционирования пелагических экосистем и возможных экологических последствий в районах природных апвеллингов под действием основных факторов среды на разном расстоянии от зоны подъема воды.

Сразу же при поступлении в поверхностный слой моря холодной глубинной воды, под действием температурного (физического) фактора среды, изменяется теплосодержание вод поверхностного слоя, что оказывает непосредственное влияние на атмосферу, приводя к изменению климата. Под действием этого фактора большинство организмов выбывает из планктонного сообщества. В то же время действие химического фактора среды (увеличение концентрации биогенных веществ) создает благоприятные условия для развития и роста небольшого числа видов - продуцентов - организмов

фитопланктона, вызывая увеличение их биомассы и продукции. Сукцессионные изменения в сообществе приводят к продукционной стадии его развития. На этой стадии в сообществе остается ограниченное число видов, достигающих высокой численности. Пищевые отношения организмов слабо сбалансированы и такое сообщество нестабильно.

Уменьшение видового разнообразия приводит к очередному последствию – изменению структуры планктонного сообщества, при котором нарушаются трофические связи между организмами, изменяется продукционно-деструкционный баланс и происходит разбалансирование пелагической экосистемы, то есть изменяется ее функционирование. В результате возникают «новые», «молодые» пелагические экосистемы.

Важнейшим экологическим последствием функционирования таких «новых» экосистем на продукционной стадии развития является увеличение темпов продуцирования органического вещества. По мере увеличения расстояния от зоны подъема воды, в поверхностном слое океана появляется избыточная первичная продукция, которая оказывается «лишней», так как полностью не утилизируется ее потребителями, численность которых в зоне подъема вод снижена. То есть, увеличение продукции фитопланктона происходит не только за счет действия химического фактора среды, приводящего к росту части продуцентов, но и за счет действия физического фактора, вызывающего снижение численности консументов (Кушинг, 1979).

Значительная часть избыточной продукции погружается в виде детрита на дно, обеспечивая в этих районах увеличение осадкообразования. В районах природных апвеллингов оседающая органика состоит, главным образом, из мелких фракций отмерших водорослей, бактерий и простейших, в то время как в районах, где подъема вод не происходит, она представлена преимущественно фекальными комочками (Лисицын, Виноградов, 1982; Лисицын, 1986).

В приведенных выше работах М.Е. Виноградова и его коллег показано, что функционирование «новых», высокопродуктивных, разбалансированных экосистем в районах постоянных природных подъемов глубинных вод приводит к тому, что растительными организмами в состав их тел извлекается из воды большее количество углерода (в виде растворенного  $\text{CO}_2$ ), чем в районах, где подъема вод не происходит.

При функционировании сбалансированных пелагических экосистем в районах океана, где подъема вод не происходит (рис. 3, А), лишь незначительная часть избыточной первичной продукции покидает фотическую зону, погружаясь на дно, и еще меньшая часть (5-10% в виде углерода) «захороняется» в донные осадки. В то же время, при функционировании высокопродуктивных, разбалансированных экосистем в районах природных апвеллингов (рис. 3, Б) в осадки поступает гораздо большее количество углерода (до 30-40%), что увеличивает поток углерода из атмосферы, приводя к изменению климата (Riely, 1970; Лисицын, Виноградов, 1982; Лебедева, Виноградов и др., 1982; Лисицын, 1983; Кузнецов, Троцюк, 1995; Цыбань, Мошаров, 1995; Цейтлин, 2000).



Таким образом, влияние на биосферу в районах природных подъемов глубинных вод оказывает не только действие температурного фактора среды, приводящее к изменению теплозапаса вод поверхностного слоя моря, но и функционирование «новых», высокопродуктивных пелагических экосистем, образующихся в местах подъема вод, отражающееся на биогеохимическом цикле углерода биосферы. Такое экологическое последствие природного подъема глубинных вод имеет большое значение. Благодаря этому, природные апвеллинги являются важным климатообразующим фактором.

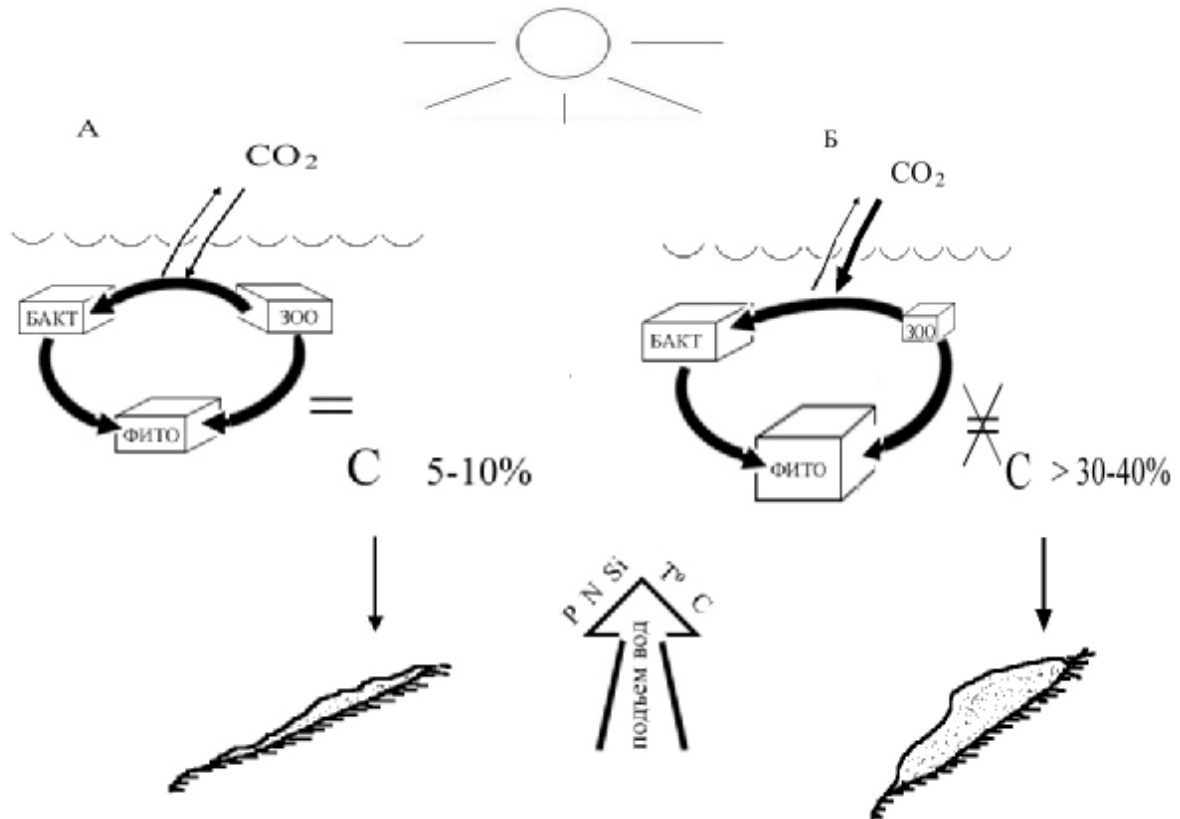


Рис. 3. Схема взаимодействия основных структурных элементов пелагических экосистем и потока углерода из атмосферы в донные осадки (А - в сбалансированных экосистемах, Б - в разбалансированных в районах природных подъемов глубинных вод).

По мере дальнейшего сноса глубинной воды от зоны ее подъема (течением) происходит «созревание» «новой» водной массы и дальнейшее созревание и сукцессия планктонного сообщества. Наступает деструкционная стадия его развития. На этой стадии количество фитопланктона снижается, а биомасса зоопланктона возрастает. Максимум биомассы постепенно смещается от организмов низших трофических уровней к организмам более высокого трофического уровня (рис. 4). Трофические связи организмов становятся напряженными, сбалансированы и структура экосистемы стабилизируется. Деструкционные процессы начинают преобладать над продукционными. Использование первичной продукции фитопланктона пелагическими животными организмами становится более эффективным.

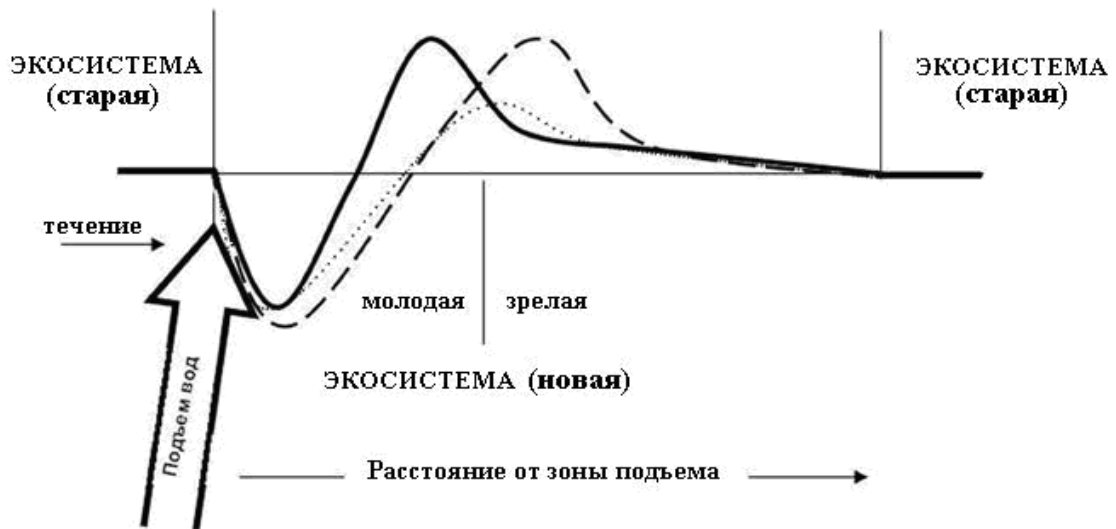


Рис. 4. Схема развития пелагической экосистемы и изменения биомасс организмов основных структурных групп на разном расстоянии от зоны природного подъема глубинных вод ( — фитопланктон, - - зоопланктон, ..... бактериопланктон).

Изменение функционирования пелагических экосистем в районах природных апвеллингов, в результате которого повышается уровень продукции фито- и зоопланктона, обеспечивает существование на периферии таких районов потребителей этой продукции, в том числе скоплений массовых рыб, питающихся фитопланктоном. В большинстве таких районов сформировались пелагические сообщества с короткими пищевыми цепями, что позволяет им в полной мере использовать поток вещества и энергии и обеспечивает чрезвычайно высокую продукцию их конечных звеньев. Это, главным образом, фитопланктон – анчоус (*Engraulis ringens* Jenyns) в Перуанском апвеллинге, (*Sardinella aurita* Valenciennes) в апвеллинге северо-западной Африки, (*Sardinops sagax melanosticta* (Schlegel) и *Engraulis japonicus japonicus* (Schlegel) у тихоокеанского побережья Японии, (*Sardinops caerulea* (Girard)) в Орегонском апвеллинге (Виноградов, Парин и др., 1977).

Наличие скоплений массовых видов рыб на периферии районов природных апвеллингов является важным последствием природного подъема глубинных вод. Как мы упомянули выше, человек использует это последствие, добывая в этих районах до 50% мирового вылова рыбы.

Природный подъем глубинных вод в районах постоянных природных апвеллингов, существующий длительный (геологический) период времени, стал к настоящему времени важным элементом гидрологической структуры вод мирового океана – частью жизненного цикла водных экосистем, неотъемлемой частью механизма функционирования современной биосферы - частью ее современного баланса. По этой причине наблюдающиеся в районах подъема глубинных вод экологические последствия, вызывающие изменения физико-химических и биотических параметров водной среды, в целом не могут рассматриваться как негативные.

## **ГЛАВА V. АНТРОПОГЕННЫЕ НАРУШЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД**

Помимо антропогенной деятельности по освоению природных ресурсов, в ходе которой осуществляется целенаправленный подъем глубинных вод в поверхностный слой, существует обширная сфера деятельности, при которой подъем глубинных вод происходит в качестве побочного эффекта. Это – прокладка трубопроводов, кабелей, транспортировка добытых на дне минералов, гидротехническое строительство, дноуглубительные и взрывные работы, создание искусственных рифов (Гершанович, 1987; Пупышев, 1988), работа приливных электростанций (Марфенин и др., 1995), глубинные водосбросы тепловых и атомных электростанций (Безносков, 1997; Суздалева и др., 1998/1999). К нарушению вертикальной структуры вод могут также привести последствия антропогенной деятельности на суше, связанные с сокращением стока рек (Штейнхорн, Гат, 1983; Виноградов, 1987).

В результате таких видов деятельности нарушения вертикальной структуры вод уже в настоящее время происходят в некоторых районах Мирового океана. В будущем их воздействие на водные экосистемы будет возрастать, и антропогенный подъем глубинных вод может стать одной из основных причин, приводящей к негативным экологическим последствиям.

**Сравнительный анализ антропогенных и природных нарушений вертикальной структуры вод.** При антропогенном подъеме глубинных вод, также как в районах природных апвеллингов, в воду поверхностного слоя поступают глубинные воды, значительно отличающиеся по своим физико-химическим и биотическим параметрам, то есть действуют те же факторы среды. Поэтому характер его воздействия на абиотические условия поверхностного слоя вод и реакции организмов в целом носит сходный характер с явлениями, наблюдаемыми в районах природных апвеллингов. Однако между процессами, происходящими в районах природных и антропогенных подъемов вод, существуют и некоторые принципиальные отличия.

Постоянный подъем вод в районах природных апвеллингов происходит с глубин, как правило, не превышающих 200-300 м, и существует в течение длительного геологического времени. Искусственный подъем вод может быть создан человеком в любое время, в любых районах моря, в том числе в тех, где подобные явления ранее не происходили. При этом может быть поднята вода практически с любой глубины. По своим параметрам она может значительно отличаться от воды, поднимающейся в районах природных апвеллингов. Время действия искусственного подъема вод в некоторых случаях может превышать время действия кратковременных природных подъемов вод, однако, оно ограничено и несравнимо со временем действия постоянных нарушений вертикальной структуры вод. В настоящее время несравнимы также объемы глубинной воды, поднимаемой искусственным образом, однако интенсивное освоение ресурсов вод океана

и другие формы антропогенной деятельности могут привести к тому, что антропогенные нарушения вертикальной структуры вод могут охватить значительные акватории Мирового океана.

Человек поднимает глубинную воду, чаще всего, по трубопроводу, и поднятая вода, как правило, выливается на небольшой площади, то есть происходит «точечный» вылив глубинной воды. Скорость искусственного подъема воды, зависящая от производительности механизмов, может в тысячи раз превышать скорость подъема вод в районах природных апвеллингов, в результате чего глубинная вода практически мгновенно поступает в поверхностный слой моря.

Искусственный подъем воды происходит именно с того горизонта, на который опущен нижний конец трубопровода, поэтому в процессе подъема глубинная вода не смешивается с водой менее плотных, промежуточных слоев и ее плотность не изменяется. Поднятая вода «не подпирается» массами воды, поднимающимися снизу, так что природный механизм «удержания» глубинной воды в поверхностном слое не действует и поднятая вода может погружаться на глубину, «тонуть».

**Распространение глубинной воды в поверхностном слое моря.** При искусственном подъеме глубинной воды возможны два основных (крайних) случая ее распространения в поверхностном слое. Первый крайний случай, когда поднятая глубинная вода после ее подъема погружается на глубину, «тонет» (рис. 5, А и Б), возможен при значительном отличии поднятой воды от воды поверхностного слоя по плотности. Если более плотная глубинная вода погружается на большие глубины океана (рис. 5, А), ее влияние на воду поверхностного слоя будет небольшим и последствиями подъема можно пренебречь.

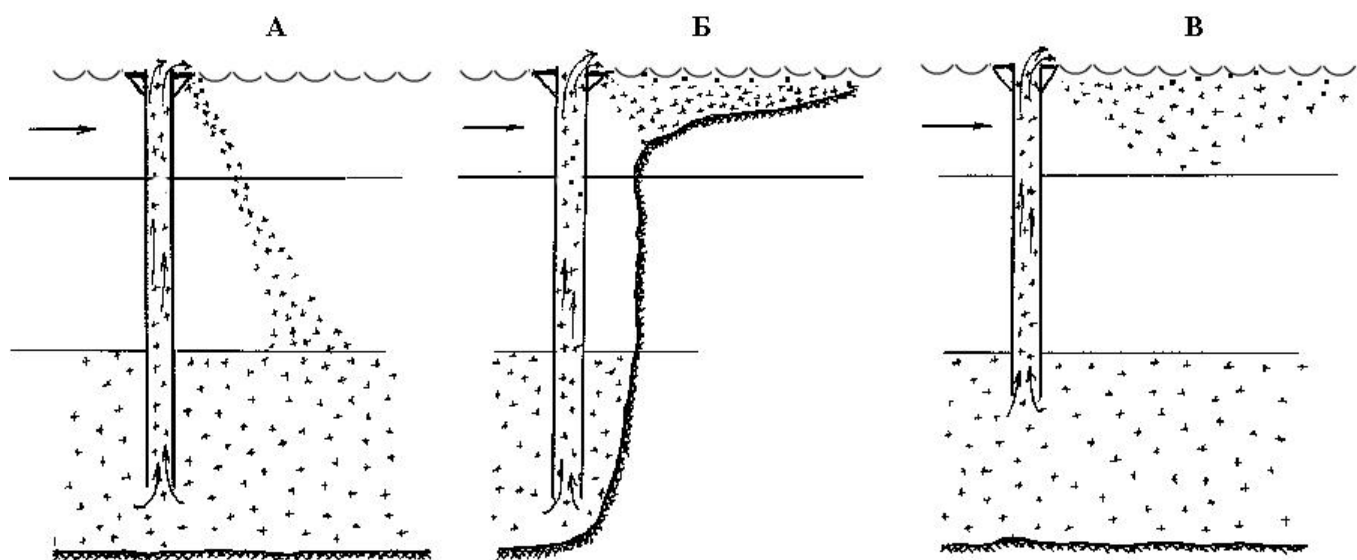


Рис. 5. Схема распространения глубинной воды при антропогенных нарушениях вертикальной структуры вод (А – поднятая вода «тонет», погружаясь на глубину, Б - поднятая вода «тонет», погружаясь на мелководье, В - поднятая вода смешивается с водой поверхностного слоя, «не тонет»).

Негативные экологические последствия могут возникнуть, когда более плотная глубинная вода погружается на малые глубины шельфа (рис. 5, Б), «вытесняет» воду поверхностного слоя и накапливается на мелководье (хорический тип распространения). При таком распространении глубинной воды могут измениться абиотические условия поверхностного слоя моря (теплозапас вод), произойти изменения в структуре пелагической экосистемы и возникнуть последствия, аналогичные возникающим при катастрофических природных нарушениях стратификации вод.

Второй крайний случай распространения глубинной воды, когда поднятая вода остается в поверхностном слое, «не тонет» (рис. 5, В), возможен при незначительном отличии поднятой воды от воды поверхностного слоя по плотности. Это может происходить при подъеме воды с относительно небольшой глубины, при подогреве глубинной воды в энергетических установках, при извлечении из нее некоторых химических веществ и др. В таких случаях поднятая искусственным образом с глубины вода, может смешиваться с водой поверхностного слоя, образовывать «новую» водную массу (миктический тип) и распространяться в поверхностном слое так же, как в районах природных апвеллингов.

Очевидно, что между этими двумя крайними случаями возможны переходные варианты. В разных случаях распространения глубинной воды в поверхностном слое, на разном расстоянии от мест ее искусственного подъема, создаются различные условия, что вызывает соответствующие различия в ответных реакциях водных организмов (Пшеничный, 2003 б).

## **ГЛАВА VI. ВОЗМОЖНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АНТРОПОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД**

Как показали исследования, основными абиотическими факторами, оказывающими воздействие на воду поверхностного слоя моря и организмы при антропогенном подъеме глубинных вод, также как в районах природных апвеллингов, являются температура и содержание соединений биогенных элементов.

**Изменение условий среды поверхностного слоя вод.** Для оценки возможных экологических последствий действия температурного (физического) фактора среды на условия поверхностного слоя моря при антропогенном подъеме глубинной воды, в случаях, когда поднятая с глубины вода смешивается с водой поверхностного слоя и образует «новую» водную массу (Рис. 5, В), нами произведены расчеты площадей поверхностного слоя моря, в которых может наблюдаться существенное изменение температурного режима. Кроме того, произведены также расчеты затрат природной энергии солнца на нагревание воды поверхностного слоя моря (Пшеничный, 2000).

Наши оценки показали, что искусственный подъем даже небольших объемов холодной воды (работа 1-3 волновых устройств искусственного апвеллинга в течение года) с относительно небольших глубин (100-200 м) может изменить теплозапас вод поверхностного слоя (в «новой» водной массе) на площади в несколько км<sup>2</sup>. Естественно,

что искусственный подъем больших объемов холодной воды с больших глубин приведет к изменению теплозапаса вод поверхностного слоя на значительно большей акватории. При достижении определенных масштабов это может, также как в районах природных апвеллингов, оказать влияние на температуру приподнятого слоя атмосферы, увеличить облачность и количество атмосферных осадков в локальных районах, то есть привести к изменению климата.

Также как в районах природных апвеллингов, к изменению условий среды при антропогенном подъеме глубинных вод приводит также действие химического и биологического факторов, так что искусственный подъем вод можно рассматривать как особый вид загрязнения водной среды - антропогенную дестратификацию, происходящую за счет вертикального перераспределения компонентов среды из вод одной водной массы в другую.

**Изучение влияния искусственного подъема глубинных вод Черного моря на жизнедеятельность гидробионтов.** Для того, чтобы представить как функционируют пелагические экосистемы при антропогенных подъемах глубинных вод и какие экологические последствия при этом могут возникнуть, нами проведены экспериментальные исследования по влиянию искусственного подъема и добавления глубинной воды на жизнедеятельность организмов основных групп гидробионтов в северо-восточной части Черного моря (Пшеничный, Безносков, 2001).

Гидрологическая структура вод района исследований представлена несколькими, отличающимися между собой, расположенными по вертикали водными массами - водной массой поверхностного, переходного, холодного промежуточного, субанаэробного и аэробного слоев. Водная масса поверхностного слоя Черного моря наиболее заметно отличается от вод глубинных водных масс по температуре и содержанию биогенных элементов. Так, в летние сезоны года водная масса поверхностного слоя оказывается более чем на 10°C теплее вод водной массы переходного слоя и почти на 20°C теплее вод субанаэробного и аэробного слоев. Содержание биогенных веществ в водах глубинных слоев многократно превышает их содержание в воде поверхностного слоя – в десятки раз по азоту и в сотни раз по фосфору (табл. 2).

Таблица 2. Температура, соленость, содержание нитратов и фосфатов в водных массах Черного моря (осредненные данные за летний период).

Водная масса (слои воды)	Глубина (м)	T, °C	S, ‰	NO <sub>3</sub> (мкг/ат/л)	PO (мкг/ат/л)
Поверхностный	1	23,0	17,0	0,3+ -0,1	0,05+-0,03
Переходный	30	11,3	17,9	1,0+ -0,3	0,06+-0,03
Холодный промежуточный	60	7,3	18,6	4,2+-0,5	0,75+-0,14
Субанаэробный	120	8,7	20,3	3,1+-0,7	2,44+-0,34
Анаэробный	Более 200	8,9	22,0	64,2+-12,8	7,4+-2,3

Анализ собственных и литературных данных показал, что характер вертикального распределения физико-химических условий в районе исследований в целом свойственен многим стратифицированным районам океанов, так что полученные в работе данные могут быть использованы для прогноза ситуаций, возникающих при подъеме вод, в большинстве районов Мирового океана.

Часть экспериментов проводилась нами в море – вблизи от работающих волновых устройств искусственного апвеллинга, часть - в мезокосмах - герметично закрытых полиэтиленовых мешках и бутылках с глубинной водой, которые устанавливались в поверхностном слое моря. Для этих экспериментов отбирались пробы воды с природным планктонным сообществом из подповерхностной водной массы (с глубины 30 м), из холодного промежуточного слоя (с 60 м) и субанаэробного (со 120 м). Условия различных типов распространения глубинной воды в поверхностном слое имитировались путем разбавления проб водой поверхностного слоя в различных соотношениях, так что в каждом опыте один мезокосм содержал 25% глубинной воды, второй – 50% (миктический тип); третий - 75% глубинной воды, четвертый – 100% (хорический тип); а пятый – целиком заполнен водой поверхностного слоя (контроль).

Результаты экспериментов показали, что реакции представителей различных функциональных групп организмов на воздействие глубинной воды существенно отличаются.

Продуценты. Реакции организмов фитопланктона, обитающих в различных глубинных водных массах Черного моря (на глубинах 30, 60 и 120 м), характеризующихся низкой температурой и высоким содержанием биогенных веществ, на их перенесение в более теплую воду поверхностного слоя неоднозначны. На большинство видов резкое изменение температурных условий (физический фактор) оказывает негативное воздействие, в результате чего они снижают свою численность или погибают. Однако, небольшая часть продуцентов, главным образом, представителей «тенелюбивого комплекса», пережив стрессовое состояние, адаптируется к «новым» условиям и, используя высокое содержание биогенных элементов в глубинной воде (химический фактор), увеличивает свою биомассу и численность. В итоге, по прошествии 6 - 7 суток в мезокосмах с глубинной водой происходит резкое увеличение биомассы фитопланктона. К концу экспериментов величины биомассы в опытах в несколько десятков раз превышают аналогичные показатели в контроле (рис. 6).

Биомасса и продукция фитопланктона значительно увеличиваются в пробах воды из холодного промежуточного и, еще больше, из субанаэробного слоев, что свидетельствует о более высоком биопродукционном потенциале глубинных вод из более глубоко расположенных горизонтов моря.

Аналогичные результаты увеличения роста получены в экспериментах при выращивании других продуцентов - бурой водоросли цистозиры, производившихся в море вблизи волновых устройств, поднимающих воду с глубин 16 и 40 м и при выращивании зеленых водорослей ульвы и энтероморфы в мезокосмах. Также как в опытах с

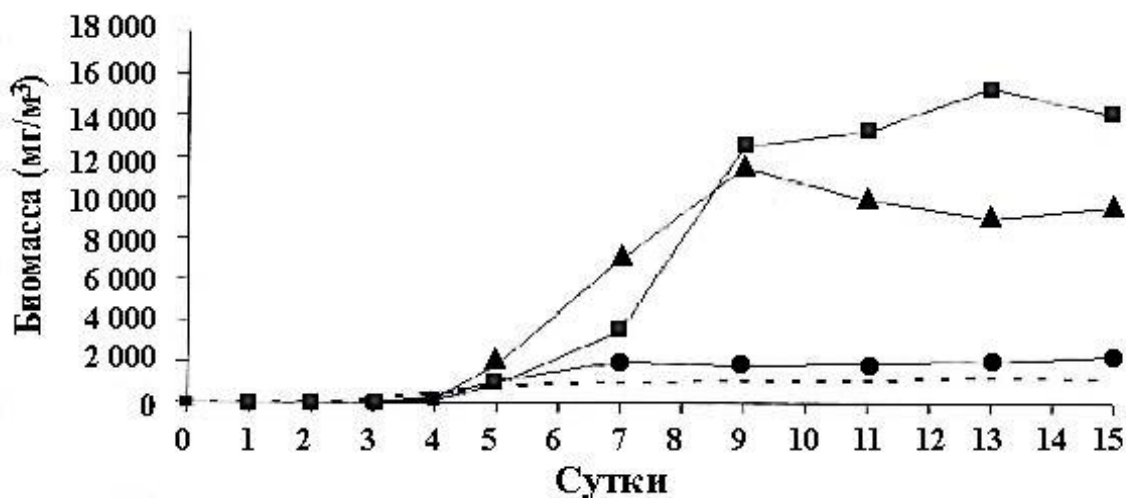


Рис. 6. Изменение биомассы фитопланктона ( $\text{мг/м}^3$ ) в мезокосмах с глубоинной водой (с 30, 60, 120 м и в контроле – 0 м), экспонированной в поверхностном слое.

(● — 30 м; ▲ — 60 м; ■ — 120 м; --- — Контроль)

фитопланктоном, показано, что более высоким биопродукционным потенциалом обладают воды из более глубоко расположенных горизонтов.

Способность многих водных организмов аккумулировать химические вещества, содержащиеся в морской воде, хорошо известна. Наши опыты сопровождались измерением химических показателей воды в мезокосмах. К концу экспериментов по выращиванию продуцентов (через 1-1,5 месяца) содержание биогенных элементов в мезокосмах резко снижалось, а в некоторых случаях биогены изымались растительными организмами полностью. Это свидетельствует о принципиальной возможности использования водорослей для деэвтрофирования и биологической очистки (мелиорации) поднимаемых к поверхности глубинных вод.

**Консументы.** Реакции организмов зоопланктона на добавление глубинной воды носят негативный характер. Гибель зоопланктеров обусловлена, главным образом, воздействием температурного фактора среды. Она начиналась при добавлении даже небольших объемов глубинной воды с небольшой глубины (с 30 м), увеличивалась при добавлении воды с большей глубины (с 60 м) и еще больше возрастала при добавлении воды из субанаэробного слоя (со 120 м), достигая у некоторых организмов 100% (табл. 3).

Реакции организмов зоопланктона на добавление глубинной воды видоспецифичны – зависят от биологических особенностей организмов, – главным образом, от температурных условий, в которых они обычно обитают. Так, у stenothermic организмов (*Centropages kroyeri* и *Penilia avirostris*), обитающих в узком диапазоне глубин водной массы поверхностного слоя, гибель отмечалась при добавлении даже небольшого количества глубинной воды с относительно небольшой глубины (с 30 м), а добавление воды с больших глубин (с 60 и 120 м) приводило к их массовой гибели. В то же время, для



эвритермных форм (*Acartia clausi*), совершающих регулярные миграции из одной водной массы в другую, изменение температурных условий среды не вызвало заметной негативной реакции. Аналогичные результаты получены в опытах по перенесению организмов зоопланктона, обитающих в глубинных водных массах Черного моря, в воду поверхностного слоя.

Таблица 3. Смертность массовых форм зоопланктона поверхностного слоя моря при добавлении в среду воды с разных глубин 30 м, 60 м, 120 м в разных соотношениях через 3-е суток эксперимента.

Глубины отбора воды (м)	Процентное содержание глубинной воды	Средний процент погибших организмов				
		<i>Acartia clausi</i>	<i>Oithona minuta</i>	<i>Paracalanus parvus</i>	<i>Centropages kroyeri</i>	<i>Penilia avirostris</i>
30	25	0	0	0	0	0
	50	0	0	0	0	0
	75	0	0	2,5	11,4	25,0
	100	0	0	11,0	14,0	71,0
	Контроль	0	0	0	1,8	0
60	25	0	0	0	0	0
	50	0	0	0	11,7	13,0
	75	0	14,5	19,2	100,0	69,0
	100	6,5	13,3	29,7	100,0	100,0
	Контроль	0	0	0	0	0
120	25	0	0	2,8	1,7	8,0
	50	7,5	11,5	9,3	10,0	25,7
	75	16,5	18,0	15,3	30,7	97,5
	100	18,5	23,2	39,7	100,0	100,0
	Контроль	0	0	0	0	0

Негативная реакция на добавление глубинной воды особенно заметна у личиночных стадий зоопланктона – науплиев и копеподитов, гибель которых была всегда большей, чем у взрослых особей. Высокая смертность личиночных стадий зоопланктона свидетельствует о том, что снижение численности при поступлении глубинных вод произойдет даже у тех эвритермных организмов, взрослые особи которых адаптированы к изменению температурных условий.

Добавление глубинной воды вызвало также негативную реакцию и у других консументов – личинок черноморской мидии, мальков хамсы и ставриды (табл. 4).

Небольшая гибель мальков рыб отмечалась уже при добавлении воды из подповерхностного слоя. При добавлении воды из холодного промежуточного и субанаэробного слоев погибали как мальки рыб, так и личинки мидий. При добавлении больших объемов воды с большей глубины гибель увеличивалась и достигала 100%.

Таблица 4. Смертность личинок мидий, мальков черноморской хамсы и ставриды в воде с разных глубин, смешанной с водой поверхностного слоя в разных соотношениях.

Глубины отбора воды (м)	Процентное содержание глубинной воды в мезокосмах	Средний процент погибших					
		Личинки мидий		Мальки хамсы		Мальки ставриды	
		Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
30	25	0	0	1	0	0	0
	50	0	0	0	0	0	0
	75	0	0	0	1	0	0
	100	0	0	6,7	0	5,0	0
60	25	0	1	0	0	1	0
	50	0	0	13,3	0	11,7	0
	75	7,0	0	20,0	0	21,7	0
	100	58,2	1	100	1	100	0
120	25	1	0	0	0	0	1
	50	0	0	10,0	0	20,0	0
	75	17,5	0	81,7	1	73,3	0
	100	63,3	0	100	0	100	0

Редуценты. Для проведения экспериментов по изучению воздействия глубинной воды на редуцентов – организмов бактериопланктона, глубинная вода, поднятая с разных глубин (с 30, 60 и 120 м), отфильтровывалась через капроновую сеть №38 и помещалась в мезокосмы (20-литровые бутылки), которые экспонировались в поверхностном слое моря. В воде поверхностного слоя (контроль) и в воде, поднятой с небольшой глубины (с 30 м), различия в биомассе и продукции не наблюдалось. Однако, в воде, поднятой с больших глубин (с 60 и 120 м), через 1-2 суток происходило существенное возрастание биомассы и продукции бактериопланктона (рис. 7).

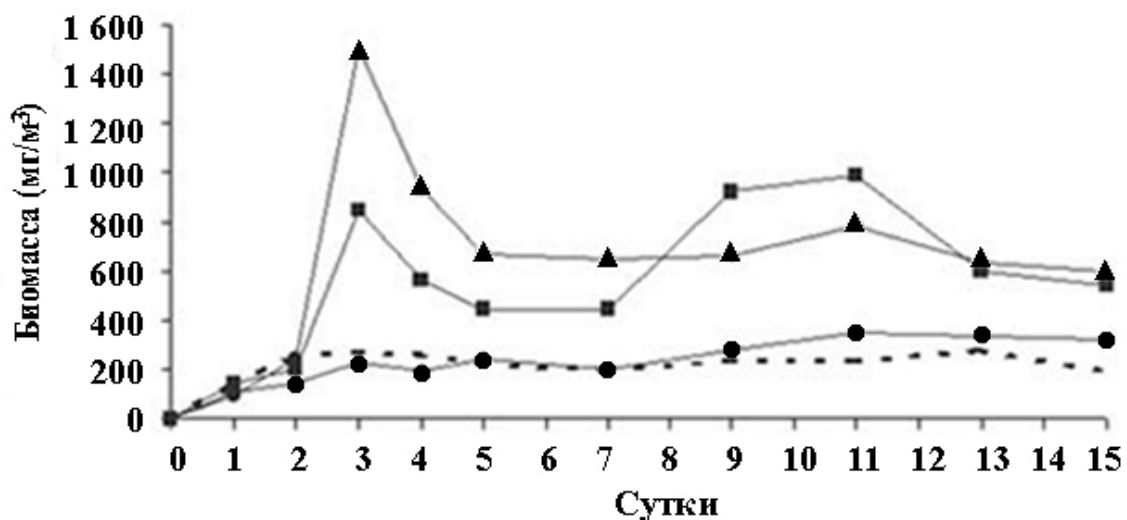


Рис. 7. Изменение биомассы бактериопланктона (мг/м<sup>3</sup>) в мезокосмах с глубиной воды (с 30,60,120 м и в контроле – 0 м), экспонированной в поверхностном слое.

(●— 30 м; ▲— 60 м; ■— 120 м; --- Контроль)

Второй пик развития бактерий наблюдался через 8-10 дней и его появление, очевидно, можно объяснить пиком развития фитопланктона, наблюдавшимся за 2-3 суток до этого при добавлении глубинных вод (рис. 6). Однако, этот пик относительно небольшой и биомасса и продукция бактериопланктона в этот период всего лишь в 2-5 раз превышают показатели бактериопланктона в водах поверхностного слоя (в контроле) и несопоставимы с многократным (в десятки раз) увеличением биомассы и продукции фитопланктона.

**Детритообразование.** В наших экспериментах количество детрита, образованного планктонным сообществом при добавлении глубинной воды, значительно (в 10-25 раз) превышало количество детрита, созданного в воде поверхностного слоя (в контроле) (табл. 5). Особенно заметно увеличение детрита при добавлении воды с больших глубин (с 60 м и, еще больше, со 120 м).

Таблица 5. Содержание детрита в мезококсах по окончании экспериментов с добавлением воды с разных глубин (30 м, 60 м, 120 м) в разных соотношениях.

Глубина отбора проб воды (м)	Процентное содержание глубинной воды	Содержание детрита, мг сырого веса/л
30	25	36,7+-16,5
	50	51,3+-31,3
	75	75,3+-62,6
60	25	91,2+-57,5
	50	509+-206,6
	75	819+-197,4
120	25	146,7+-97,8
	50	842+-249,1
	75	1046,4+-334,8
Контроль	0	43,9+-14,0

По нашим данным, из фотической зоны на глубину в виде взвеси уходило до 70% органического вещества. Погружающаяся органика состояла, главным образом, из мелкокоразмерной взвеси отмершего фитопланктона (Пшеничный, Безносов, 2001).

**Функционирование пелагических экосистем при искусственном подъеме глубинных вод и возможные экологические последствия.** В наших экспериментах имитировались случаи, когда поднятая с глубины вода не погружается на глубину, а

образует в поверхностном слое моря «новую» водную массу (рис. 5, В). Результаты экспериментов показали, что искусственный подъем или добавление глубинной воды является мощным фактором, вызывающим существенные изменения водной среды поверхностного слоя моря и его биоты. Действие при искусственном подъеме глубинных вод тех же самых факторов среды, которые действуют в районах природных подъемов, вызывает такие же изменения в поверхностном слое моря и аналогичные ответные реакции организмов основных структурных групп пелагической экосистемы, как в районах природных апвеллингов. Следовательно, характер сукцессии, определяющий функционирование пелагических экосистем и экологические последствия их

функционирования при природных и антропогенных подъемах вод, в тех случаях, когда поднятая с глубины вода «не тонет», могут иметь аналогичный характер.

Таким образом, предложенную нами схему развития основных процессов функционирования пелагических экосистем и экологических последствий под действием факторов среды при природных нарушениях вертикальной структуры вод на разном расстоянии от мест подъема глубинной воды (рис. 2) можно использовать также для описания процессов функционирования экосистем и возникновения экологических последствий при искусственном подъеме глубинных вод.

Также как в районах природных апвеллингов, ближайшим экологическим последствием искусственного подъема в поверхностный слой моря холодной глубинной воды (действие температурного фактора среды) может быть изменение температурных условий (теплосодержания вод) в «новой» водной массе поверхностного слоя моря, что может оказать непосредственное влияние на климат в данном районе.

Под действием, главным образом, температурного фактора среды часть организмов выбывает из планктонного сообщества. В то же время, под действием химического фактора среды небольшая часть организмов фитопланктона получает преимущества в развитии. Уменьшается видовое разнообразие и упрощается структура сообщества. Энергия, поступающая на нижние трофические уровни, используется неэффективно. Происходит нарушение продукционно-деструкционного баланса планктонного сообщества, что в свою очередь, может привести к очередным последствиям - к изменению функционирования пелагической экосистемы и к образованию «новой», высокопродуктивной, разбалансированной экосистемы, которая проходит те же стадии сукцессионного развития, что и в районах природных апвеллингов.

На продукционной стадии такая экосистема обеспечит образование избыточной первичной продукции, которая не будет полностью утилизироваться потребителями (численность консументов снижена). В конечном счете, избыточная продукция в виде детрита, состоящего, главным образом, из мелкоразмерной взвеси отмершего фитопланктона, будет оседать на дно, увеличивая темпы осадконакопления.

При функционировании таких высокопродуктивных экосистем, также как в районах природных апвеллингов, в донные осадки из атмосферы будет поступать большее количество углерода (в виде  $\text{CO}_2$ ), чем в районах, где подъема вод не происходит, что может привести к нарушению углеродного цикла, то есть оказать влияние на состояние биосферы (рис. 3, Б).

Таким образом, к воздействию на биосферу при искусственном подъеме глубинных вод, также как в районах природных апвеллингов, может привести не только действие абиотических (главным образом, температурного) факторов среды, но и функционирование «новых» высокопродуктивных пелагических экосистем, образующихся в местах искусственного подъема глубинных вод.

С увеличением расстояния от места искусственного подъема будет происходить «созревание» «новой» водной массы, дальнейшая сукцессия и созревание планктонного

сообщества. Наступит деструкционная стадия его развития, при которой снижается количество фитопланктона, а биомасса зоопланктона возрастает. Максимум биомассы смещается от организмов низших трофических уровней к организмам более высокого трофического уровня (рис. 4). Поступающая энергия будет использоваться более полно. Структура пелагической экосистемы усложняется. Трофические связи организмов приобретают более устойчивый характер, а продукционно-деструкционные процессы сбалансированы.

Изменение функционирования пелагических экосистем по мере их развития в местах искусственного подъема глубинных вод, в результате которого повышается уровень первичной продукции и продукции зоопланктона, может, так же как в районах природных апвеллингов, обеспечить существование на периферии таких районов потребителей этой продукции, в том числе скоплений массовых видов рыб-фитофагов. Образование скоплений рыб в местах искусственного подъема глубинных вод, также как в районах природных апвеллингов, может рассматриваться как важнейшее последствие искусственного подъема глубинных вод.

Принципиальная разница между экологическими последствиями природных и антропогенных нарушений вертикальной структуры вод состоит в том, что последствия, приводящие к изменению состояния биосферы в районах природных подъемов глубинных вод, являются природными явлениями, обеспечивающими современное состояние биосферы и их нельзя рассматривать как негативные. В то время как последствия антропогенных подъемов вод могут нарушить современный баланс биосферы, то есть быть негативным. В то же время последствия искусственного подъема глубинных вод, приводящие к образованию скоплений рыб, также как в районах природных апвеллингов, могут рассматриваться как позитивные.

Принимая во внимание, что искусственный подъем глубинных вод может привести к возникновению не только позитивных, но и негативных экологических последствий, антропогенная деятельность, связанная с подъемом глубинных вод, должна рассматриваться как экологически опасная. Степень негативного воздействия на воду поверхностного слоя, биоту и биосферу при такой деятельности будет возрастать при подъеме больших объемов воды из более глубоко расположенных горизонтов моря.

Следует отметить, что искусственный подъем глубинных вод не может быть создан на длительный (геологический) период времени. При прекращении подъема вод условия среды снова изменятся, что вновь вызовет повторные изменения в структуре и функционировании экосистемы. Таким образом, негативные последствия могут возникать не только при создании искусственного подъема вод, но и при его прекращении.

Существуют расчеты, показывающие, что к негативным экологическим последствиям для биосферы может привести антропогенный подъем в поверхностный слой океана нескольких десятков км<sup>3</sup> глубинной воды, то есть значительно меньших объемов воды, по сравнению с поднимающимися в районах постоянных природных апвеллингов (Безносков, 2000 б; Безносков, Железный, 2001).

Выше мы показали, что искусственный подъем даже относительно небольших объемов холодной воды может изменить теплозапас вод поверхностного слоя в локальных районах океана на площади в несколько км<sup>2</sup>. Распространение этой воды на мелководье приведет к еще большим негативным последствиям. Полагая, что могут быть подняты глубинные воды, значительно отличающиеся от вод поверхностного слоя по плотности и другим характеристикам, в том числе воды, загрязненные химическими веществами, мы считаем, что негативные экологические последствия для биосферы может вызвать антропогенный подъем гораздо меньших объемов глубинной воды – порядка нескольких км<sup>3</sup> (Пшеничный, 2000).

## **ГЛАВА VII. ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ЗАПАСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ГЛУБИННЫХ ВОД ОКЕАНА**

Стремясь увеличить производство биологической продукции в морях и океанах, и убедившись, что рост интенсивности промысла не приводит к ее увеличению (табл. 1), человек изыскивает для достижения этой цели другие пути.

Одно из основных отличий продуцирования органического вещества в море, по сравнению с сушей, состоит в том, что основной запас минеральных, биогенных элементов в море удален от продуцентов на расстояние от нескольких десятков до нескольких сот метров (Зенкевич, 1951). Содержание биогенных веществ в водах поверхностного слоя моря, где осуществляется синтез органики, в большинстве случаев и определяет уровень первичной продукции - существование как богатых, высокопродуктивных районов морей и океанов, так и бедных – малопродуктивных (Кобленц-Мишке, Волковинский и др., 1970; Кобленц-Мишке, Ведерников, 1977).

Обращаясь к положительному опыту, полученному при ведении сельского хозяйства, заключающемуся во внесении в почву минеральных удобрений, человек приходит к выводу о возможности повышения биологической продуктивности вод путями и способами, аналогичными применяемым на суше.

Один из таких способов заключается во внесении в водоемы минеральных веществ, интенсифицирующих рост продуцентов. Рядом исследователей было показано, что «добавка» некоторых биогенных элементов в концентрациях, превышающих их естественное содержание в водоеме, улучшает условия минерального питания фитопланктона, вызывая «отклик» экосистемы – многократное увеличение величины первичной продукции (Федоров, Максимов, 1967; Федоров, Семин и др., 1967; Кабанова, 1967; Кабанова, Доманов, 1985).

Способ повышения биологической продуктивности вод путем внесения в водоемы биогенных веществ – фертилизация, используется на практике давно и приводит к положительным результатам, однако, в настоящее время не находит широкого применения, так как оказывается экономически малоэффективным.

Между тем в природе известны районы морей и океанов, характеризующиеся очень высоким уровнем первичной продукции и продукции организмов последующих трофических звеньев. Такие районы приурочены к устьям рек, фронтальным зонам, местам схождения и расхождения течений, а также к районам природных нарушений вертикальной структуры вод, в которых происходит постоянный подъем в поверхностный слой глубинных вод с высокой концентрацией биогенных веществ – к районам природных апвеллингов (Глава 4).

Зная о возможностях повышения биологической продуктивности вод путем внесения в них биогенных веществ, особенностях распределения биогенных веществ по глубинам и продуцировании органического вещества в высокопродуктивных районах природных апвеллингов, человек может подойти к решению проблемы повышения продуктивности вод путем использования биогенных веществ, содержащихся в глубинных горизонтах. То есть создать, по аналогии с природным апвеллингом, искусственный подъем глубинных вод – искусственный апвеллинг.

О целесообразности создания искусственного апвеллинга высказывались многие авторы (Stommel et al, 1956; Groves, 1959; Сорокин, 1961; Моисеев, 1969; Кушинг, 1979; Монин, 1980; Манн-Боргезе, 1982; Пшеничный, 1982; Виноградов и др., 1986; и др.). Однако, как было показано выше, экологические последствия искусственного подъема глубинных вод неоднозначны, слабо изучены и непродуманное осуществление таких проектов может оказать серьезное негативное воздействие не только на гидросферу, но и на биосферу. В связи с этим, актуальной задачей является не только оценка его позитивных последствий, связанных с использованием биопродукционного потенциала глубинных вод – запаса биогенных веществ для производства водной пищевой биологической продукции, но и оценка негативных последствий, которые могут оказать воздействие на состояние биосферы.

Результаты наших работ показали, что негативные экологические последствия при искусственном подъеме глубинных вод могут возникать, когда в районах подъема образуются «новые», высокопродуктивные, разбалансированные пелагические экосистемы, функционирование которых приводит к созданию в поверхностном слое моря избыточной продукции органического вещества. То есть, когда биогенные вещества и образованная на них продукция накапливаются в поверхностном слое моря и не изымаются из водоема, а поступают в донные осадки. Можно сказать, что негативные последствия могут происходить, когда антропогенный подъем вод не контролируется человеком и пелагическая экосистема развивается и функционирует естественным образом, без его вмешательства.

Между тем, биогенные вещества, поступившие в поверхностный слой моря, и образованная на их основе избыточная первичная продукция могут быть утилизированы растительными и животными организмами, культивируемыми человеком в хозяйствах аквакультуры, создаваемых в местах искусственного подъема глубинных вод и изъятые из водоема в виде пищевой, или иной хозяйственно-ценной продукции.

Таким образом, при культивировании гидробионтов в местах подъема глубинных вод может быть предотвращена или снижена возможность возникновения негативных экологических последствий, связанных с нарушением углеродного цикла биосферы и получена дополнительная биологическая продукция. При такой, управляемой человеком деятельности, может быть также использовано позитивное последствие искусственного апвеллинга, обеспечивающее образование скоплений пелагических рыб, позволяющее организовать их промысел (Пшеничный, 2002).

**Оценка потенциальной продуктивности вод поверхностного слоя океана при искусственном подъеме глубинных вод.** Нами произведены экспериментальные оценки величин первичной продукции, которая может синтезироваться фитопланктоном в поверхностном слое Черного моря и в некоторых других малопродуктивных районах океанов, при искусственном подъеме в этот слой глубинных вод с высоким содержанием биогенных элементов.

Оценки показали, что в каждом м<sup>3</sup> воды, поднятой в поверхностный слой с глубины 200 м в различных районах океанов, может синтезироваться в течение месяца в среднем 0,2 г С или 3,2 г биомассы фитопланктона (в сыром весе) (табл. 6) (Пшеничный, Безносков, 2001), что, в принципе, совпадает с оценками других авторов (Ведерников и др., 1980; Сапожников и др., 1984; Аржанова и др., 2002). Не вызывает сомнения, что биологическая продуктивность вод различных районов океана может быть значительно увеличена.

Таблица 6. Содержание лимитирующего биогенного элемента (Si) в некоторых районах океанов на глубине 200 м, расчетные величины потенциальной продукции (PP) и возможные величины биомассы фитопланктона (Б).

Показатели	Индийский	Атлантический	Тихий
Si, мкг-ат./л	20,0	10,0	30,0
PP, гС/м <sup>3</sup>	0,2	0,1	0,3
Б, г/м <sup>3</sup>	3,2	1,6	4,8

**Использование запаса биогенных элементов глубинных вод для культивирования гидробионтов и промысла рыбы.** Практические возможности использования запаса биогенных элементов для культивирования гидробионтов показаны в ряде экспериментальных работ по изучению влияния искусственного подъема глубинных вод. На научной станции Сент-Круа (Виргинские острова) воду с глубины 870 м насосом по шлангу закачивали в бассейны, установленные на берегу, для выращивания диатомовых водорослей. Продукция водорослей увеличивалась в десятки раз (в 30 раз), а масса культивируемых на этой воде двустворчатых моллюсков увеличилась за полгода в несколько раз (Hanson, 1974).



В работах по программе ОТЕК в районе Гавай поднимали воду с глубины порядка 700 м для получения электроэнергии и параллельно выращивали на этой воде гидробионтов в бассейнах. Прекрасные результаты получены при выращивании красной водоросли *Porphyra* и бурой *Gracilaria*. На культивируемых в богатой биогенами глубинной воде микроводорослях (главным образом, диатомовых) успешно выращивались двустворчатые моллюски, ракообразные, молодь форели, кижуча, чавычи. Показана экономическая эффективность такой деятельности (Fast, Tanoue, 1988).

Большие перспективы использования запаса биогенных веществ глубинных вод существуют для культивирования микро-и макроводорослей в водах открытого океана (Barcelona, Cummingad et al., 1982; Wilcox, 1982; Алексеев, 1984; Безносков, Побединский, 1988). В прибрежных водах Японии действует система искусственного апвеллинга, приводящая к росту численности фито-и зоопланктона, обеспечивающая увеличение уловов рыбы (Студенецкий, 2005).

Дополнительная биомасса фитопланктона, образованная в местах искусственного подъема в поверхностный слой океана глубинных вод, может быть усвоена ее потребителями, в том числе мелкими пелагическими рыбами - фитофагами. В поверхностном слое моря могут образоваться «зоны-оазисы» с высокой концентрацией фитофагов. Создание таких «оазисов» может привлечь туда хищных рыб - более ценных объектов промысла (Уда, 1966; Pshenichniy, Vershinsky, 1985 а, б; Пшеничный, Шевченко, 1989). В этом случае, образованная, благодаря подъему вод, биомасса фитофагов, может рассматриваться в качестве концентрирующего эффекта, привлекающего ценных рыб. Первый опыт создания таких оазисов в океане в качестве концентраторов скоплений рыб, был осуществлен нами на промысле тунцов в Индийском океане и показал хорошие результаты (Пшеничный, 1989; Леонтьев, 2002).

Таким образом, результаты наших работ и приведенные выше сведения показывают, что при искусственном подъеме глубинных вод человек может не только предотвратить негативные экологические последствия подъема глубинных вод, приводящие к изменению состояния биосферы, используя биогенные вещества и избыточную органику для культивирования гидробионтов, но и использовать позитивные последствия, приводящие к образованию скоплений массовых рыб, организуя их промысел. В результате такой деятельности будут предотвращены негативные последствия и произведена необходимая человеку дополнительная биологическая продукция.

## **ГЛАВА VIII. ПУТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИСКУССТВЕННОГО ПОДЪЕМА ГЛУБИННЫХ ВОД ОКЕАНА И РАЦИОНАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ИХ РЕСУРСОВ**

Интенсивное освоение природных ресурсов глубинных вод океана будет приводить к увеличению масштабов нарушений вертикальной структуры вод и, как следствие этого, к

росту негативных экологических последствий, так что необходимость изучения данной проблемы не вызывает сомнения.

Нами предложен алгоритм проведения таких работ, включающий изучение абиотических и биотических условий водной массы как поверхностного, так и глубинного слоев вод, и дифференцированный подход к оценке воздействия факторов среды при подъеме глубинных вод на водную массу поверхностного слоя, жизнедеятельность водных организмов, структуру и функционирование водной экосистемы. Такие работы должны также включать оценку действия искусственного подъема глубинных вод на окружающую среду (ОВОС). Полученные таким образом материалы могут послужить в качестве научного обоснования как при проведении работ, связанных с подъемом глубинных вод, так и при разработке документации, входящей в состав ОВОС проектов, предусматривающих использование ресурсов глубинных вод Мирового океана.

Учитывая огромные запасы природных ресурсов глубинных вод океана, можно полагать, что наибольшую опасность при их интенсивном освоении представит не исчерпание ресурсов, по крайней мере, в ближайшем будущем, а негативные экологические последствия. В связи с этим, с целью обеспечения экологической безопасности работ по освоению ресурсов глубинных вод, связанных с их подъемом в поверхностный слой моря, представляется важным не только контролировать деятельность по подъему глубинных вод, но и разработать пути и мероприятия по их рациональному использованию, не допускающие возникновения негативных экологических последствий.

Одним из важных условий рационального освоения ресурсов глубинных вод океана должно быть использование для их подъема альтернативных, возобновляемых источников энергии океана, не загрязняющих окружающую среду.

**Комплексное освоение природных ресурсов глубинных вод.** При освоении природных ресурсов глубинных вод океана, осуществляемом путем подъема этих вод в поверхностный слой, целесообразно одновременно осваивать как можно больший комплекс химических, тепловых и энергетических ресурсов (Pshenichny, 1999). Одним из важных условий комплексного освоения ресурсов глубинных вод океана должно быть использование биопродукционного потенциала глубинных вод – ценного химического ресурса - запаса биогенных элементов для культивирования гидробионтов. Культивирование гидробионтов с изъятием из водоема полученной продукции должно быть одним из элементов мелиорации глубинных вод при их искусственном подъеме в фотическую зону поверхностного слоя, предотвращающим возникновение негативных экологических последствий. Объекты культивирования и масштабы хозяйств аквакультуры должны определяться не только экономической целесообразностью культивирования, но и необходимостью более полного изъятия из водоема основных агентов дестратификационного загрязнения - биогенных элементов и избыточной первичной продукции (Пшеничный, 2000; 2002).

Полагая, что наряду с созданием целенаправленного подъема глубинных вод для получения биологической продукции в океане интенсифицируются работы по освоению ряда других ресурсов глубинных вод (химических, тепловых и энергетических), вызывающие или сопровождающиеся их подъемом в поверхностный слой, мы считаем перспективным как целенаправленное создание искусственного подъема глубинных вод в некоторых районах океана, так и использование для этой цели глубинной воды, поднимаемой в поверхностный слой в качестве побочного продукта при других видах антропогенной деятельности. Организация промысла рыбы и хозяйств по культивированию гидробионтов в местах искусственного подъема глубинных вод позволит человеку получить дополнительную биологическую продукцию, необходимую для удовлетворения его возрастающих пищевых потребностей и предотвратить возникновение негативных экологических последствий.

**Управление распространением глубинной воды в поверхностном слое моря.** Результаты наших исследований показали, что характер экологических последствий искусственного подъема глубинных вод существенно зависит от распространения поднятой воды в поверхностном слое моря. Считая основной задачей настоящей работы разработку путей рационального освоения ресурсов глубинных вод, нами разработана принципиальная система мероприятий, технологических схем и рекомендаций по управлению распространением глубинной воды при ее подъеме в поверхностный слой моря, направленных как на предотвращение распространения (накапливания) глубинной воды в поверхностном слое моря, так и на удержание поднятой с глубины воды в этом слое.

Проведение предлагаемых мероприятий позволит, в определенной мере, регулировать физико-химические параметры в «новой» водной массе, образующейся в местах искусственного подъема глубинных вод, тем самым, предотвратить действие физического фактора среды, приводящего к негативным последствиям, и усилить действие химического фактора, приводящего к позитивным последствиям. Мы полагаем, что проведение таких мероприятий будет способствовать рациональному, комплексному использованию ресурсов глубинных вод и предотвращать возникновение негативных экологических последствий (Пшеничный, 2004).

Методологической основой для разработки мероприятий послужили, полученные нами результаты исследований по воздействию факторов среды при искусственном подъеме глубинных вод, характера распространения глубинной воды в поверхностном слое, характера функционирования пелагической экосистемы и возможностей культивирования гидробионтов и промысла рыбы в местах искусственного подъема вод.

Осваивая ресурсы глубинных вод и применяя для их подъема различные механизмы и устройства, человек имеет возможность управлять работой этих механизмов, управлять процессом вылива поднимаемой воды, и использовать некоторые существующие и разработанные нами технические приемы и устройства, чтобы таким образом обеспечить то или иное распространение глубинной воды в поверхностном слое моря.

Так в случаях, когда поднятая с глубины вода не остается в поверхностном слое моря, а погружается на глубину и накапливается на мелководье (рис. 5, Б), приводя к негативным экологическим последствиям, целесообразно проведение мероприятий, не допускающих ее распространения на малых глубинах. Для предотвращения негативных экологических последствий рекомендуется производить вылив поднятой с глубины воды из поверхностного слоя по трубопроводу, опущенному в нижние горизонты моря (рис. 8, А).

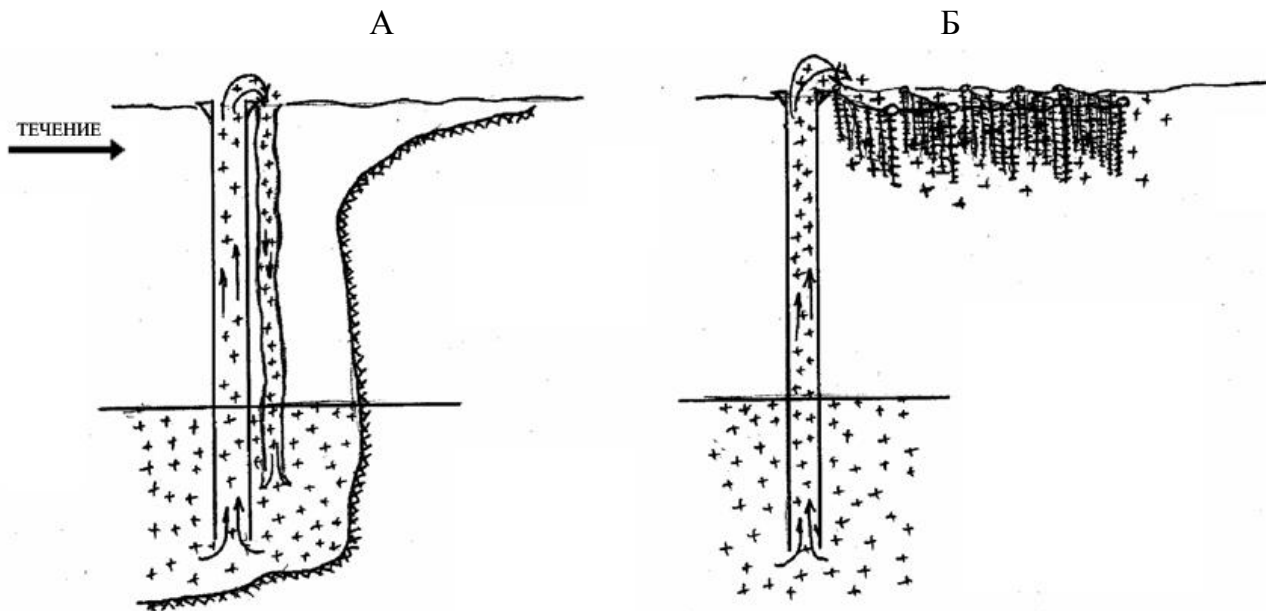


Рис. 8. Схема мероприятий, препятствующих возникновению негативных последствий (А – вылив по трубопроводу, Б – культивирование гидробионтов).

В случаях, когда поднятая с глубины вода распространяется в поверхностном слое моря, смешиваясь с водой этого слоя (рис. 5, В), в поверхностном слое может образоваться «новая» водная масса и «новая», высокопродуктивная, разбалансированная пелагическая экосистема, функционирование которой может привести к негативным экологическим последствиям (увеличению осадкообразования и изъятия углерода из атмосферы) (Глава 6). Как было показано выше, предотвратить негативные последствия в этих случаях возможно путем создания в местах подъема глубинных вод хозяйств по культивированию хозяйственно ценных гидробионтов, или объектов санитарной аквакультуры, предназначенных для деэвтрофирования и биологической очистки поднятых с глубины вод, с изъятием полученной продукции из водоема (рис. 8, Б).

Случаи, когда поднятая в поверхностный слой моря глубинная вода (или какой-то ее объем) погружается на глубину, не приводя к появлению негативных последствий, можно было бы рассматривать как позитивные явления, не приводящие к негативным экологическим последствиям. Однако, глубинная вода, «уходя» из поверхностного слоя, «уносит с собой» ценный химический ресурс глубинных вод – запас биогенных веществ,

поступивших в этот слой при подъеме вод. Такой подход, в ряде случаев, нам кажется нерациональным, так как не позволяет человеку использовать биопродукционный потенциал глубинных вод. В этих случаях представляется целесообразным удержать поднятую с глубины воду (или какой-то ее объем) в поверхностном слое моря, чтобы использовать химический ресурс глубинных вод в качестве «добавки биогенов» для культивирования гидробионтов и промысла рыбы.

Ряд рекомендаций по проведению мероприятий, направленных на удержание глубинной воды в поверхностном слое моря, сделан нами исходя из того, что более высокая плотность глубинной воды объясняется ее более низкой температурой и более высоким содержанием солей, по сравнению с водой поверхностного слоя. Нагревание холодной, глубинной воды, поднятой в теплую воду поверхностного слоя моря, приведет к повышению ее температуры и, тем самым, к снижению ее плотности, то есть будет способствовать удержанию глубинной воды в воде поверхностного слоя (Пшеничный, 2004).

Для нагревания холодной, глубинной воды рекомендуется производить вылив этой воды на плавучие площадки (пленки), установленные в фотической зоне поверхностного слоя моря на поплавках (рис. 9, А). Такие площадки могут быть расположены ниже по течению от механизмов и устройств, поднимающих глубинную воду. Холодная вода

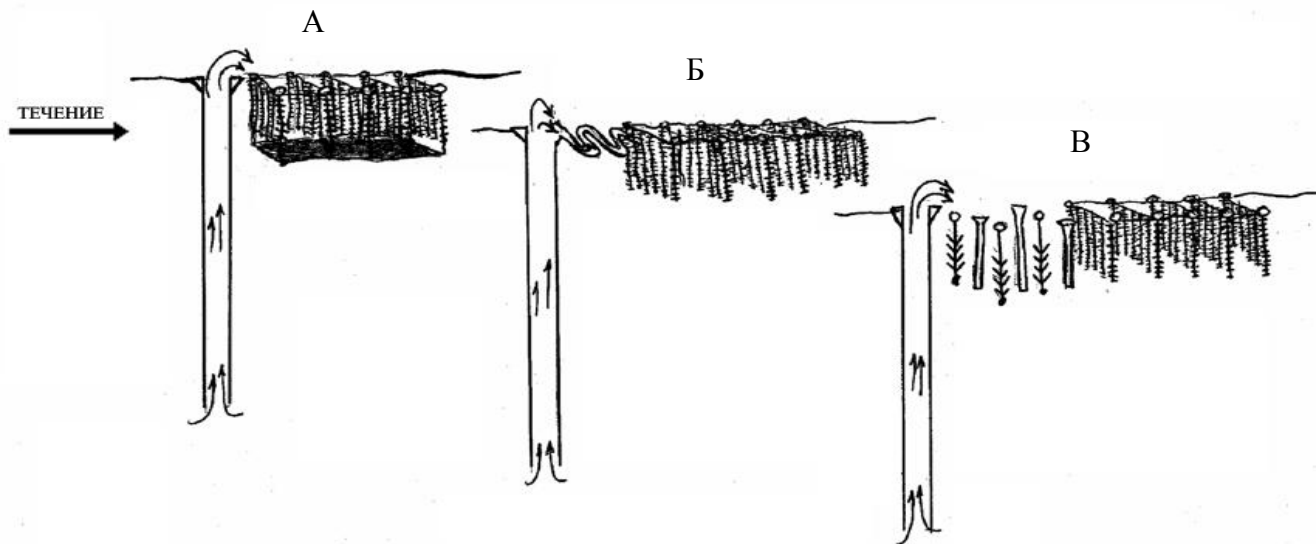


Рис. 9. Схема мероприятий, способствующих удержанию глубинной воды в воде поверхностного слоя (А - вылив на площадки, Б – использование технологического тепла, В – перемешивание).

на таких площадках будет смешиваться с теплой водой поверхностного слоя, прогреваться и становиться менее плотной.

Для прогрева холодной глубинной воды также можно рекомендовать использование тепла, выделяющегося в ходе некоторых экзотермических реакций, происходящих, например, в технологических процессах при извлечении из морской воды ряда химических веществ (рис. 9, Б). В этом случае холодная вода, поднятая с глубины, перед ее выливом в море, может быть пропущена для нагревания, через теплообменник

установки для извлечения химических веществ. Для нагревания глубинной воды может быть также использовано тепло судовых энергетических установок.

К нагреванию холодной глубинной воды также приведет ее интенсивное перемешивание с теплой водой поверхностного слоя (рис. 9, В). Для перемешивания вод могут быть применены насосы и разработанные нами волновые устройства для подъема вод, упомянутые выше (рис. 1).

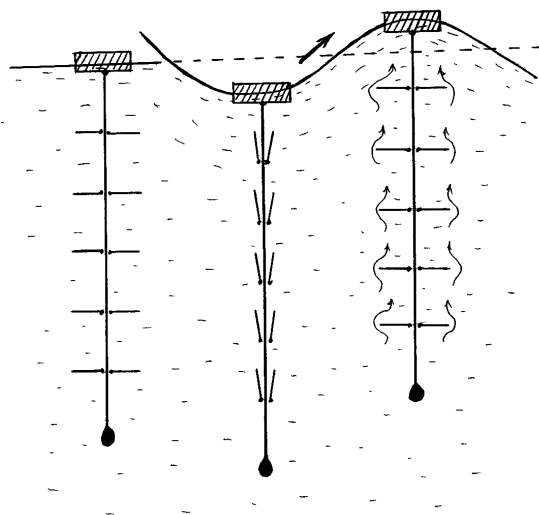


Рис. 10. Схема работы волнового турбулизатора

Для перемешивания вод могут быть также применены, разработанные нами, устройства, создающие вертикальные токи воды – турбулизаторы, также использующие для своей работы возобновляемую энергию ветровых волн (Авт. свидет., Пшеничный, №№ 1447972, 1988; 1689506, 1991). Схема работы волнового турбулизатора представлена на рисунке (рис. 10).

Удержанию холодной глубинной воды в поверхностном слое моря будет также способствовать ее вылив не сплошным потоком, а отдельными порциями в виде струй и брызг.

**Функционирование пелагической экосистемы при проведении предлагаемых мероприятий.** При проведении мероприятий, направленных на удержание глубинной воды в поверхностном слое моря, обеспечивающих ее нагревание при искусственном подъеме, действие температурного фактора среды прекращается или снижается. Резкого изменения условий поверхностного слоя моря не произойдет (теплозапас его вод не изменится) и на организмы пелагической экосистемы не будет оказываться такого негативного воздействия, которое оказывается при природных и антропогенных подъемах глубинных вод, когда действуют оба фактора среды (рис. 2). Гибель организмов при таких условиях не будет столь велика. В то же время действие химического фактора среды при подъеме глубинной воды создаст благоприятные условия для развития и роста продуцентов, которые будут синтезировать в поверхностном слое большее количество первичной продукции, чем в районах, где подъема вод не происходит.

При такой ситуации повысится обеспеченность пищей организмов всех остальных структурных групп экосистемы. Структура и характер функционирования такой экосистемы не нарушатся. Последствия ее функционирования не вызовут заметного увеличения количества детрита и осадков в донных отложениях. Разбалансирования экосистемы не произойдет. Продукция, образованная на поступивших с глубинной водой биогенных веществах, не будет избыточной, как это происходит при природных и антропогенных подъемах глубинных вод, так как она будет утилизироваться в

поверхностном слое консументами, условия существования которых практически не изменились.

Гипотетическая схема взаимодействия основных структурных элементов пелагической экосистемы и поток углерода из атмосферы в донные осадки в экосистеме, использующей действие только химического фактора, представлена на рисунке (рис. 11, В). На этом же рисунке для сравнения приведены аналогичные показатели функционирования экосистем в районах, где подъема вод не происходит (рис. 3, А), и где происходят природные и неконтролируемые антропогенные подъемы вод (рис. 3, Б).

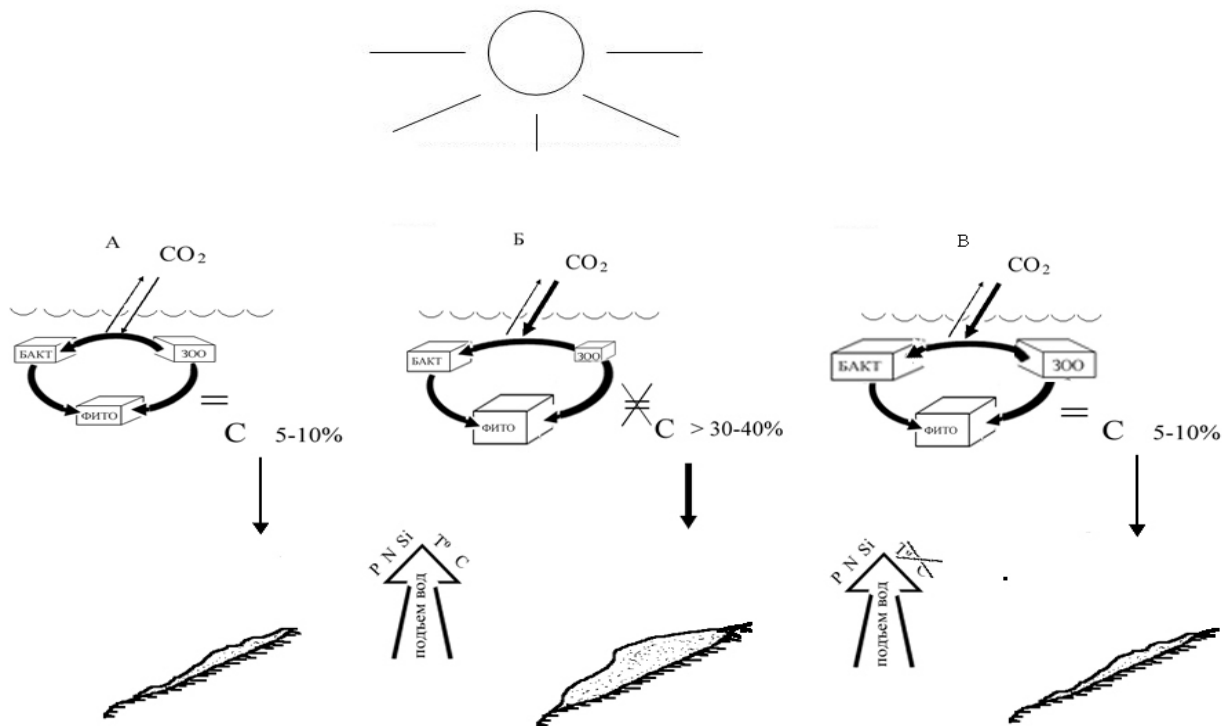


Рис. 11. Схема взаимодействия основных структурных элементов пелагических экосистем и потока углерода из атмосферы в донные осадки (А - в сбалансированных экосистемах, Б - в разбалансированных при природных и антропогенных подъемах вод, В - в сбалансированных при антропогенном подъеме под действием химического фактора среды).

Организмами такой высокопродуктивной экосистемы из воды будет изыматься большее количество растворенного углерода, поступающего из атмосферы, чем изымается в районах, где подъема вод не происходит. Однако таким же образом увеличится и количество углерода, поставляемого высокопродуктивной экосистемой в атмосферу, так что равновесие углерода в биосфере не нарушится и негативные экологические последствия не возникнут.

Действие химического фактора среды (при прекращении действия физического), оказывающее, прежде всего, влияние на продуцентов, скажется положительным образом также на росте организмов всех других структурно-функциональных групп экосистемы, в том числе, на интересующих человека в качестве объектов промысла. Их биомассы

повысятся до максимальных значений. В результате, в местах искусственного подъема вод могут быть образованы экосистемы, обеспечивающие не только высокий уровень первичной продукции, но и высокий уровень продукции организмов последующих звеньев пищевой цепи. Такие экосистемы при искусственном подъеме вод сразу же будут функционировать на другом, более высоком продукционном уровне (рис. 12), чем при природных и антропогенных нарушениях вертикальной структуры вод, когда действуют оба фактора среды (рис. 4).

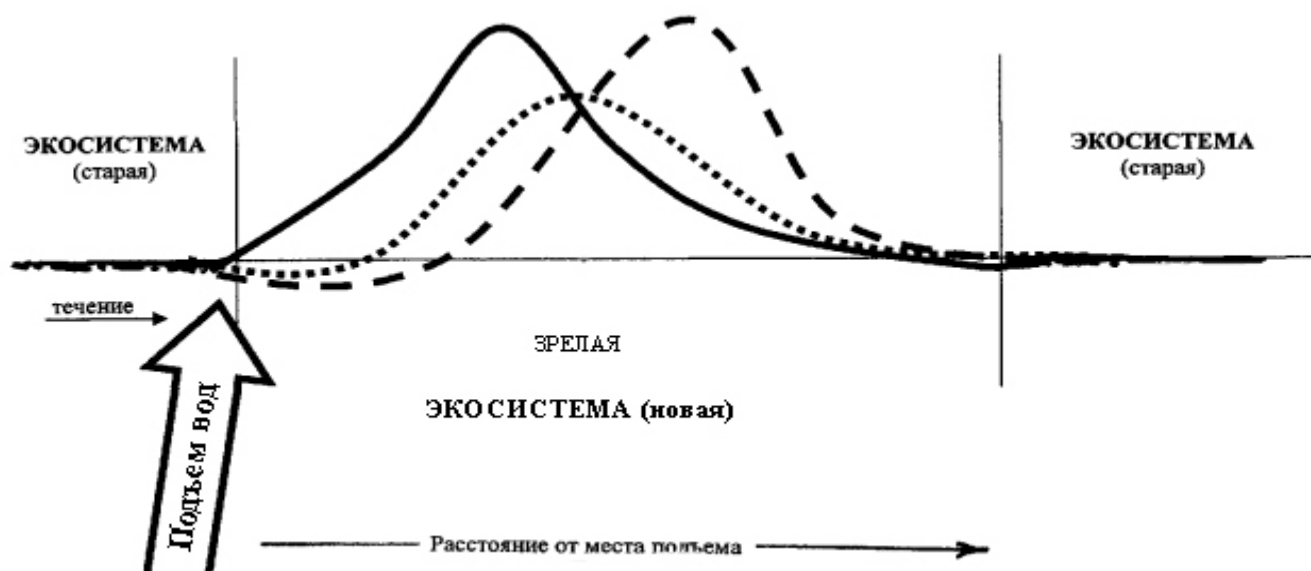


Рис. 12. Схема развития пелагической экосистемы и изменения биомасс при ее функционировании на разном расстоянии от зоны подъема при искусственном подъеме, когда физический фактор не действует ( — фитопланктон, — — зоопланктон, ..... бактериопланктон).

Функционирование высокопродуктивных сбалансированных экосистем при искусственном подъеме глубинных вод, использующих действие химического фактора среды, когда физический фактор не действует, приводящее к образованию скоплений рыб и других объектов промысла, может быть важным последствием управляемого человеком, подъема глубинных вод и иметь большое практическое значение для организации промысла в местах искусственного подъема вод.

Функционирование пелагической экосистемы, использующей действие химического фактора среды при прекращении действия физического, можно сравнить с функционированием экосистем в водоемах при внесении в них минеральных удобрений, когда действует только химический фактор — «добавка биогенов», приводящий к позитивным последствиям для гидробионтов, а физический фактор, вызывающий негативные последствия, не действует.

Таким образом, проведение предложенных мероприятий по управлению распространением глубинной воды при ее подъеме в поверхностный слой океана обеспечит создание высокопродуктивных, сбалансированных пелагических экосистем,



функционирование которых не только не приводит к возникновению негативных экологических последствий, но и способствует рациональному использованию природных ресурсов глубинных вод для производства биологической пищевой продукции.

**Улучшение качества вод загрязненных водоемов.** Анализируя экологические проблемы, возникающие при антропогенных подъемах глубинных вод в морях и океанах, мы считали одной из основных задач разработку путей рационального, комплексного использования их ресурсов, не приводящих к негативным экологическим последствиям. Вместе с тем существует немало экологических проблем, для практического решения которых также можно было бы использовать некоторые из разработанных нами методических подходов, мероприятий и устройств.

К настоящему времени значительные масштабы антропогенная деятельность приобрела в относительно мелководных водоемах – в прибрежных участках морей, озерах и водохранилищах. Усилившаяся антропогенная нагрузка привела к увеличению стока в такие водоемы биогенных веществ и аллохтонной органики, а гидростроительство, добыча минеральных и органических ресурсов, рыбный промысел, судоходство и рекреационная нагрузка, значительно увеличили загрязнение вод – привели к неблагоприятной, а в ряде случаев, к критической экологической ситуации. Наибольший ущерб при этом наносится водным биологическим ресурсам, что отрицательно сказывается на эффективности рыбного промысла и экономических показателях хозяйств аквакультуры (Душкина, 1998).

Большинство таких водоемов стратифицировано. Последствия антропогенной деятельности, приведшие к загрязнению водоемов, нарушили (замедлили) скорость и интенсивность хода природных процессов, обеспечивающих водообмен и аэрацию между поверхностным и глубинным слоями вод, в результате чего глубинные воды и донные осадки относительно мелководных водоемов оказались обедненными кислородом и более загрязненными.

Мы считаем, что одной из основных задач при освоении биологических ресурсов мелководных загрязненных водоемов, является разработка мероприятий по искусственной дестратификации вод, направленных на улучшение качества вод и комплексное использование природных ресурсов, содержащихся в их глубинных слоях.

Для искусственной дестратификации вод могут быть применены, разработанные нами, волновые устройства для подъема вод с глубины - устройства искусственного апвеллинга (рис. 1) и устройства для создания вертикальных токов воды – турбулизаторы (рис. 10), о которых мы упоминали выше.

Для этих целей нами также разработаны устройства, обеспечивающие закачивание на глубину воды поверхностного слоя – устройства искусственного даунвеллинга (Авт. свидет., Пшеничный. № 1479693, 1989) (рис. 13) и устройства, закачивающие на глубину атмосферный воздух - волновые аэраторы (Авт. свидет., Пшеничный, № 1540754, 1989) (рис. 14), также использующие энергию волн.

Конструкции волновых устройств, предлагаемых для дестратификации вод, интенсифицирующих вертикальную циркуляцию и аэрацию вод, просты. Они не потребляют электроэнергию, работают автономно без технического обслуживания, недорогостоящи и экологически чисты. Их применение может быть более эффективным и экономически выгодным, по сравнению с ранее предлагаемыми системами и устройствами (Рябов, 1972; Рябов, Сиренко, 1982; Акимов, Гусенко и др., 1990).

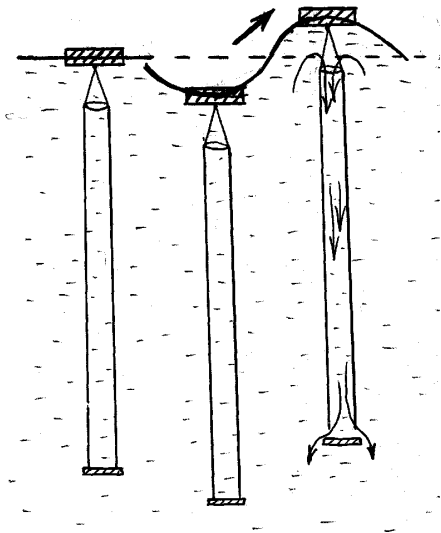


Рис. 13. Схема работы устройства для закачивания вод поверхностного слоя на глубину (искусственный даунвеллинг)

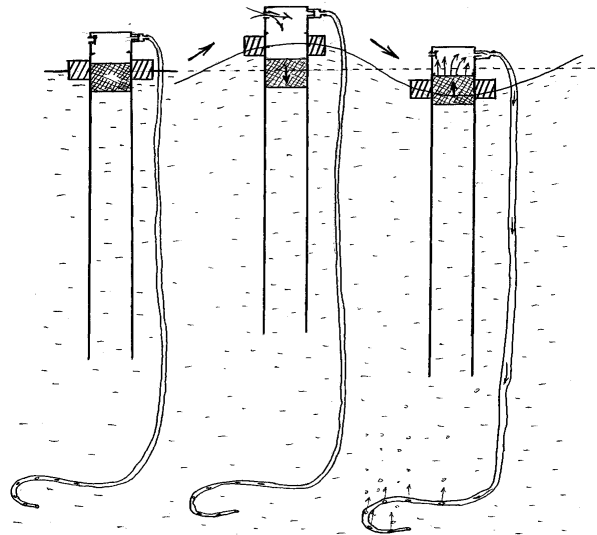


Рис. 14. Схема работы устройства для закачивания на глубину атмосферного воздуха (волновой аэратор)

Поднимая в поверхностный слой водоемов загрязненную воду из придонного горизонта, и/или закачивая в придонный горизонт более чистую воду поверхностного слоя и атмосферный воздух, волновые устройства нарушат стратификацию вод, препятствующую обмену вод поверхностного и глубинного слоев и интенсифицируют окисление загрязнений, содержащихся в донных осадках, тем самым усилят скорость природных процессов самоочищения вод, приводящих к улучшению их качества.

Как показали наши исследования, проводившиеся в Тендровском заливе, в лагуне п. Б. Утриш, в бухте г. Чехова, в пляжной зоне г. Анапы, в озерах Свердловской области и в водоемах-испарителях г. Волгограда, применение, разработанных нами, волновых устройств весьма эффективно и приводит к улучшению качества водной среды за короткий период времени (Пшеничный, 1987; Пшеничный, Фащук, 1987).

Так, 28 сентября 1985 г. в районе размещения мидийных плантаций в Тендровском заливе Черного моря с глубинами 14 м была выполнена гидрологическая съемка с измерением показателей воды через 1 м глубины. Слой термоклина в этот период располагался на глубине 7 м. Поверхностный слой занимала относительно теплая вода с температурой выше  $14^{\circ}\text{C}$  и содержанием кислорода свыше  $7,5 \text{ мг/л}$ . (рис. 15). Под слоем термоклина (с глубины порядка 7 м) располагалась более холодная вода глубинного слоя.

Ее температура резко снижалась (до 9,0 - 8,5 °С ), достигая у дна 7,5°С и количество кислорода уменьшалось (до 1,5 - 1,0 мг/л.).

28 сентября в этом районе на якорях были выставлены два волновых устройства искусственного апвеллинга, поднимающих воду с глубины 11-12 м (с трубопроводами диаметром 315 мм). Повторная съемка, выполненная в этом районе по прошествии двух суток (30.09.85 г.) в 30 м ниже по течению от работающих устройств, показала, что относительно теплая вода поверхностного слоя распространилась на несколько большую глубину (до 9-9,5 м). Граница термоклина, отделяющая воду поверхностного слоя от воды глубинного слоя, сместилась на несколько метров глубже. Контрольная съемка, выполненная в этот же день выше по течению от работающих устройств, таких изменений в залегании слоя термоклина не показала. Можно предположить, что работа двух волновых устройств в течении 2-х суток привела к заглублению слоя термоклина на несколько метров (примерно на 2 – 2,5 м), то есть изменила (улучшила) условия водной среды на локальном участке залива.

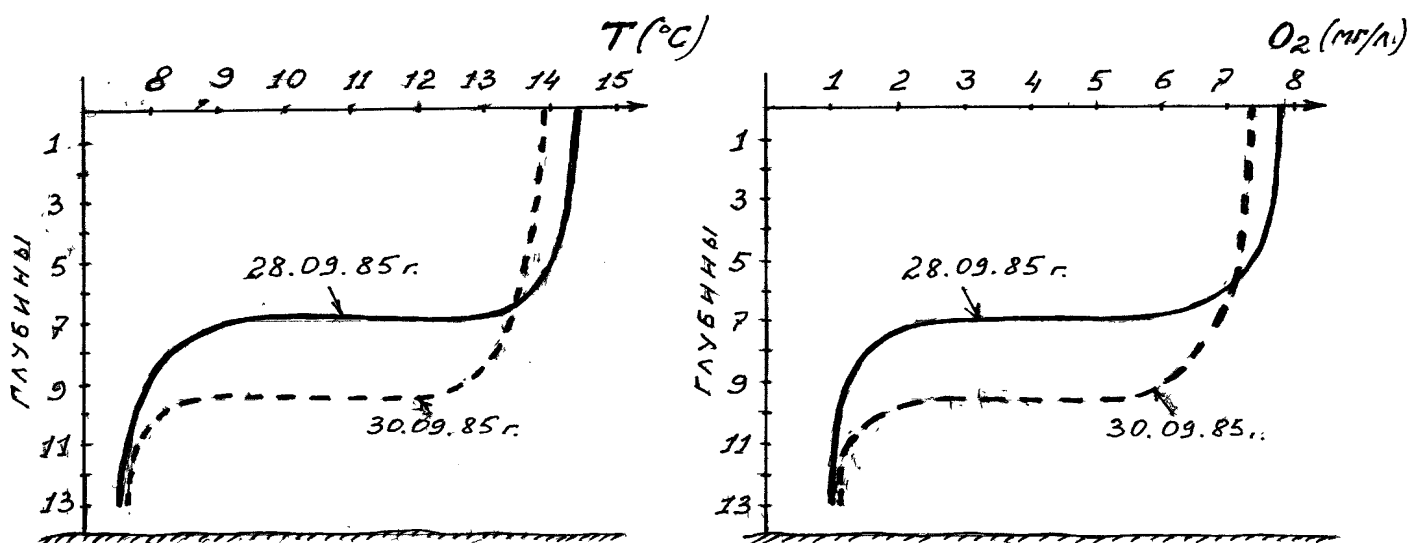


Рис. 15. Изменение температуры и содержания кислорода по глубинам в Тендровском заливе в 30 м ниже по течению от места установки волновых устройств, проработавших в течение 2-х суток.

В сентябре 1988 г. на загрязненной акватории яхт-клуба г. Анапы с глубинами, не превышающими 4 м, было установлено четыре маломощных волновых устройства (2 устройства искусственного апвеллинга и 2 даунвеллинга с трубопроводами диаметром 160 мм). Через сутки их работы содержание кислорода в придонном горизонте увеличилось с 0,5 - 1,2 мг/л до 7,5 - 8,0 мг/л.

Проведение мероприятий по искусственной дестратификации вод загрязненных мелководных водоемов позволит не только улучшить качество водной среды, но также комплексно использовать природные ресурсы, содержащиеся в глубинных водах таких водоемов, – улучшить как кормовой, так температурный и кислородный режимы водоемов, что благоприятным образом скажется на росте водных организмов и будет

способствовать увеличению производства в них биологической продукции (Пшеничный, 1986, 1994; Пшеничный, Фащук, 1987; Безносков, Пшеничный и др., 1999).

Также как в морях и океанах, в некоторых относительно мелководных водоемах для повышения биологической продуктивности вод поверхностного слоя целесообразно использовать запас биогенных веществ глубинных вод (Поддубный, 1995). Подъем холодных вод с глубины, приводящий к снижению температуры воды поверхностного слоя, применяется в водоемах для предотвращения «цветения воды» (Toetz, 1979; Bailey-Watts et al., 1987; Breemen, Ketelaars, 1995; Visser et al., 1995). Вылив холодной воды на плантации культивируемых объектов или в рыбные садки будет способствовать понижению температуры воды в локальных местах культивирования гидробионтов, что может иметь большое значение для выращивания многих холодоводнолюбивых организмов в теплый сезон года (Пшеничный, 1996).

Как показали наши исследования на Черном море, проведение мероприятий по искусственной дестратификации вод создает или усиливает не только вертикальные, но и горизонтальные течения. Усилившиеся течения обеспечат прохождение через плантации культивируемых гидробионтов больших объемов воды, с содержащимися в ней кормовыми организмами, что приведет к повышению обеспеченности пищей ряда прикрепленных организмов, например, моллюсков - фильтраторов (мидий, устриц) и увеличит их продукцию (Пшеничный, 1997).

Искусственная дестратификация вод может быть также рекомендована для ликвидации вторичного загрязнения, возникающего под плантациями гидробионтов в результате накопления там органики (остатков корма, фекалий и др.), а также для удаления из водоема (или его части) взвешенных в воде частиц песка и ила, увеличивающих мутность вод. Проведение таких мероприятий может быть рекомендовано для «расчистки» участков водоемов, имеющих важное значение для жизненного цикла гидробионтов – нерестилищ, зимовальных ям и т.д. (Пшеничный, 1996).

## **ВЫВОДЫ**

1. Одним из перспективных путей удовлетворения растущих потребностей человека в природных ресурсах является освоение многочисленных ресурсов глубинных вод океана, осуществляемое путем подъема этих вод в поверхностный слой.

2. Антропогенная деятельность, приводящая к подъему глубинных вод, нарушает природную вертикальную структуру водоемов и является мощным фактором воздействия на среду поверхностного слоя моря, структуру и функционирование пелагической экосистемы и биосферу.

3. Негативные экологические последствия искусственного подъема глубинных вод обусловлены как действием температурного фактора среды, вызывающего изменение теплосодержания вод поверхностного слоя океана, так и функционированием пелагических экосистем, приводящим к нарушению современного баланса

биогеохимических процессов биосферы. Степень негативных последствий зависит от физико-химических характеристик поднимаемой с глубины воды и ее объемов.

4. Культивирование гидробионтов с использованием биопродукционного потенциала глубинных вод в местах их подъема в поверхностный слой является одним из перспективных путей комплексного освоения природных ресурсов океана, предотвращающих возникновение негативных экологических последствий.

5. Промысел рыбы и культивирование гидробионтов в местах искусственного подъема глубинных вод являются перспективными направлениями антропогенной деятельности в океане для производства биологической продукции. Для этой цели целесообразно как создание искусственного подъема глубинных вод, так и использование глубинных вод, поднимаемых в поверхностный слой при других видах антропогенной деятельности.

6. Разработана система мероприятий, технологических схем и рекомендаций по управлению распространением глубинной воды при ее подъеме в поверхностный слой океана, направленных на предотвращение действия факторов среды, приводящих к негативным последствиям и на усиление действия факторов, приводящих к позитивным последствиям.

7. Проведение мероприятий по управлению распространением глубинной воды предотвратит возникновение негативных экологических последствий и обеспечит создание высокопродуктивных, сбалансированных пелагических экосистем для производства биологической пищевой продукции.

8. Разработаны мероприятия и устройства по искусственной дестратификации вод загрязненных водоемов, интенсифицирующие водообмен и аэрацию вод, позволяющие улучшить их экологическое состояние и эффективно использовать природные ресурсы, содержащиеся в глубинных слоях.

#### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. Авторское свидетельство 1248579. Устройство для подъема глубинной воды в поверхностный слой водоема. Вершинский Н.В., Пшеничный Б.П., Сидоренко А.А., 08.04.1976.

2. Авторское свидетельство 1314989. Устройство для подъема глубинной воды в поверхностные слои водоема. Вершинский Н.В., Пшеничный Б.П., Соловьев А.В., 08.02.1987.

3. Авторское свидетельство 1384656. Устройство для подъема глубинных вод на поверхность водоема. Пшеничный Б.П., Сапожников А.И., 01.12.1987.

4. Авторское свидетельство 1447972. Устройство для создания вертикальных токов воды в водоеме. Пшеничный Б.П., Сапожников А.И., 01.09.1988.

5. Авторское свидетельство 1479693. Устройство для подачи поверхностной воды в глубинные слои водоема. Пшеничный Б.П., Фашук Д.Я., Волшаник В.В., Зуйков А.Л., Мордасов А.П., Орехов Г.В., Монахов Б.Е., 15.01.1989.
6. Авторское свидетельство 1511455. Волновой насос. Пшеничный Б.П., Волшаник В.В., Мордасов А.П., Зуйков Г.В., Орехов Г.В., Монахов Б.Е., 01.06.1989.
7. Авторское свидетельство 1540754. Устройство для аэрирования воды. Садовский А.А., Пшеничный Б.П., Башкиров В.И., Ельцов В.М., 08.10.1989.
8. Авторское свидетельство 1563646. Устройство для подъема глубинной воды в поверхностный слой водоема. Вершинский Н.В., Леонтьев С.Ю., Пшеничный Б.П., Соловьев А.В., 15.01.1990.
9. Авторское свидетельство 1689506. Устройство для создания вертикальных токов воды в водоеме. Байдаков С.Г., Пшеничный Б.П., 08.06.1991.
10. Авторское свидетельство 2057230 (Патент РФ). Волновой водоподъемник. Пшеничный Б.П., Пономарев А.И., Крецов А.С., Горохов Л.А., 27.03.1996.
11. Авторское свидетельство 2074837 (Патент Р.Ф.). Устройство для комбинированной аэрации глубинных вод. Ахмедов Р.Б., Клименко В.В., Пшеничный Б.П., 10.03.1997.
12. Авторское свидетельство (патент Р.Ф.) 6809. Устройство для сбора нефтяного загрязнения с поверхности водоемов. Пшеничный Б.П., 16.06.1997.
13. Авторское свидетельство (патент Р.Ф.) 6716. Устройство для игр и отдыха на воде – водные качели. Пшеничный Б.П., 16.06.1998.
14. Авторское свидетельство 14909. Устройство для движения судна на волне – волновой движитель. Пшеничный Б.П., 10.09.2000.
15. Авторское свидетельство 14946. Устройство для получения пресной воды из атмосферного воздуха. Пшеничный Б.П., 10.10.2000.
16. Пшеничный Б.П. Перспективы повышения биологической продуктивности вод путем создания искусственного апвеллинга // Тезисы докл. научно-технич. совещания «Использ. физич. раздражителей в целях развития морского рыбного промысла». (Клайпеда, Апрель, 1982) .М.: ЦНИИТЭИРХ, 1982. С. 10-11.
17. Вершинский Н.В., Сидоренко А.А., Пшеничный Б.П. Искусственный апвеллинг // Тезисы докл. II Всесоюзн. съезд океанологов (Ялта, декабрь 1982). М., 1982. вып. 5, часть 1. С. 115-117.
18. Пшеничный Б.П. Некоторые пути увеличения биологической продуктивности морских вод // Тезисы докл. 1-й Всесоюзн. симпоз. «Теоретические основы аквакультуры» // М.: ЦНИИТЭИРХ, 1983. С. 172-173.
19. Пшеничный Б.П., Беренбойм Д.Я., Вершинский Н.В., Рыжов В.М., Сидоренко А.С. Проблема искусственного апвеллинга // Рыбное хозяйство, 1983. № 5. С. 20-21.

20. Дружинин А.Д., Пшеничный Б.П. Хек - *merluccius gayi peruanus* Ginsburg района Перуанского апвеллинга // Биопродуктивность экосистем апвеллингов. ИОАН СССР. М., 1983. С. 142-155.
21. Пшеничный Б.П. Океан – наше будущее // Юный натуралист, М., 1983. № 11. С. 11-13.
22. Пшеничный Б.П. Некоторые результаты экспериментальных работ по проблеме искусственного апвеллинга // Тезисы докл. Всесоюз. конф. «Природная среда и проблемы изучения, освоения и охраны биол. ресурсов морей СССР и Мирового океана». Л.: 1984. С. 142-143.
23. Беренбойм Д.Я., Брянцев В.А., Пшеничный Б.П. Искусственный апвеллинг для океанской марикультуры // Тезисы докл. на VIII съезде Географического общества СССР «Географические аспекты изучения Мирового океана». Л.: 1985. С. 59-61.
24. Pshenichnyj B.P., Vershinskij N.V. Possibilities of increasing marine biological productivity by artificial upwelling // Aquaculture, Amsterdam, 1985. N 46. P. 77-80.
25. Pshenichnyj B.P., Vershinskij N.V. // Some way of increasing water biological productivity. Int. Symp. Upw. W Afr., Inst. Inv. Pesq., Barcelona, 1985. V.1. P. 373-375.
26. Пшеничный Б.П. Искусственный апвеллинг и возможности повышения биологической продуктивности морских вод // Сб. Антропогенное воздействие на прибрежно-морские экосистемы. М.: ВНИРО, 1986. С. 71-79.
27. Пшеничный Б.П. Искусственный апвеллинг и даунвеллинг - элементы экологической мелиорации вод // Тезисы докл. Всес. конфер. Искусственные рифы для рыбного хозяйства. М.: ВНИРО, 1987. С. 125.
28. Пшеничный Б.П., Беренбойм Д.Я. Перспективы использования глубинных вод // Тезисы докл. на III съезде советских океанологов. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 46-47.
29. Пшеничный Б.П., Тегетаев Б.Д. Возможности использования биологических носителей для мелиорации вод // Тезисы докл. Всес. конфер. Искусственные рифы для рыбного хозяйства. М.: ВНИРО, 1987. С. 126.
30. Пшеничный Б.П., Фащук Д.Я. Возможность защиты прибрежных участков Черного моря от гипоксии // Рыбное хозяйство, 1987. № 2. С. 15-18.
31. Вершинский Н.В., Пшеничный Б.П., Соловьев А.В. Искусственный апвеллинг с использованием энергии поверхностных волн // Океанология, 1987. том XXII, вып. 3. С. 535-538.
32. Пшеничный Б.П. (составитель). Биологический автономный носитель с устройством искусственного апвеллинга - БАНИСКАП // ВДНХ СССР. Изд. ВНИРО, 1988. Рекламный проспект. С. 1-5.
33. Пшеничный Б.П., Тегетаев Б.Д., Халилов Ф.Ш. // Биологический автономный носитель с устройством искусственного апвеллинга для культивирования мидий // Тезисы докл. III Всес. конфер. по морской биологии. (Севастополь, октябрь, 1988). Киев, 1988. часть 2. С. 259-260.

34. Волшаник В.В., Мордасов А.П., Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Пшеничный Б.П. (составители). Волновая установка для подъема глубинных вод // ВДНХ СССР. Изд. МИСИ, 1988. Рекламный проспект. С. 1-4.
35. Пшеничный Б.П. Повышение биологической продуктивности морских вод // «Человек и стихия». Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 140-142.
36. Пшеничный Б.П. И снова на тему волн // Энергия (Экономика, техника, экология). М., 1989. № 6. С. 54-57.
37. Пшеничный Б.П., Шевченко В.В. Перспективы повышения биологической продуктивности вод путем создания искусственного апвеллинга // М.: Вопросы ихтиологии, 1989. том 29. № 2. С. 333-335.
38. Халилов Ф.Ш., Тегетаев Б.Д., Пшеничный Б.П. Культивирование мидий в Черном море для использования в птицеводстве // Тезисы докл. междунар. симпоз. по современным проблемам марикультуры в соц. странах (Б. Утриш, сент.-окт. 1989 г.). М.: ВНИРО, 1989. С. 145-147.
39. Пшеничный Б.П. Волновые устройства и ресурсы глубинных вод // М.: Метроном, 1992. Апрель. С. 18.
40. Пшеничный Б.П., Даинзон Э.Б. Ветер и волны вызывают дождь // Энергия (Экономика, техника, экология). М., 1992. № 11. С. 16-18.
41. Пшеничный Б.П. Волновые устройства для мелиорации природных водоемов // Материалы Междунар. конгресса «Вода: экология и технология» (Москва, 6-9 сент. 1994 г.). М., 1994, том 1. С. 274-275.
42. Пшеничный Б.П., Волна помогает привлечь рыбу // Рыбоводство и рыболовство. М., 1996. № 3-4. С. 66.
43. Пшеничный Б.П. Волновые устройства и перспективы их применения в аквакультуре // Тезисы докл. Междунар. симпозиума «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре». Краснодар, 1996. С. 125-126.
44. Пшеничный Б.П. Волновые устройства и возможности их применения в рыбном хозяйстве // Тезисы докл. 1-й Конгресс ихтиологов России. М. ВНИРО, 1997. С. 297.
45. Веселов А.И., Лукерченко Н.Н., Пшеничный Б.П., Рыбаков Ю.П., Шикин Г.Н., Янушкевич В.А. Динамика устройства для подъема глубинных вод, использующего энергию поверхностных волн // Океанология, 1998. № 3. С. 462-465.
46. Pshenichny V.P. Deep-sea waters' resources and opportunities of their processing by devices using wave energy // PACON 99, Humanity and the World Ocean. Symposium June 23-25, 1999. The Russian Academy of Sciences. Moscow, 1999. P. 292.
47. Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В., Пшеничный Б.П. Оценка влияния глубинных водозаборов электростанций на биологическую продукцию морских экосистем // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 1998/1999. № 3. С. 33-39.
48. Безносков В.Н., Пшеничный Б.П., Побединский Н.А. Использование устройств искусственного апвеллинга для мелиорации водной среды // Природообустройство и экол.



проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства, 1999. С. 65-66.

49. Суздалева А.А., Безносков В.Н., Пшеничный Б.П. Проблема пейзажности индустриальных ландшафтов и использование устройств искусственного апвеллинга для мелиорации техногенных водоемов // Природообустройство и экол. проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства, 1999. С. 59.

50. Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Пшеничный Б.П. Применение глубинных водозаборов для компенсации промышленных выбросов углекислого газа в атмосферу // Природообустройство и экол. проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства, 1999. С. 62-63.

51. Безносков В.Н., Никитенков Б.Ф., Железный Б.В., Суздалева А.Л., Пшеничный Б.П. Искусственный рециклинг биогенов путем утилизации глубинных вод в морских и континентальных водоемах // Природообустройство и экол. проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства, 1999. С. 63-64.

52. Пшеничный Б.П. Оценка возможности охлаждения поверхностного слоя моря и влияния этого эффекта на климат // М.: Инженерная экология, 2000. №3. С. 54-60.

53. Пшеничный Б.П. Возможности комплексного освоения ресурсов глубинных вод океана // Водные экосистемы и организмы – 3. Материалы научной конференц. 20-21 июня 2000 г. Москва. М.: МАКСПресс, 2001. С. 94.

54. Пшеничный Б.П., Безносков В.Н. Биоэкология: оценка величины биомассы и продукции фитопланктона при искусственном апвеллинге (влияние на окружающую среду и возможности использования) // М.: Инженерная экология, 2001. №5. С. 51-60.

55. Пшеничный Б.П. Возможные последствия искусственного подъема глубинных вод и возможности предотвращения этих последствий при комплексном освоении ресурсов океана // Физические проблемы экологии (экологическая физика). Сборник научн. трудов. Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. М.: МАКС Пресс, 2003. № 11. С. 169-177.

56. Пшеничный Б.П. Искусственный апвеллинг и экологические проблемы, связанные с ним // XII междунар. конфер. по промысловой океанологии (Светлогорск, 9-14 сентября 2002 г). Калининград. АтлантНИРО, 2002. С. 202-204.

57. Пшеничный Б.П. Антропогенные нарушения вертикальной структуры вод, их влияние на пелагическую экосистему и возможные последствия // Тезисы докл. междунар. семинара «Роль климата и промысла в изменении структуры зообентоса шельфа». Мурманск.: ММБИ РАН, 2003. С. 77-81.

58. Пшеничный Б.П. - Пути рационального освоения природных ресурсов глубинных вод океана // Изучение зообентоса шельфа. Информационное обеспечение экосистемных исследований. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 88-105.