

## ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНОГО РЫНКА ВОДЫ

О.А. Бояркина

Доклады участников Проекта ФУР на круглом столе «Рациональное управление водными ресурсами в условиях перехода к устойчивому развитию»,  
Г. Москва, МГУ, 25- 27 мая 2011г.

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН  
Россия

В данной работе проводится обзор международного рынка воды, на примере многих стран обосновывается необходимость его формирования (особенно, в условиях климатического изменения), обсуждаются основные способы решения водного дефицита страны путем различных способов ее доставки. Делается вывод о том, что международное право, которое сегодня не поощряет чистую продажу воды, неизбежно ставится перед необходимостью введения правового регулирования водных сделок, что, в конечном итоге, является упрочением национальной безопасности каждого государства в отдельности и мира в целом.

**Торговля водой** – элемент адаптационных стратегий, предназначенный для борьбы с водным дефицитом и продовольственной нехваткой, которые являются следствием глобального изменения окружающей среды. Торговля водой может быть инструментом решения геополитических проблем и предотвращения политических конфликтов по поводу водных ресурсов [[http://www.unep.org/dewa/assessments/EcoSystems/water/Vulnerability/facing\\_the\\_facts\\_ch4.pdf](http://www.unep.org/dewa/assessments/EcoSystems/water/Vulnerability/facing_the_facts_ch4.pdf) (14 февраля 2011 г.)].

Сегодня в мире наблюдается тенденция к существенному повышению значимости водного фактора в международных отношениях и мировой политике. Водные отношения существенно влияют на общий климат межгосударственных отношений и формирование внешнеполитической стратегии государств. Значение водного фактора будет продолжать возрастать в связи с тем, что рост населения и увеличение потребностей сельского хозяйства и промышленности создадут во многих районах мира реальный дефицит водных ресурсов. В XX веке население Земли увеличилось в три раза, в то же время потребление воды возросло в семь раз. По данным Всемирной организации здравоохранения, более двух млрд. человек в мире сегодня страдают от нехватки питьевой воды. В 1960 г. потребление воды населением стран Ближнего Востока и Северной Африки составляло 3300 л/год на человека. Сегодня этот показатель понизился до 1250 л, приближаясь к опасной черте — минимальная санитарная норма исчисляется 1000 л/год на человека. Ряд стран, например Сирия и Ливан, вплотную подошли к этой границе. Проблема не ограничивается рамками ближневосточного региона. Сложности с обеспечением населения, сельского хозяйства и промышленности водными ресурсами испытывают Китай, Индия, Пакистан и даже США. Теперь вода используется и как мощный инструмент реализации национальных интересов. Подобным образом уже поступают Китай, некоторые другие страны.

Наиболее ярким примером того, как в полной мере прагматично и рационально используются гидроресурсы и природно-географическое положение, является Турция [6, с. 218]. Страна имеет опыт продажи значительных объемов питьевой воды, однако

интерес представляет не только коммерческая сторона проблемы: власти Турции активно прибегают к «водным» рычагам политического воздействия на соседей. Максимальные выгоды извлекаются из того обстоятельства, что на территории страны находятся верховья рр. Тигра и Евфрата, где к 2011-му году планируется воздвигнуть 22 плотины, 19 гидроэлектростанций и водохранилищ [6, с. 211]. Характерно, что в последние годы усиливается политическое влияние и крупных международных компаний, занимающихся по всему миру эксплуатацией водопроводной инфраструктуры, таких как *Suez Lyonnais des Eaux* или *Vivendi*. Эти фирмы уже сейчас имеют обороты в десятки миллиардов долларов и активно вторгаются в смежные отрасли экономики — к примеру, в энергетику и телекоммуникационный бизнес. Несмотря на то, что международный рынок воды в мире пока еще не сформировался, усилия по его созданию становятся все более активными. В 2000 г. госдепартамент США официально призвал создать «глобальный водный альянс, способный обеспечить человечество водой в новом столетии».

Согласно данным Всемирного банка, в XXI веке в различные проекты по использованию гидроресурсов необходимо будет вложить 600 млрд. долларов [5, с. 114]. При кажущемся изобилии гидроресурсы крайне ограничены, т.к. 97 % мировой гидросферы — это соленая морская вода, а две трети запасов пресной воды — льды Гренландии и Антарктики. Реально в распоряжении человечества находится всего один процент водных ресурсов. Один из вариантов добычи пресной воды — *использование айсбергов*. Только в Антарктике ежегодно образуется такое количество айсбергов, что воды, заключенной в них, хватит населению всей Земли на целый год. К тому же, по мнению ученых, вода, заключенная в айсбергах, необычайно чиста. Идею использования айсбергов в качестве источника питьевой воды и воды для орошения земель выдвинул в 50-е годы XX века сотрудник Скрипсовского океанографического института Дж. Айзек. В 70-е гг. американские фирмы по заказу Саудовской Аравии начали разрабатывать технологию буксировки полярных айсбергов в засушливые районы. В эксперимент были вложены миллионы долларов, но в 1978 г. разработки были приостановлены конгрессом США как неперспективные. Выяснилось, что затраты на транспортировку гигантских глыб льда будут в десятки раз превосходить доходы от полученной из них воды, а сам процесс буксировки займет многие месяцы. Оказалось также, что при транспортировке айсберга к побережью Южной Америки, Южной Африки или Австралии теплые соленые воды океана оставят от первоначального айсберга лишь половину.

Планы по транспортировке айсбергов в засушливые районы и использованию их в качестве источников пресной воды возникли еще в 1960-х гг. Напоить ледниковой водой планировали ОАЭ, Саудовскую Аравию, Индию, Кувейт, Йемен и Эфиопию. Вскоре выяснилось, что везти айсберг на Ближний Восток слишком долго и хлопотно, в порты он не поместится, да и значительная часть воды потеряется по дороге, — такая вода стоила слишком дорого даже для нефтяных шейхов. Однако северные страны от экспорта льда отказываться не намерены. Гренландия собирается снабжать «100-процентной ледниковой водой» крупные города по всему миру. Правда, доставлять товар клиентам планируют в бутылочках. Бизнесмен из Канады, некий Рон Стэмп, намерен продавать воду из растаявших гренландских айсбергов. Сейчас он занимается тем, что с помощью гигантских «щипцов-челюстей» откалывает куски айсбергов и укладывает в резервуары, прикрепленные за кормой его рыболовецкой шхуны. Потом куски льда будут растоплены и разлиты по бутылкам. Бизнесмен намерен продавать воду по 10 долларов за бутылку. Доктор наук Иван Калько убежден, что использование айсбергов позволит человечеству решить проблему нехватки питьевой воды по меньшей мере на ближайшие двести лет. По его мнению, айсберги не нужно никуда отбуксировывать. Специальный судовой комплекс прибывает в район скопления

айсбергов, который определяют с помощью спутников. Далее к делу приступают особые устройства: они превращают айсберг в ледяную крошку и отправляют ее в четыре грузовые секции судна. Эти секции могут спокойно отстыковываться и автономно следовать в любой пункт назначения. Проект «Чистый лед» отнюдь не утопичен. Изобретение Ивана Калько побывало на шести международных выставках, прошло немало научно-технических экспертиз и запатентовано в России.

Существуют и другие пути преодоления водного дефицита. Многие страны, богатые водными ресурсами, пытались наладить переброску воды по огромным водоводам. Так, Турция предлагала построить трубу для экспорта воды в страны Персидского залива и Израиль, а Ливия построила огромную систему водоводов «Великая искусственная река» для снабжения водой районов на побережье Средиземного моря. Этот проект начали реализовывать в 1983 г. Он предусматривал переброску подземных вод из оазисов Тазербо и Сарир в Сахаре. Планировалось пробурить 270 скважин, построить систему из водохранилищ и трубопроводов, диаметром 4 м и протяженностью в несколько тыс. км. Гравия, который использовался при строительстве, хватило бы на сооружение 16 пирамид Хеопса. Ливия потратила на две первые очереди проекта почти 10 млрд. долларов, всего стройка должна обойтись в 27 млрд. долларов. Правда, расходы постоянно растут, а отдача от проекта оказывается ниже расчетной. Так, вода не пошла по трубам самотеком, и строителям пришлось срочно возводить 17 насосных станций, при этом объемы воды в системе оказались значительно ниже плановых. Разрабатывается проект строительства водовода из России на север Китая, где ощущается острая нехватка воды. О строительстве водовода задумываются в Монголии, где особенно остро стоит вопрос с водой в южных регионах страны. В свое время Армения предлагала проект, который предусматривал продажу воды Катару посредством прокладки трубопровода от р. Аракс по территории Ирана до участка р Карун, откуда началась бы водная трасса Иран - Катар. Однако этот проект не получил своего развития. Т. о., многие страны мира, испытывающие дефицит воды, подошли вплотную к реализации проектов, связанных с *переброской водных ресурсов*. Государства Центральной Азии уделяют все большее внимание водным проблемам. В планах Казахстана создание Евразийского центра воды, а Киргизия готовит открытие Академии воды. Ed Slade, директор по инвестициям в компании CLSA, считает, что огромные возможности водного рынка могли бы быть получены не путем торговли водой, а посредством крупных инвестиций в строительство водоводов, резервуаров и заводов по переработке (treatment plants).

Япония также обсуждала экспорт воды в Австралию, страдающую от жестокой засухи (водой планировалось заполнять австралийские суда, которые привозили уголь для японских сталелитейных заводов, а обратно шли порожняком). Однако вскоре выяснилось, что массовый экспорт воды танкерами слишком дорог: из-за высоких цен на нефть и нефтепродукты судоходным компаниям выгоднее перевозить черное золото. В итоге многие крупные контракты на поставку воды по морю были отвергнуты. Есть и другой путь. Метеорологическая служба Саудовской Аравии реализует национальный проект, цель которого - научиться создавать облака. Пытаются обуздать осадки и в соседних Объединенных Арабских Эмиратах. Суть экспериментов - в воздухе рассеивают специальные реагенты, которые должны ускорить конденсацию влаги. Сегодня арабские государства тратят десятки миллиардов долларов на опреснение морской воды, так что, по мнению их представителей, игра с климатом стоит свеч. Правда, пока что страдающие от жажды шейхи далеки от цели: если вызвать осадки иногда все же удается, то обеспечить их выпадение в нужном месте - пока нет.

Итак, мы пытались рассмотреть основные способы решения водного дефицита и пришли к выводу, что на сегодняшний день водоводы и танкеры являются наиболее приемлемым способом транспортировки воды на межгосударственном уровне.

Если существует дефицит воды, будет обязательно складываться и уже складывается рынок воды. На любом рынке есть твердые цены. Эту цену обретет также и вода, и складываться она будет из того, какой из способов доставки окажется более рентабельным и малозатратным. Некоторые страны уже сейчас получают существенную часть доходов от водного экспорта. Так, для Австрии это 500 млн. долларов в год. Другие страны в ближайшее время планируют вступить в «водный ОПЕК». Т. о., налицо предпосылки складывающегося мирового рынка воды. Но пока на сегодняшний день рынок воды в чистом виде отсутствует. Почему Международное водное право не поощряет чистую продажу воды (т.е. продажу исключительно только воды). Более распространена *продажа услуг водоснабжения (selling services of water supply)*. Иными словами, продажа воды происходит в рамках совместного пользования трансграничными водными ресурсами. К примеру, Columbia river, водами которой пользуются США и Канада, - пример услуг водоснабжения в рамках совместного управления водными ресурсами: США используют воды из водохранилищ, которые построены в Канаде. Тем не менее, кое-какими фактами межгосударственной продажи небутилированной воды мы уже располагаем. Например, в августе 2002 г. был заключен контракт между Турцией и Израилем на 20 лет. По трубопроводу вода будет поступать из Турции в Израиль по цене за 50 млн. м<sup>3</sup>/год - 35 млн. долларов. С помощью специальной установки вода будет отводиться из р. Манавгат на западе Турции. На Средиземноморском побережье воду планируют заливать в танкеры и морем доставлять в израильский порт Ашкелон. Оттуда по трубопроводу она пойдет в водохранилища Израйля. Воду в Израиль планируется доставлять посредством нескольких танкеров дедевейтом в 400 тыс. т, каждый из которых должен 65 раз в год перевозить воду из Турции [6, с. 212]. В 2009 г. турецкий премьер Эрдоган заявил, что в течение ближайших трех лет из Турции на турецкий Кипр будет проведен трубопровод, доставляющий пресную воду. Общая протяженность водопровода должна составить около 110 км, из коих под дном Средиземного моря на минимальной глубине в 250 м будет проложено около 80 км труб. По данному водопроводу на турецкую часть Кипра будет доставляться около 73 млн. куб. м воды из уже упомянутой выше р. Манавгат. Этот водопровод турецкая сторона активно использует во взаимоотношениях с Республикой Кипр, утверждая, что он может стать *водопроводом мира* и способствовать реинтеграции греческой и турецкой частей острова. Республика Кипр, естественно, на данном этапе, негативно относится к этому предложению, но надо признать, что водный фактор может быть весьма действенным фактором для *оказания давления* на Республику Кипр (греческий Кипр).

В 2008 г. из-за сильнейшей засухи (с 2004 г.) Республика Кипр оказалась в катастрофической ситуации и была вынуждена танкерами импортировать воду из Греции, заплатив за это 39 млн. евро в течение 10 месяцев (1 т воды = 5,5 евро). Тогда в резервуарах этой страны осталось лишь коло 17-19 млн. м<sup>3</sup> воды, что меньше объема одного из самых маленьких водохранилищ в Армении - Кечутского (Вайоцзорский регион Республики Армения) и в 31,5 раза меньше объема самого крупного водохранилища - Сарсангского (Мартакертский район Республики Арцах). По прогнозам экологов, со временем ситуация с водными ресурсами на Кипре будет ухудшаться. Понятно, что после введения в эксплуатацию данного трубопровода турецкая сторона еще активнее станет использовать его во взаимоотношениях с Кипром и Грецией. Киприоты выучили урок 2008 г.: к 2011 г. все потребности в питьевой воде на острове могут быть покрыты поставками с заводов по опреснению воды. Два завода уже работают (один с 1997 г., второй - с 2001 г.) и еще несколько активно строятся. Сейчас станция в Куклии под Пафосом готова к эксплуатации. Ее производственная мощность достигает 30 000 м<sup>3</sup> воды в день и закрывает потребность в воде округа Пафоса. Еще один опреснительный завод будет располагаться в Эпископи

около Лимассола и начнет работать к концу 2011 г., и еще одна станция, в Вассиликосе (Ларнака), должна быть запущена в феврале 2012 г. Правительство также рассматривает планы по строительству заводов по повторному очищению уже использованной воды и использованию ее для ирригации и поливки полей для гольфа.

13.12.2003 между Ираном и Кувейтом было заключено соглашение на 30 лет: 2 млрд. долларов за 900 000 м<sup>3</sup> (или 0.75 млн м<sup>3</sup>/день). Вода поставляется из р. Карун в Кувейт по 540 км трубопроводу: 330 км - по суше от плотины Кархех на юго-западе провинции Хузестан до р. Арванд в Абадане, затем 210 км - по морскому дну к побережью Кувейта. Между Турцией и Иорданией также был заключено соглашение-проект Disi Amman Water Conveyor стоимостью 950 млн. долларов (0.27 млн. м<sup>3</sup>/день) [6, с. 217]. Особо острая ситуация сложилась в Австралии. Она является самым сухим из населенных континентов на Земле, и одним из главных мировых потребителей воды. За последние семь лет водный сток самых больших речных бассейнов Австралии снизился на 80 %. В ответ на это потребовалось сломать существующую систему водораспределения, чтобы бороться с негативными последствиями потепления климата и засухи. Этим занимается Управление по использованию ресурсов бассейна Мюррей-Дарлинг, созданное в Австралии в 2008 г. Здесь же, в Австралии, под вопросом оказались права доступа к воде, общий объем которой составляет более 5000 гигалитров (Гл). Когда климат был более влажным, а дебит только р. Мюррей составлял 8 900 Гл/год, в сеть водоснабжения ежегодно поступали миллиарды литров воды, но ситуация изменилась - вот уже три года, как дебит реки установился на уровне 1783 Гл/год. Бассейн Мюррей-Дарлинг особенно чувствителен к изменению климата. Достаточно среднегодовой температуре подняться на один градус – это как раз и происходит при потеплении, - чтобы объем поступающей в реки воды снизился на 15%. До засухи бассейн поставлял 40% сельскохозяйственной продукции страны. Ее основная масса - поливные культуры, приносящие ежегодный доход в 15 млрд. австралийских долларов. Более двух миллионов людей зависят от воды бассейна Мюррей-Дарлинг. Среди них – жители Аделаиды, пятого по величине города страны. За последние три года им пришлось пережить жесточайшие ограничения в потреблении воды. В этом южном городе жители имеют право на три часа (!) ручного полива в неделю.

Робин Маклеод, комиссар по вопросам безопасности воды в Южной Австралии, обеспокоен: экологическая катастрофа угрожает озерам, расположенным невдалеке от устья и отделенным от Индийского океана лишь дамбами. Уровень воды в них снижается, а кислотность окружающих сульфатно-кислых почв под воздействием воздуха увеличивается до опасного уровня. Между тем, в Мюррей-Дарлинг не хватает пресной воды даже на то, чтобы покрыть их дно. Можно было бы бороться с кислотностью, открыв доступ морской воде. Но в этом случае, предупреждает Робин Маклеод, «в них резко повысится содержание соли, и они превратятся в мертвое море» [15, с. 10]. Ключом новой системы, введенной в Австралии, стало распределение доступа к имеющимся источникам воды, в зависимости от четко определенных обменных квот. «Это позволило нам ввести конкуренцию как средство решения наших проблем и стимулятор ускоренного проведения реформы, - говорит Майк Янг, исполнительный директор Института проблем экологии университета в г. Аделаиде. – Мы располагаем теперь мощным двигателем реформы, аналога которой нет нигде в мире». Аделаида, получающая 90 % своей питьевой воды из р. Мюррей, развивает в настоящее время новые источники снабжения. 30 % потребляемой городом воды – это вода, прошедшая переработку. К 2010 г. эта доля возрастет до 45 %. Новые районы города оборудуются двумя системами водоснабжения – одна подает питьевую воду (очищенную) для приготовления напитков и пищи, а другая, фиолетового цвета, - для

канализации, мойки и полива. Здесь также строится станция опреснения воды, которая с 2011 г. будет удовлетворять четверть потребности города в воде.

Другие меры в Австралии касаются способов использования воды в сельской местности. С удорожанием воды фермеры стали отказываться от эксплуатации открытых каналов и установок искусственного дождевания, заменяя их системой капельного орошения, управляемой компьютером. Вода, которая в прошлом годилась лишь для скота, сейчас используется в садоводстве, виноградарстве и овощеводстве. В 2000 г. торговля водой в Австралии между штатами Южной Австралией, Викторией и Новыми Южными Вэльсами составила 9.5 Гл воды (51 пилот-проект). Совокупная стоимость торговых сделок по воде составила 9.9 млн. долларов. Из них три торговые сделки осуществлены более чем на 1 млн. долларов, причем 90 % всей проданной воды приходится на Южную Австралию.

Несколько слов хочется сказать о маленьком государстве Лесото, - гористом, не имеющим выхода к морю; его единственным природным ресурсом является вода. Экономика держится на сельском хозяйстве, животноводстве и денежных переводах от горняков, работающих в Южно-Африканской Республике. В течение нескольких последних лет число этих горняков неуклонно сокращалось. Слаборазвитый промышленный сектор зависит в основном от фермерства, обеспечивающего сырьем мукомольную, консервную, кожевенную и джутовую промышленность. Сельскохозяйственные продукты экспортируются преимущественно в Южно-Африканскую Республику. Основную часть государственных доходов Лесото приносит членство в общем таможенном союзе с ЮАР. Хотя за последние несколько лет активность сельскохозяйственного сектора снизилась из-за затяжной засухи, завершение строительства крупной гидроэлектростанции в январе 1998 г. позволяет ныне продавать воду Южно-Африканской Республике; торговля водой может стать для Лесото источником доходов.

Как уже упоминалось, международный рынок воды еще складывается. В контексте этой проблемы не все государства упомянуты, мало данных о водных сделках, но тема находится только в самом начале разработки, и, я думаю, в скором времени он пополнится новыми данными, т.к. мировой рынок еще только складывается. Каким он будет ? Трудно предсказать.

Итак, подведем скромные итоги нашего доклада.

Во-первых, вопрос о водных ресурсах во многих странах стал вопросом национальной безопасности, поскольку водная безопасность ее является важной и неотъемлемой частью. Вода все больше становится важнейшим фактором современной геополитики. В определенной степени борьба за водные ресурсы напоминает историю соперничества за нефть и газ, разделяя страны на те, которые владеют этим ресурсом, и те, которые его импортируют. Единственное отличие заключается в том, что если в случае с нефтью и газом можно вести речь об альтернативных маршрутах поставки или источниках сырья, то в отношении водных ресурсов это осуществить гораздо сложнее и дороже. Водные ресурсы, становящиеся *международным товаром*, в наступившем веке по стоимости могут сравниться или превысить стоимость углеводородного сырья – нефти.

Во-вторых, стоимость воды будет складываться из рентабельности способов транспортировки пресной воды. Здесь рассматриваются айсберги, водоводы, танкеры, переброска водных ресурсов, искусственный дождь. Сегодня реальную мировую торговлю водой обеспечивают водоводы и танкеры. Не исключено, что через какое-то время в обиход политиков и экспертов прочно войдет термин *архитектура водоводов* – по аналогии с газо- и нефтепроводами.

В-третьих, международное право на сегодняшний день не поощряет продажу чистой воды. Но жизнь диктует обратное. Я привела вам немало примеров того, как

осуществляется взаимовыгодная продажа воды. Неизбежно назревают изменения в правовом регулировании водными сделками в рамках международных торговых организаций (ГАТТ, ВТО). И чем быстрее осуществится это правовое оформление, тем стабильнее будет национальная безопасность государств, тем надежнее и тверже будет мир на нашей планете.

#### **Список литературы**

- [1] *Ballard Clarke*. Volume, reliability and tenure of major irrigation entitlements in the Murrumbidgee, Murray and Goulburn valleys, Background paper for MDBC Interstate Water Trade Project Board, MDBC, Canberra, 2003. С. 20-31.
- [2] *Ballard Clarke*. Monitoring and accounting for water trade in the Murray-Darling basin, Australian Journal of Water Resources, 7 (1), 2003. С. 49-56.
- [3] *Ballard Clarke, Brown Andrew, Rose Louise*. Development of interstate water trading in the Murray-Darling basin, Australia. 2000.
- [4] *Dyson M*. Legislative issues associated with trading in 'tagged' water entitlements, Report prepared for MDBC Interstate Water Trade Project Board, MDBC, Canberra, 2003. 27 с.
- [5] *Gleick Peter H*. The World's Water, 2002-2003. Washington, D.C.: Island Press, 2002.
- [6] *Gruen George E*. Turkish Plans to Export Water : Their Regional Strategic Significance, American Foreign Policy Interests, № 26. 2004. С. 209-228.
- [7] *Hillel Daniel*. Rivers of Eden: The Struggle for Water and the Quest for Peace in the Middle East. N.Y. and Oxford: Oxford University Press, 1994.
- [8] *Homer-Dixon Thomas and Jessica Blitt*, eds. Ecoviolence: Links Among Environment, Population and Security. Lanham, MD.: Rowman & Littlefield, 1998.
- [9] *Jad Isaac and Shuval Hillel*, eds. Water and Peace in the Middle East: Proceedings of the First Israeli-Palestinian International Academic Conference on Water. Amsterdam: Elsevier, 1994.
- [10] *Kally Elisha*. *Water and Peace: Water Resources and the Arab-Israeli Peace Process*. Westport, Conn.: Praeger, 1993.
- [11] *Lowi Miriam R*. Water and Power: The Politics of a Scarce Resource in the Jordan River Basin. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- [12] *Murakami Masahiro*. Managing Water for Peace in the Middle East: Alternative Strategies. Tokyo and N.Y.: United Nations University Press, 1995.
- [13] *Sherman Martin*. The Politics of Water in the Middle East: An Israeli Perspective on the Hydro-Political Aspects of the Conflict. N.Y.: St. Martin's Press, 1999.
- [14] *Wachtel Howard M*. Water conflicts and international water markets. Washington : American University, 2004.
- [15] *Young Mike, Hatton McDonald Darla, Stringer Randy and Bjornlung Henning*. Interstate water trading : a two year review. Final draft report, CSIRO Land and Water, December 2000.

## **РЫНОК РАЗРЕШЕНИЙ НА СБРОС ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДОЁМЫ**

**В.И. Данилов-Данильян, И.Л. Хранович**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН  
Россия

Предложен подход к формированию рынка разрешений на сброс загрязняющих веществ в водоёмы, в котором учитываются особенности использования водных ресурсов и управления их качеством в рамках пространственно распределенной

водохозяйственные системы. Рынок функционирует в стохастических условиях формирования качества вод. В предложенном подходе к формированию рынка «ведущими» выступают предельно допустимые сбросы, играющие роль ориентиров масс примесей. Массы сбросов, при различных реализациях стохастических условий, являются «ведомыми».

**1. Проблема** Водохозяйственные системы (ВХС) объединяют источники водных ресурсов, средства их доставки, пользователей, средства управления их режимом и качеством для удовлетворения хозяйственных нужд, а также решения социальных и экологических проблем, связанных с использованием водных ресурсов. Одной из существенных особенностей ВХС является то, что источники водных ресурсов одновременно служат приемниками стоков загрязненных вод промышленности, коммунального и сельского хозяйства – это обуславливает ухудшение качества природных вод, проявляющееся в изменении их химического состава и деградации экосистем водных объектов и прилегающих территорий. Основной причиной ухудшения качества природных вод является превышение массами загрязняющих веществ (ЗВ), сбрасываемых в водные объекты, предельных нагрузок, при которых химические и биологические качества водной среды соответствуют требованиям водопользователей и окружающей территории (точнее, не нарушаются природные механизмы воспроизводства водных ресурсов). Ограничение дальнейшего ухудшения качества водной среды, а в перспективе его улучшения потребовало введения ограничений нагрузок на водные объекты. Попыткой формализации таких ограничений стало введение понятия предельно допустимого сброса (ПДС), под которыми понимается максимально допустимая масса поллютанта в сточных водах пользователя.

В определении, сформулированном в [2], ПДС понимаются как «жесткие» ограничения. Однако в силу заведомой нецелесообразности, а нередко и невозможности их выполнения во всех ситуациях функционирования ВХС как природно-технического комплекса ПДС на практике оказываются ограничениями «мягкими». Они играют роль ориентиров (подробнее об ориентирах как виртуальных ресурсах см. [4]), руководствуясь которыми можно выбрать такие технологии использования водных ресурсов, параметры и режимы работы очистных сооружений, которые будут в меру возможности соответствовать целям введения ПДС, будучи на самом деле компромиссом этих целей с иными задачами ВХС.

Ущерб, наносимый водопользователю отводимыми от него загрязненными водами, как правило, не оправдывает его затрат на их очистку. Эффект от улучшения качества отводимой воды проявляется у других пользователей и приводит к улучшению экологической обстановки в регионе. От улучшения качества водных ресурсов выигрывает общество в целом. ПДС являются индивидуальными характеристиками пользователей и в совокупности должны обеспечивать требуемое ограничение нагрузок на водные объекты. Их применение оправдывается функционированием всей ВХС с учетом взаимного влияния её элементов. При этом предполагается существование органов управления ВХС, которые на основании знаний о водных объектах, а также данных о возможностях и предпочтениях пользователей добиваются требуемого качества водных ресурсов, воздействуя на пользователей административными средствами и экономическими стимулами.

ПДС назначаются пользователям на определенный срок (например на 5–10 лет), в течение которого, как правило, водохозяйственная обстановка успевает измениться. Появляются новые предприятия-пользователи водных ресурсов и закрываются ранее функционировавшие. Развивается производство, меняются технологии использования водных ресурсов и очистки сточных вод. Возникает проблема перераспределения разрешений на сброс ЗВ. Решение этой проблемы видится в создании рынка разрешений, участники которого обладают правом самостоятельно выбирать



предпочтительные варианты своего поведения. Они могут либо обеспечить непревышение ПДС изменением технологии использования водных ресурсов, строительством и реконструкцией очистных сооружений, либо приобрести право (разрешение, определенное количественно в единицах массы ЗВ) на сброс у других пользователей, которым выгодно такое право продать. При этом не могут быть превышены допустимые уровни загрязнения водоемов.

Специфика рынка разрешений на сброс ЗВ порождается особенностями управления качеством водных ресурсов и их использованием. Качество воды в водоёмах формируется под влиянием источников ЗВ пространственно распределенной системы – ВХС, элементы которой связаны сетью с потоками в ней воды и примесей. В очистных сооружениях чистятся индивидуально подобранные комплексы ЗВ с функционально взаимосвязанными степенями очистки различных примесей. Очистные комплексы продаются. В силу индивидуальности комплексов и состава ЗВ, подлежащих очистке, а также из-за влияния сети, покупатель может использовать их лишь частично. На функционирование рынка налагают отпечаток стохастические условия формирования качества вод, обусловленные вероятностной природой основного водного ресурса – речного стока и потребностями некоторых пользователей.

При анализе возможностей формирования рынка разрешений (квот) на сброс ЗВ в водоемы были использованы идеи и опыт формирования и функционирования рынка выбросов в воздушную среду. Их обзор содержится в [5] и [6]. Выделяются бабл-принцип (принцип пузыря) и система определения масс перераспределяемых сбросов, минимизирующих суммарные затраты пользователей. Бабл-принцип рассматривает все предприятия, сбрасывающие ЗВ в водные объекты некоторого бассейна (региона), как единый комплексный источник загрязнения. Эти предприятия могут обмениваться квотами на сброс так, чтобы масса сбросов комплексного источника не превышала разрешенного суммарного сброса всех предприятий региона [9]. Определение масс перераспределенных сбросов производится также с использованием математической модели, в которой учитываются коэффициенты влияния сбросов источников, расположенных вдоль реки, на качество воды в контрольных створах. В этой модели ЗВ представлены одной примесью [10].

В данной работе рассматривается формирование такого рынка прав на сбросы ЗВ в водные объекты, когда вначале назначаются ПДС, играющие роль разрешений на сбросы, с последующей торговлей ими. Затраты на совершение сделок и организацию рынка (транзакционные издержки) полагаются незначительными и не учитываются. Сбросы ЗВ, поступающие в водные объекты от водопользователей, содержат конечное множество видов примесей. Наборы ЗВ пользователей индивидуальны. Сделки на рынке разрешений на сбросы ЗВ могут осуществляться при любых исходных величинах ПДС. Однако, какие бы ни были первоначальные значения ПДС, они должны удовлетворять требованиям, отражающим особенности функционирования пользователей, в основном, связанных с охраной водной среды и прилегающих территорий, таких как предприятия питьевого водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации, санитарного благополучия водоемов и т.п. В данной работе требования к качеству водных ресурсов представлены как ограничения на массы ЗВ в водных объектах. Функционирование ВХС рассматривается в «простейшей» статической постановке. Распределение водных ресурсов предполагается заданным. Стохастические условия функционирования представлены конечным множеством  $\Omega$  возможных реализаций  $\omega$ . ВХС изображается сетью  $\Gamma(J, S)$ , отражающей структуру и параметры системы, с разнородными потоками в дугах  $y_{sl}^{\omega}$ , соответствующими потокам примесей, присутствующих в водных ресурсах ( $l$ -й вид примеси). Множество вершин  $J$  соответствует выделенным створам ВХС. Множество дуг изображает водохранилища, участки русел рек и каналов. Потоки примесей на входах дуг  $y_{sl}^{\omega}$ , включают, наряду с

исходными потоками  $y_{sl}^{\omega 0}$ , приращения  $\delta_{sl}^{\omega}$ , обусловленные увеличением ( $\delta_{sl}^{\omega} > 0$ ) или уменьшением ( $\delta_{sl}^{\omega} < 0$ ) масс ЗВ в водоемах при передаче разрешений на сброс. В дугах сети происходит преобразование потоков, которые соответствуют переносу и трансформации примесей в водных объектах. Сложные процессы этих преобразований аппроксимируются линейными зависимостями типа Стритера – Фелпса [1], [11] и описываются уравнениями:

$$y_{sl}^{k\omega} = y_{sl}^{k\omega 0} + \delta_{sl}^{k\omega} = \sum_{\gamma \in L} A_s^{\gamma l \omega} y_{s\gamma}^{\omega} = \sum_{\gamma \in L} A_s^{\gamma l \omega} (y_{s\gamma}^{\omega 0} + \delta_{s\gamma}^{\omega}), \quad s \in S, \quad \omega \in \Omega, \quad (1)$$

где  $y_{sl}^{k\omega}$  – поток примеси на выходе дуги,  $A_s^{\gamma l \omega}$  – неотрицательные коэффициенты, характеризующие взаимное влияние примесей и образующие квадратную матрицу  $A_s^{\omega} = \{A_s^{\gamma l \omega} \mid \gamma, l \in L\}$  трансформаций веществ в водоеме.

Уравнения (1) имеют место также при  $\delta_{sl}^{\omega} = 0$  (до передачи разрешений на сброс ЗВ). В этом случае они принимают вид

$$y_{sl}^{k\omega 0} = \sum_{\gamma \in L} A_s^{\gamma l \omega} y_{s\gamma}^{\omega 0}, \quad s \in S, \quad \omega \in \Omega. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что приращения потоков примесей на входах и выходах дуг связаны соотношениями

$$\delta_{sl}^{k\omega} = \sum_{\gamma \in L} A_s^{\gamma l \omega} \delta_{s\gamma}^{\omega}. \quad (3)$$

Требования к качеству водных ресурсов порождают диапазоны допустимых значений потоков в дугах сети. Множество видов примесей  $L$  делится по лимитирующим показателям (например санитарно-токсикологические, общесанитарные, органолептические ЗВ и др.) на подмножества  $L_{\gamma}$ , которые могут иметь непустое пересечение, их объединение  $\bigcup L_{\gamma} = L$ . Примеси множеств  $L_{\gamma}$  образуют  $\gamma$ -е дозы загрязнений, величины которых не должны превышать единицы [8]. Это означает, что потоки на входах дуг должны удовлетворять неравенствам

$$\sum_{l \in L_{\gamma}} d_{sl} y_{sl}^{\omega} = \sum_{l \in L_{\gamma}} d_{sl} [y_{sl}^{\omega 0} + \delta_{sl}^{\omega}] \leq x_s^{\omega}, \quad (4)$$

где  $d_{sl}$  – величина, обратная предельно допустимой концентрации,  $x_s^{\omega}$  – объем водных ресурсов в водоеме, его значения фиксированные. Требования к качеству воды, возвращаемой в ВХС, которым должны удовлетворять потоки на выходе дуг, задаются такими же неравенствами

$$\sum_{l \in L_{\gamma}} d_{sl} y_{sl}^{k\omega} = \sum_{l \in L_{\gamma}} d_{sl} [y_{sl}^{k\omega 0} + \delta_{sl}^{k\omega}] \leq x_s^{k\omega}. \quad (5)$$

Пользователи с очистными сооружениями образуют множество  $H$  и изображаются в виде источников, потоки которых  $m_h^{\omega} = \{m_{hl}^{\omega} \mid l \in L\}$  соответствуют массам ЗВ, поступающих в ВХС. Значения  $m_h^{\omega} = m_h^{\omega 0} + \Delta_h^{\omega}$ ,  $h \in H$ , где  $m_h^{\omega 0}$  – начальные потоки,  $\Delta_h^{\omega} = \{\Delta_{hl}^{\omega} \mid l \in L\}$  – отклонения от них, которые могут варьироваться в зависимости от глубины очистки. Величины потоков  $m_{hl}^{\omega}$  ограничены сверху максимально возможной величиной сбросов  $m_{hl}^{\omega}$ , снизу – нулем в силу неотрицательности значений масс примесей.

$$0 \leq m_{hl}^{\omega} = m_{hl}^{\omega 0} + \Delta_{hl}^{\omega} \leq \bar{m}_{hl}^{\omega}. \quad (6)$$

Исходные значения ПДС  $M_h^0 = \{M_{hl}^0 \mid l \in L\}$  в процессе обмена на формируемом рынке сбросов преобразуются в  $M_h = M_h^0 + q_h$ , где итоги купли и продажи квот  $q_h = \{q_{hl} \mid l \in L\}$  могут быть как положительными, так и отрицательными.

Значения  $M_{hl}$  ограничены сверху величиной  $\overline{M}_{hl} = \max_{\omega \in \Omega} \overline{m}_{hl}^\omega$ , так как нет смысла назначать ПДС больше наибольшего возможного значения сброса, определяемого технологией использования водных ресурсов

$$0 \leq M_{hl} = M_{hl}^0 + q_h \leq \overline{M}_{hl}. \quad (7)$$

Состав примесей  $m_{hl}^\omega$  в сбросах пользователей  $m_h^\omega$  и их ПДС для каждого пользователя индивидуален. Он характеризуется коэффициентами  $\alpha_{hl}$ , которые показывают долю  $l$ -ой примеси в массе сброса  $h$ -го пользователя:

$$m_{hl}^\omega = \alpha_{hl} |m_h^\omega|, \quad M_{hl} = \alpha_{hl} |M_h|, \quad (8)$$

где  $|m_h^\omega| = \sum_{l \in L} m_{hl}^\omega$ ,  $|M_h| = \sum_{l \in L} M_{hl}$ .

Так как в сбросах разных пользователей содержатся различные составы примесей, то  $h$ -й пользователь, купивший разрешение (квоту) на сброс  $q_h^n$  у  $n$ -го пользователя, может воспользоваться им частично. Возможная для использования доля купленного разрешения определяется наименьшим соотношением примесей в составе сбросов продавца и покупателя

$$\varepsilon_n^h = \min_{l \in L} \frac{\alpha_{hl}}{\alpha_{nl}}. \quad (9)$$

Коэффициенты  $\varepsilon_n^h$  преобразования приобретённых разрешений на сброс ЗВ в увеличение ПДС образуют квадратную матрицу коэффициентов приращения квот. Её размерность соответствует числу пользователей с очистными сооружениями.

Приобретаемые приращения на сброс ЗВ образуют сумму

$$q_h^+ = \sum_{n \in H} \varepsilon_n^h q_n^{h+}, \quad (10)$$

продаваемые –

$$q_h^- = \sum_{n \in H} q_n^{h-}. \quad (11)$$

Приращения разрешений на сброс ЗВ пользователей формируются из продаваемых и приобретаемых квот в виде

$$q_h = q_h^+ - q_h^-. \quad (12)$$

Закон сохранения масс примесей представлен системой уравнений неразрывности потоков в вершинах сети

$$\sum_{s \in S_i^+} y_{sl}^{k\omega} - \sum_{s \in S_i^-} y_{sl}^\omega + \sum_{h \in H_i} m_{hl}^\omega + b_{il}^\omega = 0, \quad (13)$$

где  $S_i^+$  – множество дуг, заходящих в  $i$ -ю вершину,  $S_i^-$  – множество дуг, исходящих из нее;  $b_{il}^\omega$  – поток  $l$ -го вида, поступающий в  $i$ -ю вершину,  $H_i$  – множество источников, потоки которых изображают ЗВ, отводимые пользователями с очистными сооружениями в  $i$ -ю вершину. В терминах начального распределения система (13) при подстановке уравнений (1) принимает вид

$$\sum_{s \in S_i^+} (y_{sl}^{k\omega 0} + \delta_{sl}^{k\omega}) - \sum_{s \in S_i^-} (y_{sl}^{\omega 0} + \delta_{sl}^\omega) + b_{il}^\omega + \sum_{h \in H_i} (m_{hl}^{\omega 0} + \Delta_{hl}^\omega) = 0. \quad (14)$$

Система уравнений (14), соответствующая закону сохранения масс примесей, при начальном распределении ЗВ в водных объектах, при которых  $\delta_{sl}^\omega, \delta_{sl}^{k\omega}$  и  $\Delta_{hl}^\omega$  равны нулю, преобразуется в систему

$$\sum_{s \in S_i^+} y_{sl}^{k\omega 0} - \sum_{s \in S_i^-} y_{sl}^{\omega 0} + \sum_{h \in H_i} m_{hl}^{\omega 0} + b_{il}^\omega = 0. \quad (15)$$

Системы уравнений (14) и (15) совместно порождают условия, которым должны удовлетворять вариации потоков, изображающих в сети  $\Gamma(J,S)$  приращения масс примесей при изменениях масс сбросов ЗВ в водные объекты

$$\sum_{s \in S_i^+} \delta_{sl}^{k\omega} - \sum_{s \in S_i^+} \delta_{sl}^{\omega} + \sum_{h \in H_i} \Delta_{hl}^{\omega} = 0. \quad (16)$$

**2. Целевые функции и их трансформации** Затраты на очистку стоков от содержащихся в них примесей  $f_h(M_h, m_h^{\omega})$  зависят как от технологий очистки, ориентированных на достижение ПДС, которым в модели соответствуют  $M_h$ , так и от режимов работы очистных сооружений  $m_h^{\omega}$ .

Функции  $f_h(M_h, m_h^{\omega})$  выпуклы по каждому из переменных  $M_h$  и  $m_h^{\omega}$  в силу закона убывающей эффективности, в соответствии с которым с ростом степени очистки стоков растут затраты на их доочистку [7]. В общем случае нельзя гарантировать выпуклость по их совокупности. Однако производственные функции очистных сооружений всех пользователей Верхневолжской ВХС, построенные К.И. Софроновой, оказались выпуклыми по совокупности переменных  $M_h$  и  $m_h^{\omega}$  [3], и именно этого следовало ожидать исходя из экономических соображений. В данной работе предполагается, что функции  $f_h(M_h, m_h^{\omega})$  такими свойствами обладают.

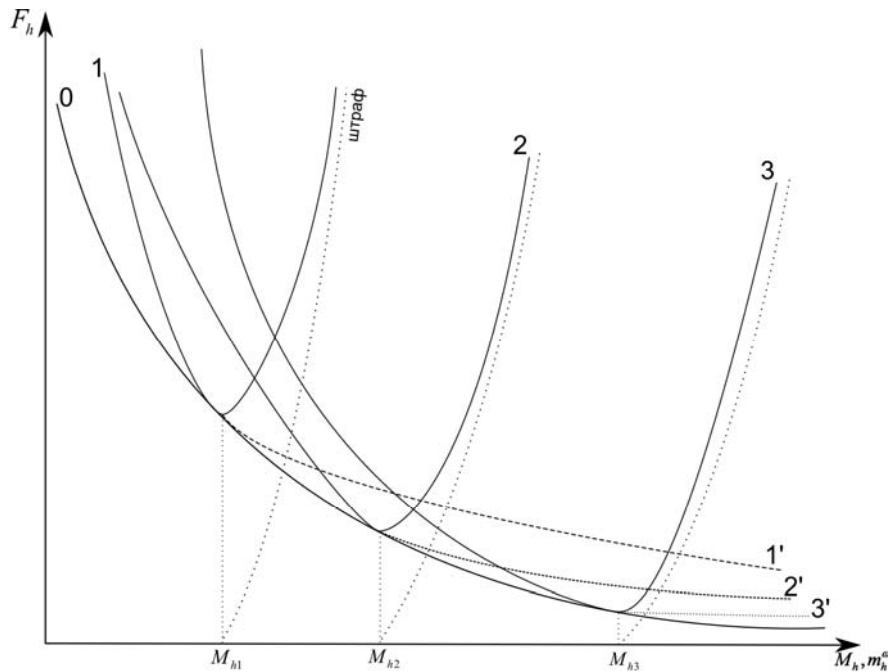


Рис. 1. Зависимость затрат на очистку сточных вод от масс сбрасываемых примесей

Вид зависимостей производственных функций очистных сооружений иллюстрирует рис. 1, на котором показано параметрическое представление функции двух переменных  $f_h(M_h, m_h^{\omega})$  в виде семейства функций одного переменного  $m_h^{\omega}$ , зависящих от параметра  $M_h$ . На рис. 1 он принимает дискретные значения  $M_{h1}, M_{h2}, \dots$ , кривые 1, 2, ... им соответствуют. Кривая 0 – нижняя огибающая семейства кривых  $f_h(M_{hi}, m_h^{\omega})$ ,  $i=1, 2, \dots$ , описывает работу очистных сооружений в оптимальном режиме, в котором  $m_h^{\omega} = M_h$ . Во всех остальных случаях ( $m_h^{\omega} \neq M_h$ ) затраты больше (кривые

$f_h(M_h, m_h^\omega)$  на рис. 1 выше кривой 0). Выше не только возрастающие при  $m_h^\omega > M_h$  ветви кривых 1, 2, ..., которые показывают суммарный рост затрат на очистку стоков и штрафов за превышение ПДС, но и ветви этих кривых, показывающие уменьшение затрат на очистку при увеличении сбросов из-за снижения степени очистки. Для одного и того же значения  $|m_h^\omega - M_h|$  при  $m_h^\omega < M_h$  отличие от кривой 0 больше, чем при  $m_h^\omega > M_h$ , что соответствует большим значениям на доочистку, как правило, значительно большим, чем выигрыш от уменьшения степени очистки.

Затраты  $F_h(M, m_h^\omega)$  пользователей, связанные с функционированием очистных сооружений, включают затраты  $f_h^\omega(M_h, m_h^\omega)$  на собственно очистку стоков от ЗВ, штрафы  $\varepsilon_h(M_h, m_h^\omega)$  за превышение величин сбросов значений ПДС

$$F_h(M_h, m_h^\omega) = f(M_h, m_h^\omega) + \varepsilon_h(M_h, m_h^\omega). \quad (17)$$

При совершении сделок купли-продажи на рынке квот на сброс ЗВ в целевые функции пользователей включаются также затраты  $C_h^+ = \sum_{h \in H} c_n^h q_n^{h+}$  на приобретение разрешений на сброс ЗВ и выигрыш  $C_h^- = \sum_{n \in H} c_n^h q_n^{h-}$  от продажи части квот

$$F_h(M_h, m_h^\omega) = f(M_h^0 + q_h, m_h^{\omega 0} + \Delta_h^\omega) + \varepsilon_h(M_h^0 + q_h, m_h^{\omega 0} + \Delta_h^\omega) + C_h^+ - C_h^-. \quad (18)$$

Здесь  $c_n^h$  и  $c_n^h$  нормативы стоимостей покупок и продаж разрешений на сброс ЗВ. Формулой (18) описывается трансформация целевых функций пользователей водных ресурсов, которые могут совершать сделки с несколькими участниками рынка и выступать одновременно как продавцы и как покупатели разрешений на сброс ЗВ.

Приращения значений функций  $F_h(M, m_h) = M_\omega F_h(M, m_h^\omega)$ , где  $M_\omega$  – символ математического ожидания,

$$\Delta F_h(M, m_h) = F_h(M, m_h) - F_h(M^0, m_h^0) \quad (19)$$

при совершении актов купли-продажи отрицательные. В противном случае обмен разрешениями сброс ЗВ не производится.

Вид функций  $F_h(M_h, m_h^\omega)$  иллюстрирует рис.2, на котором показана трансформация функции  $F_h(M_h, m_h^\omega)$  продавца ( $C_h^- = 0$ ) и рис. 3, где приведен вид преобразования функций  $F_h(M_h, m_h^\omega)$  покупателя ( $C_h^+ = 0$ ). Как видно на этих рисунках, затраты, связанные со штрафами, – строго выпуклые возрастающие с ростом сбросов выше ПДС функции  $\varepsilon_h(M_h, m_h^\omega)$ . Причем их рост значительно превышает снижение затрат на очистку стоков при  $m_h^\omega > M_h$ . При  $m_h^\omega = M_h$  функции  $\varepsilon_h(M_h, m_h^\omega)$  равны нулю. Указанная особенность штрафных санкций заставляет пользователей избегать превышения ПДС. Вид зависимостей затрат  $F_h(M_h, m_h^\omega)$  на очистку стоков от ЗВ, приведенных на рис. 2, показывает, что продавец выигрывает за счёт уменьшения сбросов. Это случается при переходе к более прогрессивным технологиям использования водных ресурсов и очистки сточных вод. Типичный вид трансформации функций  $F_h(M_h, m_h^\omega)$  покупателя, показанный на рис. 30, демонстрирует его выигрыш за счёт увеличения сбросов (уменьшения степени очистки), что, как правило, происходит при использовании устаревших технологий.

**3. Функционирование рынка.** Продавцы и покупатели договариваются друг с другом о ценах, по которым приобретаются разрешения на сброс ЗВ, и их объёмах. При этом могут быть нарушены требования (4) и (5), предъявляемые к качеству водных ресурсов в водных объектах. Для того, чтобы избежать превышения массами

сбрасываемых ЗВ допустимых пределов их содержания в водных объектах, необходимо ввести ограничения на объёмы сбросов. Для организации такой процедуры существует управляющий орган ВХС (центр), который заинтересован в экологическом благополучии водоёмов, а также в том, чтобы по возможности были удовлетворены запросы участников рынка. Его интерес выражается, в частности, в наибольших отчислениях участников сделок в фонд, предназначенный для обеспечения эффективного функционирования ВХС

$$\varphi(q) = \sum_{h \in H} [\mu_h^+ q_h^+ - \mu_h^- q_h^-], \quad (20)$$

где  $\mu_h^+$  и  $\mu_h^-$  – тарифы отчислений, соответственно, покупателей и продавцов,  $\mu_h^+ > 0$ ,  $\mu_h^- > 0$  (так как  $q_h^-$  – величина отрицательная, то второе (алгебраическое) слагаемое в скобках формулы (20) принимает положительные значения). Отчисляют и продавцы и покупатели.

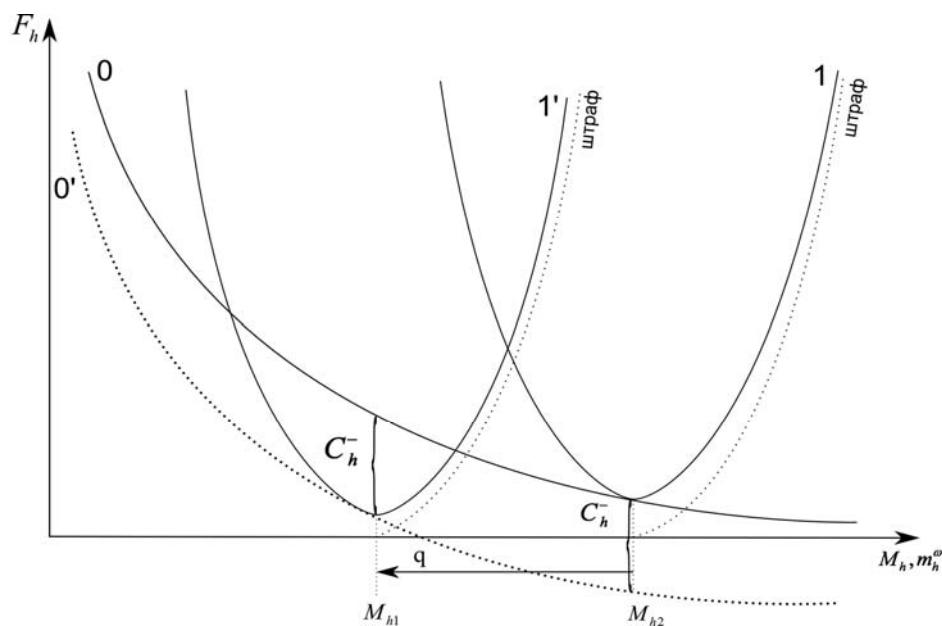


Рис. 2. Трансформация целевой функции продавца

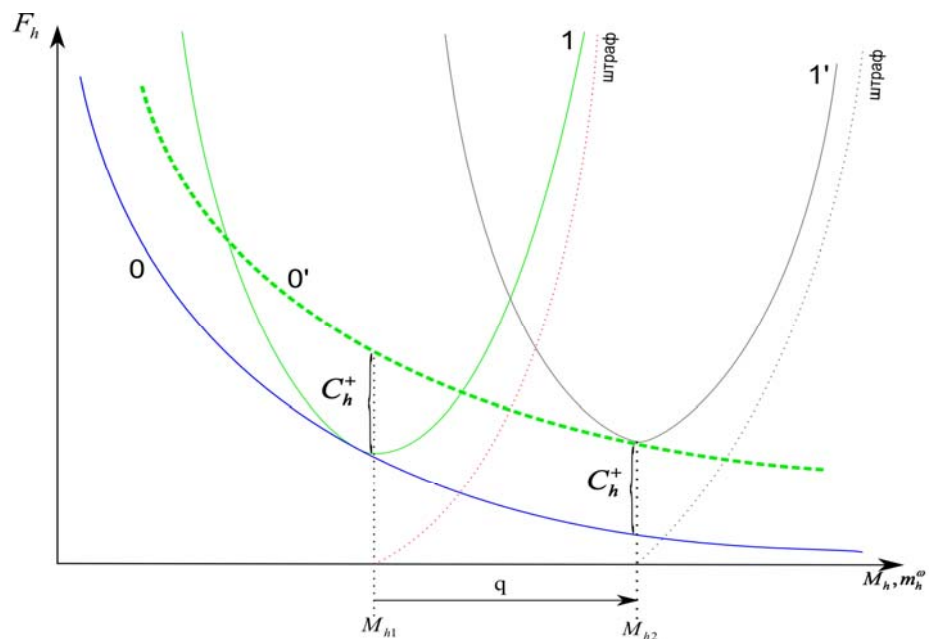


Рис. 3. Трансформация целевой функции покупателя

Центр решает задачу **B** максимизации поступлений средств от совершаемых сделок, описываемых определённой (20) функцией  $\varphi(q)$ , на множестве, выделяемом требованиями, предъявляемыми к качеству водных ресурсов в водных объектах (4) и (5), ограничениями (6) и (7), налагаемыми на приращения ПДС и сбросов ЗВ, правилами преобразования приращений масс примесей в водотоках, описываемыми уравнениями (3), и уравнениями баланса приращений масс ЗВ (16) в вершинах сети  $\Gamma(J,S)$ , соответствующих створам водохозяйственной сети. В результате решения задачи **B** определяются величины приращений разрешений на сброс  $q$  и сбросов  $\Delta_h^\omega$ , формирующие новые значения ПДС  $M_h$  и новые значения сбросов  $m_h^\omega$ , которые назначаются пользователям водных ресурсов. В силу свойства (19) целевых функций математическое ожидание затрат на очистку стоков от ЗВ всех пользователей ВХС в результате заключённых актов купли – продажи  $F_h(M, m_h)$  меньше его исходного значения  $F_h(M^0, m_h^0)$ .

Переход от начального распределения квот  $M_h^0$  на сброс ЗВ к новым значениям  $M_h$  влечёт изменение наборов величин сбросов  $m_h^\omega$ . Кроме того, у покупателей разрешений могут появиться части покупок  $q_h^n$ , неиспользуемые в связи с несовпадением состава их сбросов с составом сбросов продавцов, продавших им свои квоты. Появляется возможность с выгодой избавиться от излишков разрешений на сброс ЗВ, и найдутся покупатели этих излишков. В таком случае новые значения  $M_h$  и  $m_h^\omega$  играют роль исходного распределения разрешений и сбросов ЗВ для совершения следующего шага сделок купли-продажи квот. Подобная ситуация воспроизводится и далее, образуя итерационный процесс последовательного преобразования квот и сбросов ЗВ. На каждом шаге этого процесса значения целевых функций  $F_h(M, m_h)$ , описывающих затраты, связанных с очисткой стоков, убывают. Так как затраты не могут быть отрицательными, значения функций  $F_h(M, m_h)$  ограничены снизу. Убывающая ограниченная снизу последовательность имеет предел. Поэтому описанный итерационный процесс рыночного обмена разрешениями на сброс ЗВ сходится.

**4. Выводы** Рассмотрены особенности формирования управляемого рынка разрешений на сброс загрязняющих веществ в водоёмы. Продавцы и покупатели, затраты на очистку стоков которых зависят как от технологий очистки, ориентированных на достижение ПДС, так и от режимов работы очистных сооружений, договариваются друг с другом о ценах и объёмах сделок купли-продажи. Управляющий орган водохозяйственной системы обеспечивает экологическое благополучие водоёмов так, чтобы по возможности были удовлетворены запросы участников рынка. В представленном подходе рынок функционирует в стохастических условиях формирования качества вод в рамках пространственно распределённой водохозяйственной системы. На рынке «ведущими» выступают предельно допустимые сбросы, играющие роль ориентиров масс примесей. Массы сбросов, при различных реализациях стохастических условий, являются «ведомыми».

#### Список литературы

- [1] Вавилин В.А., Циткин М.Ю. Математическое моделирование управления качеством водной среды // Водные ресурсы, 1977, № 5. С. 114–132.
- [2] Государственный стандарт «Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения». ГОСТ 17.1.1.01-77.
- [3] Глухих М.В., Желонкин С. В., Кочарян А. Г., Лебедева И.П., Софронова К.И., Хранович И.Л. Обоснование водоохранных мероприятий в стохастических условиях с использованием математических моделей // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда, секция 4 «Экологическое состояние водных объектов, качество вод и научные основы их охраны», часть 2. М.: Росгидромет, 2006. С.221–226.
- [4] Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Гарантированное водопользование в рыночных условиях // Водные ресурсы, 2009, Т. 36. С. 228–239.
- [5] Кречетов Л.И. Системы экономического стимулирования водоохраной деятельности предприятий. I. Платежи // Водные ресурсы, 1991, № 4. С.164–172.
- [6] Кречетов Л.И. Системы экономического стимулирования водоохраной деятельности предприятий. II. Рыночные системы // Водные ресурсы, 1991, № 5. С. 174–184.
- [7] Самуэльсон П. Экономика. М.: Прогресс, 1964. 667 с.
- [8] Указания по методу расчёта смешения и разбавления сточных вод в реках, озерах и водохранилищах, М.: ВОДГЕО, 1971. С. 224.
- [9] Dowd R.M. EPA's air quality bubble revised // Environment Sci. and Technol. 1984, v.18, No 8. P. 249A.
- [10] O'Neil W., David M., Moore C., Joeres E. Transferable discharge permits and economic efficiency the Fox River // J. Environment Economic Management, 1983, v.10, N 4. P. 346–355.
- [11] Streeter H.W., Phelps E.B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio river // Public Health Service. Washington: D.C., 1925. V.146. P. 1–75.

## **ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАПОВЕДНЫХ АКВАТОРИЙ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ**

**Митина Н.Н., Чуприна Е.В.**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН  
Россия

На основании разработанной классификации подводных ландшафтов построенной ландшафтной картосхемы с учетом динамики и деградации донных природных комплексов (ДПК) и результатов статистического анализа предложено функционально-площадное распределение особо охраняемых природных акваторий (ООПА). Заповедание рекомендовали с целью восстановления наиболее продуктивных по принципу: ядра, буферные, транзитные и восстановительные ООПА. Предлагается заповедовать ДПК, являющиеся местообитаниями ценных редких и исчезающих видов беспозвоночных и рыб, от благополучного экологического состояния которых зависит их выживаемость, репродукция и воспроизводство; места нереста и нагула молоди рыб; ДПК уязвимые, неустойчивые, чувствительные и медленно восстанавливаемые.

Последнее столетие характеризуется резким усилением антропогенной нагрузки на морские экосистемы. Происходит прогрессирующее ухудшение качества вод и донных отложений, которое приводит к деградации подводных ландшафтов и



снижению ландшафтного разнообразия. Объектом комплексного изучения ландшафтов являются в первую очередь донные природные комплексы (ДПК). ДПК обособляются на участке земной коры, имеющем одинаковое геологическое строение в пределах одной морфоструктуры донного рельефа с определенным набором литологических разностей современных донных отложений или выходов коренных пород, освещенности, гидроклиматом и биоценозами.

Исследование изменчивости и устойчивости ДПК имеет важное научное значение, так как благополучное экологическое состояние и разнообразие ДПК обуславливает стабильность экосистем всей водной толщи, а исследование закономерностей восстановления деградированных подводных ландшафтов - необходимая составляющая природоохранной деятельности. Одним из эффективных природоохранных мероприятий является разработка сети охраняемых акваторий, научное обоснование которой возможно на основе комплексного исследования морей.

**Целью** данной работы является развитие методологии по обоснованию размещения особо охраняемых природных акваторий Черного и Азовского морей на основе изучения геоэкологических особенностей структуры и функционирования их ДПК. В соответствии с намеченной целью были решены следующие **задачи**:

- анализ существующих международных геоэкологических методов заповедания морских акваторий, опыта создания морских резерватов и адаптация их к данному объекту исследования;
- физико-географическая классификация, районирование ДПК изучаемой акватории и анализ их изменений;
- исследование влияния антропогенной деятельности на изменения ДПК, относительно фоновых;
- определение параметров, интегрально характеризующих основные особенности каждого из компонентов ДПК Азовского и Черного морей на основании статистической обработки созданной в процессе работы базы данных 45 показателей, характеризующих основные компоненты ДПК и их геоэкологическое состояние;
- определение геоэкологических факторов, на основании которых выявлены основные особенности функционирования ДПК, их динамика и устойчивость;
- разработка рекомендаций по размещению пространственно-функциональных компонентов экологической сети ООПА в исследуемой акватории, исходя из анализа картосхемы современных ДПК, их деградации за прошедшие 100 лет и выявленных особенностей их стабильного функционирования.

Под устойчивостью ДПК понимается его способность сохранять постоянной свою структуру, т.е. набор и взаимодействие составляющих его компонентов на фоне антропогенных нагрузок, посредством изменения отдельных параметров и свойств, компенсируя последствия, возникающие под влиянием внедрения новых элементов различного происхождения.

Условия, благоприятные для ценных и наиболее чувствительных видов промысловых рыб, как правило, благоприятны и для всего биоценоза [1, с. 11]. В связи с вышеизложенным, одним из важнейших показателей стабильного состояния ДПК исследуемой акватории принимаются геоэкологические условия, благоприятные для существования популяции осетровых рыб на протяжении всего их жизненного цикла. Осетровые являются долгоживущими ценными промысловыми рыбами, находящимися на верхнем уровне трофической цепи гидроэкосистемы Черного и Азовского морей, и в настоящее время находятся под сильным антропогенным прессом.

Одним из важнейших способов охраны и устойчивого использования ресурсов прибрежных территорий и морских акваторий является учреждение и эффективное управление морскими заповедниками – особо охраняемыми природными акваториями (ООПА). ООПА - объекты особого управления для защиты видов, популяций,

местообитаний, сообществ и морской экосистемы в целом. В законодательстве Российской Федерации ООПА - это особо охраняемые водные объекты или природные водные экосистемы, имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение [2, с. 15].

Системный подход в экологическом резервировании в настоящее время заключается в формировании локальных, региональных и глобальных экологических сетей, позволяющих сохранить ландшафтное и биологическое разнообразие. Заповедание посредством организации морской экологической сети поддерживает здоровые и продуктивные экосистемы. Небольшие изолированные природные сообщества обречены на неизбежную деградацию, поэтому для длительного существования они должны быть связаны между собой экологическими коридорами, образуя целостный экологический каркас [3, с. 118].

Информационной основой исследований являются литературные и фондовые материалы, включающие данные судовых наблюдений различных параметров состояния морской среды исследуемого Азово-Черноморского морского бассейна, выполненные на стандартных разрезах в период с 1923 по 2005 гг. экспедициями ИНБЮМ НАНУ, МГИ НАНУ, ИО РАН, ЕСИМО, ЮНЦ, а также обширный картографический материал и литературные источники. Была применена методика сбора и обработки всего ряда наблюдений основных показателей компонентов ДПК за летние (июль-август) и зимние (январь-февраль) месяцы на горизонтах 0 м, 100 м, и в придонном слое для Азовского и Черного морей, интерполированных в узлах регулярной сетки с шагом в 1/5 градуса. В результате для каждой опорной точки, расположенной в узлах регулярной сетки, получены характеристики 45 параметров, которые вычислялись методом линейной интерполяции. Каждая точка была описана следующим набором количественных и качественных независимых показателей (свойств компонентов) ландшафта: геолого-геоморфологических - глубина, тип рельефа; литологических - гранулометрический состав и тип донных отложений; климатических - радиационный баланс, количество слоистых и кучевых облаков зима/лето, количество осадков над морем; гидрологических - температура воды в поверхностном слое моря август/февраль, соленость воды в поверхностном слое и на глубине 100 м август/февраль, скорость и направление поверхностных течений; гидрохимических - концентрация pH в поверхностном слое август/февраль, концентрация растворенного кислорода на глубине 100 м зима/лето, концентрация растворенного кислорода в поверхностном слое, зима/лето, среднегодовая концентрации кремния в поверхностном слое, концентрация кремния в поверхностном слое зима/лето, концентрация фосфатного фосфора в поверхностном слое зима/лето, изменение верхней границы зоны сероводородного заражения по данным наблюдений 1923, 1994 и 2005 гг.; биологических - общая биомасса фитопланктона в слое воды 0 - 100 м; первичная продукция в слое воды 0 - 100 м; биомасса мезопланктона весна-лето/осень-зима, общая биомасса зоопланктона лето/зима; биомасса кормового зоопланктона, общая биомасса макрозообентоса, распределение черноморской хамсы, ее икры и мальков; загрязненности - концентрация нефтяных углеводородов (НУ), концентрация детергентов в поверхностном слое, содержание тяжелых металлов в донных осадках (Ni, Cr, V, Pb). Вышеперечисленные показатели были представлены в виде таблицы, состоящей из 1273 строк (точек наблюдений) и 45 столбцов (переменных), количественно описывающих свойства основных компонентов ДПК и их экологическое состояние.

Полученные данные были обработаны статистическими методами парного корреляционного анализа и методом главных компонент. Анализируя геоэкологические факторы, полученные с помощью факторного анализа, установлено, что в условиях антропогенного пресса функциональные особенности природных комплексов Азово-

Черноморской физико-географической страны претерпевают изменения. Самым устойчивым является фактор, характеризующий особенности формирования продуктивности и кормности исследуемой акватории. Следовательно, сохранение условий формирования биопродуктивности ДПК является приоритетным направлением в общей природоохранной стратегии, направленной на устойчивое существование и функционирование морской экосистемы в современных условиях.

На следующем этапе работы, на основе разработанной К.М. Петровым [4, с. 97] классификации ДПК морских мелководий с нашими добавлениями проведено районирование и картографирование ДПК исследуемой акватории. Согласно классическим определениям природных комплексов различного ранга было обосновано иерархическое соподчинение выделенных ДПК от физико-географической страны до ландшафта (Рис.). Картосхема физико-географического районирования построена традиционным методом комплексного использования результатов исследований компонентов ДПК, сопоставлением набора карт, характеризующих основные компоненты ДПК и описанием выявленных закономерностей. На основании разработанной классификации и построенной картосхемы ДПК различного иерархического уровня от физико-географической страны до ландшафта, статистической обработки ряда биотических и абиотических показателей и определения основных геоэкологических факторов стабильности ДПК, разработана методология развития экологической сети ООПА и предложено функционально-площадное распределение её компонентов.

Исследовались распространения ряда краснокнижных, редких и исчезающих видов гидробионтов, в том числе семейства осетровых, благополучие популяции которых является показателем стабильности водной экосистемы. В результате сопоставления составленной картосхемы ДПК с данными гидробиологических исследований 1910-1912 гг. [5, с. 8], которые приняты нами за фоновые, получено, что ДПК Черного и Азовского морей испытывают сильные негативные воздействия как локального, так и регионального характера. Прослежено увеличение площадей зон гипоксии, снижение концентрации кислорода и уменьшение прозрачности вод, отмечены массовая гибель и резкое сокращение численности многих видов фитобентоса, зообентоса, ценных промысловых видов рыб, выявлено общее снижение ландшафтного разнообразия вплоть до исчезновения ценных в промысловом отношении ДПК ранга ландшафтов. Согласно результатам статистической обработки данных, для восстановления деградированных ДПК методология размещения ООПА должна быть направлена на поддержание биопродуктивности. В рамках системного подхода экологического резервирования, основанного на международном опыте, предлагаемая сеть ООПА состоит из следующих элементов: ключевые природоохранные акватории (заповедные ядра), транзитные акватории, буферные защитные акватории, восстановительные акватории (Таблица).

Заповедные ядра – территории строгой защиты – **Ключевые Природные Территории/Акватории** - непосредственно обеспечивающие поддержание экологического баланса, сохранение природных комплексов и их компонентов, биологического разнообразия. По отдельности или в совокупности они должны содержать необходимый набор взаимосвязанных элементов, необходимых для нормального функционирования экосистемы. На основании результатов факторного анализа и физико-географического ландшафтного районирования предлагаются следующие ключевые ООПА для Азово-Черноморской физико-географической страны:

- устьевые области рек, система река-берег-море как особый географический объект – пресноводно-морской экотон, охватывающий ДПК впадения реки в приемный водоем, обладающий специфическим строением, ландшафтом и режимом, как зоны скопления морских и речных организмов, находящихся на ранних стадиях развития,

которые по достижении определенного возраста распространяются на обширные акватории моря и речных бассейнов. При этом, устьевые области крупных ценных в хозяйственном плане рек (Днепр, Дон, Дунай и др.), в наибольшей степени испытывают влияние загрязняющих веществ и не редко представляют собой зоны повышенной экологической опасности. По этому, при выборе акваторий для создания морских заповедников следует ориентироваться на мелководные ДПК, в которые впадают водотоки с незагрязненным стоком (Рис.). Такими акваториями являются подводные продолжения расположенных по берегам морей уже существующих наземных заповедных водно-болотных угодий и/или территорий с водосборами входящих в их состав малых рек, впадающих в моря. Понятно, что на настоящем этапе невозможно заповедать водосбор крупной речной системы с расположенными на ней десятками городов, промышленных предприятий и сельскохозяйственных комбинатов. Однако малые реки и ручьи с незагрязненным стоком в совокупности могут выполнить биосферную роль поддержания водных экосистем в состоянии устойчивости [6, с. 28].

- ДПК, являющиеся местами преднерестового скопления осетровых (*Acipenser guildenstradti colchicus*, *Acipenser stellatus*, *Acipenser sturio*).

- система берег-море, испытывающая во многих частях Азово-Черноморского бассейна наибольший прессинг со стороны человека. Рекомендуется расширить по акватории границы существующих на берегу особо охраняемых природных территорий, так как скопления осетровых (*Acipenser guildenstradti colchicus*, *Acipenser stellatus*, *Acipenser sturio*) в период нагула, как правило, приурочены к имеющимся на берегах заповедным территориям.

- деградированные ДПК, по сравнению с фоновыми [5, с. 8]: ДПК зимовки белуги *Huso huso* в Северо-западном регионе Черного моря; филлофорное поле Зернова; малое филлофорное поле Зернова.

- ДПК местообитаний видов, занесенных в Красную Книгу: скаловые, грядовые и донные устрицы *Ostrea taurica* и *Ostrea sublamellosa*, местообитания *Zostera nana* и *Zostera marina* (Рис.).

**Транзитные акватории**, осуществляют необходимую связь между ключевыми ДПК. Одна из главных причин снижения биоразнообразия - фрагментация и изоляция мест обитания популяций и действие этого фактора на их жизнеспособность. Таким образом, решающая задача в сохранении биоразнообразия – обеспечить видовым популяциям возможности распространения, миграции и генетического обмена. Транзитные ДПК выполняют функции экологических коридоров и представляют собой акватории, в которых обычно вводятся лишь определенные ограничения на природопользование.

В результате проведенных исследований определены потенциальные ДПК, которые могут взять на себя функции транзитных акваторий для существенного укрепления природоохранного статуса Азово-Черноморской физико-географической страны: - ДПК, с доминирующим биоценозом *Mytilus galloprovincialis* сублиторальной и около-сублиторальной зоны Черного моря, которые являются областями нагула, транзита и зимовки редких и ценных промысловых рыб, включая осетровых: I A<sub>(12)</sub>, IA<sub>(13)</sub>, IA<sub>(21)</sub>, IA<sub>(23)</sub>, ПА1<sub>(2)</sub>, ПА2<sub>(2)</sub>, ПА3<sub>(2)</sub>, ПА4<sub>(3)</sub>, ПА5<sub>(2)</sub>, ПА6<sub>(2)</sub>, ПА7<sub>(2)</sub>, ПА8<sub>(5)</sub>, ПА9<sub>(5)</sub>; - ДПК, с доминирующими биоценозами *Cardium edule*, *Abra abra*, опоясывающими Азовское море, являющиеся областями нагула, транзита и зимовки редких и ценных промысловых видов рыб, включая популяцию осетровых: I A<sub>(12)</sub>, IA<sub>(13)</sub>, IA<sub>(21)</sub>, IA<sub>(23)</sub>, ПА1<sub>(2)</sub>, ПА2<sub>(2)</sub>, ПА3<sub>(2)</sub>, ПА4<sub>(3)</sub>, ПА5<sub>(2)</sub>, ПА6<sub>(2)</sub>, ПА7<sub>(2)</sub>, ПА8<sub>(5)</sub>, ПА9<sub>(5)</sub>.

Таблица 1. Структурные элементы экологической сети ООПА

| Тип акватории                                 | Цель выделения                                                                                                                   | Критерий выделения границ                                                      | Режим использования                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I — Ключевые природо-охранные акватории (КПА) | Сохранение редких, уникальных исчезающих видов и объектов природной среды                                                        | Естественное распространение ДПК с учетом буферной защиты                      | Строгая охрана; Антропогенное использование обычно отсутствует или строго контролируется; Возможно проведение исследований и экологического мониторинга      |
| II — Буферные акватории                       | Сохранение редких, уникальных исчезающих видов и объектов природной среды                                                        | Естественное распространение ДПК                                               | Сохранение природы; Регулируемые, в зависимости от состояния среды, виды деятельности                                                                        |
| III — Транзитные акватории                    | Сохранение природного ландшафта, типичных природных комплексов, обеспечение нормальной жизнедеятельности видов, охраняемых в КПА | Естественное распространение ДПК, связь между ключевыми ДПК экологической сети | Сохранение природы; Регулируемые, в зависимости от состояния среды, виды деятельности                                                                        |
| IV — Восстановительные акватории              | Восстановление, поддержание, сохранение редких, уникальных исчезающих видов и объектов природной среды                           | Определяются в пределах распространения фоновых ДПК                            | Строгая охрана; Предотвращение и уменьшение антропогенного ущерба морской природной среде; Создание условия для восстановления того или иного объекта охраны |

В качестве **буферных акваторий**, имеющих защитную функцию ключевых и транзитных акваторий, а также рассеивающие антропогенное воздействие, предлагается заповедать периферийные части ключевых природоохранных акваторий - Филлофорное поле Зернова (I A<sub>(14)</sub>); - малое филлофорное поле Каркинитского залива (IA<sub>(7)</sub>) в пределах границ распространения данного ДПК 1913 г.; - акватория приустьевой зоны р. Дон (I Б<sub>(3)</sub>) и др. В некоторых случаях роль буферных зон играют транзитные заповедные акватории (Рис.). На основе анализа фоновых ДПК по историческим данным получено, что многие экологически значимые ДПК находятся под угрозой деградации. В связи с этим очень важна такая функциональная составляющая часть экосети как **восстановительные акватории**, создаваемые на тех ДПК или участках ДПК, где требуется проведение направленных мероприятий по ускорению процессов их восстановления. Восстановительные функции могут нести как целые охраняемые акватории, так и их функциональные зоны, в которых предполагается сокращение непосредственного и опосредованного антропогенного влияния, а в определенных случаях принятия особых мер по восстановлению популяции, места обитания, биоценоза, ландшафта в целом.

В Азово-Черноморской физико-географической стране примером ДПК, требующих восстановительных мероприятий, в первую очередь являются: Филлофорное поле Зернова, (I A<sub>(14)</sub>); Деградируемые устричные банки (I A<sub>(10)</sub>, II A1<sub>(1)</sub>, II A1<sub>(2)</sub>, II A2<sub>(3)</sub>, II A3<sub>(2)</sub>, II A9<sub>(4)</sub>); ДПК, занятые деградирующими биоценозами мидий (*Mytilus galloprovincialis*) (I A<sub>(12)</sub>); с целью восстановления данных ДПК в

границах 1913 г.; ДПК местообитания средиземноморского угря (*Conger Conger*) (II А 8<sub>(1)</sub>) и ДПК, занятые биоценозами zostеры (*Zostera noltii*), как видов, внесенных в международную Красную книгу (I А<sub>(4)</sub>, IА<sub>(7)</sub>, IА<sub>(8)</sub>, IА<sub>(19)</sub>, I Б<sub>(2)</sub>, II А 9<sub>(4)</sub>); ДПК Азовского моря с доминированием *Abra*, *Lentidium* (IБ<sub>(6)</sub>, I Б<sub>(4)</sub>); находящиеся под угрозой деградации ДПК, являющиеся традиционным местом нагула, зимовки, нереста, транзита осетровых рыб.

Учитывая результаты факторного анализа, указывающего на приоритетную роль поддержания биопродуктивности для сохранения стабильности изучаемой экосистемы, сильного загрязнения водных масс и донных отложений Северного региона, по сравнению с Южным, необходимо преобладание по площади заповедных акваторий в Северном регионе. Площадные характеристики ООПА определялись в соответствии с позициями Н. Ф. Реймерса [7, с. 518]: площадь выведенных из интенсивного хозяйственного использования природных комплексов ранга ландшафт должна составлять 30-40%.





**Выводы.** Разработана классификация ДПК Азовского и Черного морей. На основании разработанной классификации, проведено районирование Азово-Черноморской физико-географической страны и составлена картосхема ДПК масштаба 1: 1250000.

На основании выполненного морского ландшафтного районирования статистической обработки данных проведен анализ геоэкологической ситуации, сложившейся в различных ДПК и методом главных компонент выявлены факторы, характеризующие стабильное состояние физико-географической страны и ее регионов. Анализ полученных данных позволил выделить два главных фактора, характеризующих геоэкологическое состояние исследуемой акватории. Получено, что наиболее значимым является фактор, характеризующий особенности формирования продуктивности исследуемых ДПК и их кормности, следовательно, сохранение условий их формирования является приоритетным направлением в общей природоохранной стратегии, направленной на устойчивое существование и функционирование ДПК.

Для Северного региона фактор антропогенного воздействия также является вторым по значимости, а для Южного региона данный фактор не выявлен. Т.о. можно сделать вывод, что на Северный регион приходятся наиболее значимое антропогенное воздействие, по сравнению с Южным. Статистический анализ переменных показывает, что поступление и распределение загрязняющих веществ по акватории Северного региона зависит в основном от речного стока.

На основании разработанной классификации ДПК, построенной ландшафтной картосхемы с учетом динамики и деградации ДПК и результатов статистического анализа предложено функционально-площадное распределение ООПА. Заповедание производилось с целью восстановления наиболее продуктивных ДПК по принципу: ядра, буферные, транзитные и восстановительные особо охраняемые природные акватории. На базе имеющихся особо охраняемых природных береговых территорий, которые поддерживают важнейшие для гидроэкосистемы экологические процессы (например, водосборы и устьевые области малых рек с незагрязненным стоком) предлагается заповедовать примыкающие ДПК по следующим гидроэкологическим принципам: ДПК, являющиеся местообитаниями ценных редких и исчезающих видов беспозвоночных (мидии, устрицы) и рыб (ценные промысловые виды), от благополучного экологического состояния которых зависит их выживаемость, репродукция и воспроизводство; основные ДПК - места нереста и нагула молоди рыб; ДПК уязвимые, неустойчивые, чувствительные к антропогенным нагрузкам и медленно восстанавливаемые.

На основании разработанной методики заповедания проведено картографирование предложенных ООПА. В Азово-Черноморской физико-географической стране примером деградированных ДПК, требующих первоочередных природоохранных мер являются: филофорное поле Зернова (I A<sub>(14)</sub>); устричные банки (I A<sub>(10)</sub>, II A<sub>1(1)</sub>, II A<sub>1(2)</sub>, II A<sub>2(3)</sub>, II A<sub>3(2)</sub>, II A<sub>9(4)</sub>); ДПК, занятые биоценозами мидий (*Mytilus galloprovincialis*) (I A<sub>(12)</sub>) с целью восстановления данных ДПК в границах 1913 г.; ДПК, занятые биоценозами zostеры (*Zostera noltii*); ДПК местообитаний средиземноморского угря (*Conger Conger*) (II A<sub>8(1)</sub>) как видов, внесенных в Красную Книгу (I A<sub>(4)</sub>, I A<sub>(7)</sub>, I A<sub>(8)</sub>, I A<sub>(19)</sub>, I B<sub>(2)</sub>, II A<sub>9(4)</sub>) ДПК приустьевой зоны р. Кубани для восстановления популяций ценных промысловых видов рыб (I B<sub>(6)</sub>, I B<sub>(4)</sub>); ДПК, традиционно используемые видами осетровых рыб для нагула, зимовки, нереста, транзита (I A<sub>(2)</sub>, I A<sub>(14)</sub>, I A<sub>(15)</sub>, I A<sub>(17)</sub>, I A<sub>(23)</sub>, I B<sub>(3)</sub>, II A<sub>6(1)</sub>, II A<sub>4(4)</sub>, II A<sub>6(2)</sub>, II A<sub>9(6)</sub>).

Показано, что научной основой для обоснования размещения с эти особо охраняемых природных акваторий является комплексное ландшафтное районирование и картографирование, подтвержденное статистическим анализом показателей основных



компонентов ДПК, определяющих их изменчивость, устойчивость и геоэкологическое состояние.

### **Список литературы**

- [1] *Зернов С.А.* Общая гидробиология. Москва-Ленинград: Гос. изд-во биологической и медицинской литературы, 1949.
- [2] Водный кодекс Российской Федерации, официальный текст по состоянию на 20 марта 2006г. М.: Омега - Л. 2006. 64 с.
- [3] *Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р.* Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.
- [4] *Петров К.М.* Система единиц физико-географического районирования морских мелководий // Изд. ВГО. 1975. Т. 107, № 2. С. 97 – 104.
- [5] *Зернов С.А.* К вопросу об изученности жизни Черного моря // Зап. Импер. Акад. наук.- Серия 8 - СПб.: 1913, № 1. 299 с.
- [6] *Митина Н.Н.* Геоэкологические исследования ландшафтов морских мелководий, М.: Наука, 2005. 197 с.
- [7] *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.