

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

УДК 504.42

DOI: 10.34753/HS.2020.2.1.19

СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНОГЕНЕЗ МИРОВОГО ОКЕАНА: ХАРАКТЕР ПРОЦЕССОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

А.Л. Суздалева¹, В.Н. Безносков²

¹Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия; ²ООО «Альфамед 2000», г. Москва, Россия
SuzdalevaAL@yandex.ru

MODERN TECHNOGENESIS OF THE WORLD OCEAN: NATURE OF PROCESSES AND ECOLOGICAL PROBLEMS

Antonina L. Suzdaleva¹, Victor N. Beznosov²

¹National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», Moscow, Russia; ²LLC «Alfamed 2000», Moscow, Russia

SuzdalevaAL@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время человеческая деятельность постепенно охватывает весь объем Мирового океана, включая его центральные части и глубинные слои. Состояние Мирового океана всегда являлось важнейшим фактором, определявшим условия существования всей биосферы. По этой причине изменение его гидрологической структуры и свойств в прошедшие геологические эпохи неоднократно приводило к глобальным экологическим кризисам и вымиранию большинства существовавших в то время организмов. Современный техногенез Мирового океана может иметь аналогичные катастрофические последствия. Развитие этого кризиса будет скачкообразным. На его первом этапе последствия техногенной трансформации локализованы в границах отдельных участков акватории Мирового океана. Но их количество непрерывно возрастает. В определенный момент времени совокупный эффект этого процесса в течение относительно короткого времени может вызвать разрушение Мирового океана как единой системы, перехода ее в новое состояние. Это неизбежно приведет к нарушению условий на большинстве участков планеты, вызовет глобальный экологический и социально-экономический кризис. Вместе с тем остановить процесс техногенеза Мирового океана в условиях непрерывного роста народонаселения Земли и его потребности в природных ресурсах

Abstract. The condition of the World Ocean has always been the most important factor living conditions of all Biosphere. For this reason change of its hydrological structure and properties during past geological eras repeatedly led to global ecological crises and extinction of the majority of the organisms existing at that time. The modern technogenesis of the World Ocean can have similar catastrophic consequences. The development of this crisis will take place in a hopping manner. At its first stage, the consequences of technogenic transformation are localized within the boundaries of individual sections of the World Ocean. But their number is constantly increasing. At a certain point in time, the cumulative effect of this process for a relatively short time can cause the destruction of the World Ocean as a single system, and its transition to a new state. This will inevitably disrupt conditions in most parts of the planet, and will cause a global ecological and socio-economic crisis. At the same time, it is impossible to stop the process of technogenesis of the World Ocean under the conditions of continuous growth of the Earth's population and its need for natural resources. The only real way to prevent catastrophic consequences is to develop mechanisms for controlling the processes of technogenesis. In practice, this problem can be solved by creating managed natural-technical systems. In these systems, enabling ecological conditions and

невозможно. Единственным реальным путем предотвращения катастрофических последствий является разработка механизмов управления процессами техногенеза. На практике эта задача может быть решена на основе создания управляемых природно-технических систем. В этих системах благоприятные экологические условия и сохранение биоразнообразия обеспечиваются работой технических объектов – экологических регуляторов. В качестве них могут использоваться технические системы и сооружения, создаваемые для других целей (искусственные острова, морские электростанции и др.). Мировой океан является достоянием всего человечества, но его прибрежные акватории и острова принадлежат отдельным государствам. По этим причинам управление техногенезом Мирового океана обуславливает необходимость развития специального направления в сфере международного права, консолидации усилий различных стран по комплексному решению экологических, экономических и геополитических проблем.

Ключевые слова: техногенез; Мировой океан; природно-техническая система; экологический регулятор; креативная парадигма решения экологических проблем; искусственные острова

Введение

Техногенез Мирового океана, т.е. техногенная трансформация его структуры и свойств, носит многоплановый характер, что обуславливает мультидисциплинарный характер изучения данной проблемы. Ее различные аспекты являются предметом изучения экологии, гидрологии, гидрохимии, метеорологии и ряда других научных дисциплин. Несмотря на различия предметов исследования, большинству этих исследований свойственны три общие черты. Во-первых, основное внимание специалистов уделяется отдельным феноменам, рассмотрение которых абстрагируются от других проблем. Например, изучение процесса загрязнения моря обычно ограничивается

biodiversity conservation are ensured by the operation of technical facilities - ecological regulators.

Keywords: technogenesis; World Ocean; natural-technical system; ecological regulator; creative paradigm of solving ecological problems, artificial islands.

поступлением в воду веществ или тепловой энергии с различных техногенных объектов, вызывающих нежелательные изменения химического состава или температурного режима вод. В то же время изменение физико-химических свойств водной среды, возникающее в результате нарушения стратификации морской среды человеческой деятельностью, как одна из форм загрязнения не рассматривается. Вместе с тем подобное «дестратификационное загрязнение» [Безносков, 2000a] может представлять не меньшую экологическую опасность. Например, техногенный подъем глубинных вод с высокой концентрацией сероводорода может вызвать гибель организмов в поверхностных слоях моря.

Во-вторых, проявления техногенеза начинают всесторонне анализировать и изучать лишь после того, как они принимают выраженный негативный характер. Главная же задача научной деятельности заключается не в объяснении причин уже произошедшего, а в прогнозировании будущих событий и в своевременной разработке мер, позволяющих избежать их негативных последствий. Так, на современном этапе происходит искусственное изменение конфигурации берегов различных морей и их подводного рельефа. Вопрос о том, на каком этапе этот процесс сможет оказать значимое влияние на характер циркуляции вод и вызвать изменение мезо- и макроклимата, практически не изучается.

В-третьих, при выработке мер по предотвращению и снижению негативных последствий техногенеза специалисты, как правило, не выходят за рамки устоявшейся запретительно-ограничительной парадигмы, согласно которой решение экологических и иных проблем, обусловленных трансформацией окружающей среды, заключается в усилении контроля отдельных «потенциально опасных» видов человеческой деятельности. Но в условиях непрерывного роста народонаселения и постоянного появления новых видов деятельности, связанных с освоением ресурсов Мирового океана, подобный подход может дать лишь временные локальные результаты. Остановить процесс техногенеза Мирового океана, как и биосферы в целом, запретительными мерами невозможно [Суздалева, Горюнова, 2017]. Единственный реальный путь решения проблемы заключается в создании механизмов управления этим процессом. Подобный методологический подход, который можно назвать креативной парадигмой, противоречит основному стереотипу «экологического мышления», отрицающему возможность активного вмешательства человека в природные процессы. По этой причине целью данной работы являлся не только обобщающий анализ различных аспектов техногенеза Мирового океана, но и обоснование необходимости принципиального пересмотра

взгляда на возможные пути предотвращения катастрофических последствий этих процессов.

Методологические принципы исследования

При сборе и анализе информации, характеризующей процессы техногенеза Мирового океана, мы руководствовались следующими принципами:

1. В число возможных направлений техногенеза включались не только проекты, в настоящее время представляющие собой реальную угрозу крупномасштабного техногенного воздействия на Мировой океан, но и выдвигавшиеся в прошлом идеи, воплощение которых способно вызвать аналогичный результат. Как показывает исторический опыт любая ранее отвергнутая идея в изменившихся условиях может быть реализована.
2. Техногенная трансформация Мирового океана одновременно происходит по нескольким направлениям, которые мы рассматриваем как отдельные виды техногенеза – геоморфологический, гидрологический, гидрохимический и биотический [Суздалева, Горюнова, 2014]. Но следует помнить, что развитие этих явлений происходит не обособлено, а в сложной взаимосвязи.
3. Неконтролируемый техногенез Мирового океана вызывает изменение условий практически на всей поверхности планеты, включая территории континентов. Это неизбежно стимулирует развитие глобальных геоэкологических кризисов (продовольственного, водопотребления и др.) [Суздалева, 2019]. В основе всех этих явлений лежит изменение экологической ситуации, влекущее за собой нарушение условий жизнедеятельности населения обширных регионов.
4. Результатом техногенеза во всех случаях является возникновение природно-технической системы, т.е. совокупности взаимодействующих объектов естественного и искусственного происхождения [Суздалева, 2016]. Существует две основные категории подобных систем. К первой относятся неуправляемые природно-технические системы. Они возникают спонтанно,

и их существование, как правило, сопровождается экологической деградацией окружающей среды. Вторая категория – это управляемые природно-технические системы. Условия в них определяются работой экологического регулятора, в качестве которого могут выступать различные устройства, инженерные системы и сооружения, режимы работы и конструкции которых соответствующим образом скорректированы. Для выполнения этой задачи необходимо развитие междисциплинарного научно-технического сотрудничества. Его важнейшим условием является синкретический подход к осмыслению целей и путей решения проблем. В данном случае это частичное восприятие различными группами специалистов точки зрения своих идейных противников. Специалистам-экологам необходимо пересмотреть отношение к техногенезу окружающей среды как к сугубо негативному явлению. Специалисты инженерно-технической сферы должны воспринимать задачу улучшения экологической ситуации не как формальное природоохранное ограничение, а как важнейший конечный результат своей деятельности – целенаправленное улучшение условий окружающей среды.

5. Происходящие глобальные климатические изменения (парниковый эффект) и вызываемые ими изменения Мирового океана не рассматриваются в статье как процессы техногенеза. Экологическая значимость этих явлений несомненна. Но трактовать их как процессы сугубо техногенного характера преждевременно. Многие специалисты придерживаются мнения, что основную роль в происходящих глобальных климатических процессах играют естественные факторы. Вместе с тем характер последствий техногенеза во многом зависит от хода глобальных климатических процессов и, напротив, техногенная трансформация Мирового океана может как усиливать, так и снижать развитие парникового эффекта.

Виды техногенеза Мирового океана

Техногенез Мирового океана – это процесс, являющийся результатом прямого и косвенного воздействия на гидросферу весьма широкого спектра видов человеческой деятельности. Для анализа последствий развития экологической ситуации эти воздействия необходимо классифицировать, выделив несколько основных категорий, рассмотренных далее.

Геоморфологический техногенез

Геоморфологический техногенез заключается в изменении конфигурации и структуры береговой линии, а также подводного рельефа. Деятельность, приводящая к подобным результатам, преследует различные цели. Так, в ряде стран разрабатываются и осуществляются многочисленные проекты: от размещения нефтяных платформ до строительства искусственных земельных участков и искусственных островов, уничтожающих значительные участки шельфовой зоны. Их предназначение весьма различно: организация добычи полезных ископаемых на шельфе, размещение аэродромов, производственных объектов, жилых массивов и пр. По прогнозам к 2030 году до 12,5 млн. км² морских акваторий будут заменены искусственными территориями [Chee et al., 2017].

В подавляющем большинстве случаев возведение искусственных островов сопровождается загрязнением окружающей среды, изменением гидрологического режима, а также ликвидацией и коренной трансформацией морских биотопов [Givi et al., 2015]. Если строительство искусственных земельных участков и островов будет происходить теми же темпами, что и в настоящее время, то в определенный момент это может привести к изменению соотношения площади суши и Мирового океана, с соответствующими изменениями мезо- и макроклимата, а также условий существования экосистем и жизнедеятельности населения на многих участках планеты, в т.ч. удаленных от моря.

В обозримом будущем можно прогнозировать и рост масштабов техногенной

трансформации рельефа дна Мирового океана. Прежде всего, это связано с реализацией различных планов освоения морских месторождений полезных ископаемых. Подводный рельеф является важным фактором формирования морских течений, и, следовательно, его изменение также способно оказать значимое воздействие на климат многих участков планеты. Данная проблема усугубляется тем, что при разработке морских месторождений восстановление подводного рельефа в настоящее время представляет собой невыполнимую задачу.

Геоморфологический техногенез Мирового океана может быть обусловлен не только целенаправленной деятельностью, но и процессами, косвенно спровоцированными человеком. Их примером служит увеличение твердого речного стока, сопутствующее урбанизации все новых территорий и расширению зон их интенсивного хозяйственного освоения. Поступление дополнительного количества взвеси в моря проявляется не только в интенсификации отложения наносов в приустьевых акваториях. Уже высказываются опасения значительного увеличения осадочной толщи в центральных частях морских бассейнов, в масштабах способных вызвать катастрофическое повышение уровня Мирового океана [Гулин, 2015].

Вместе с тем создание искусственных островов и земельных участков, а также сооружение карьеров на морском дне открывает широкие возможности для формирования крупномасштабных управляемых природно-технических систем, в которых функции экологических регуляторов будут выполнять возводимые объекты. Так, изменение конфигурации береговой линии и подводного рельефа может интенсифицировать процессы самоочищения морской среды, улучшить экологические условия на прибрежных территориях.

Гидрологический техногенез

Гидрологический техногенез включает всю совокупность процессов техногенной трансформации структуры и динамики слагающих Мировой океан водных масс, а также

их термического режима. Эти процессы могут осуществляться как в форме целенаправленных усилий, так и являться побочными эффектами реализации различных проектов. В первом случае возникают потенциально управляемые природно-технические системы, в качестве экологического регулятора которых можно использовать возводимые гидротехнические сооружения (плотины, устройства для вертикального перемещения вод и др.). Во втором случае неизбежно формируются неуправляемые природно-технические системы, для превращения которых в управляемые требуется создание экологических регуляторов.

Деятельность, результатом которой может стать техногенная трансформация морских течений весьма разнообразна. Воздействие на *горизонтально направленные морские течения* может оказывать возведение искусственных островов, создающих преграду на пути распространения вод, и использование движения водных масс для выработки электроэнергии. Гидроэнергетический потенциал морских течений огромен [Alcáregues-Huerta et al., 2019]. Гипотетически только его использование может дать более 100 млн. кВт электроэнергии. В настоящее время в данной области уже разработан ряд проектов. Наиболее близким к реализации проектом является строительство подобной электростанции в районе Бермудских островов. Аналогичные проекты существуют для Флоридского и Гибралтарского проливов, восточного побережья Японии (течение Курошио).

Виды деятельности, сопровождающиеся *нарушением вертикальной структуры водных масс* (нарушением стратификации), более разнообразны. Но практически все формы искусственных апвеллингов и даунвеллингов вызывают значимое изменение условий в морской среде [Безносков, 2000а]. Основное значение в сфере техногенных нарушений стратификации моря имеет подъем глубинных вод к поверхности. Он также может осуществляться как целенаправленно, так и возникать в форме побочного эффекта деятельности. К первому случаю относятся

различные системы, так называемого, «искусственного апвеллинга», использующие богатые биогенами глубинные воды для повышения продуктивности хозяйств морской аквакультуры. В современном мире данная деятельность получает все большее распространение и масштабы [Lin et al., 2019]. В значительно больших объемах целенаправленный подъем глубинных вод осуществляется в так называемых океанских термальных электростанциях [Liu, 2018]. Помимо производства электроэнергии некоторые проекты предусматривают использование этих объектов в качестве промышленных опреснителей, а отработанные богатые биогенами глубинные воды могут быть использованы для развития марикультуры. Крупномасштабный подъем вод из глубинных слоев все шире используется в системах технического водоснабжения различных промышленных и энергетических объектов. Более низкая температура глубинных вод значительно повышает эффективность их работы. При этом объем поднимаемых вод достаточно велик. Например, расход вод на современных АЭС сравним со стоком некоторых рек.

Во вторую категорию входит деятельность, при которой подъем глубинных вод является побочным эффектом. Например, он наблюдается при возведении в море различных гидротехнических сооружений, добыче полезных ископаемых, прокладке кабелей и трубопроводов, строительстве подводных тоннелей и осуществлении подводных взрывных работ [Безносов, 2000а].

Проекты корректировки *термического режима* морских акваторий в прошлом неоднократно разрабатывались с целью улучшения регионального климата и условий хозяйственной деятельности. Так, еще в 30-е годы XX века для повышения температуры поверхностных вод Карского моря – с целью улучшения функционирования «Северного морского пути» – предлагалось перенаправить р. Обь в Байдарацкую губу. Другой предложенный в те же годы план предусматривал перенаправление стока р. Амур в Охотское море.

По расчетам его авторов это привело бы к повышению температуры поверхностных вод на огромной акватории вплоть до Чукотки. Подобные идеи высказываются и в настоящее время. Так, в 2013 г. вопрос о переносе устья р. Амур вновь обсуждался на заседаниях думы г. Владивостока и на специально организованных по данному поводу конференциях. В качестве главной цели рассматривалось улучшение климата на побережье Приморского края для повышения его привлекательности как курортной зоны. Периодически выдвигаются и другие идеи в этой области, например, постройка плотины в Беринговом проливе, через которую более теплые воды Тихого океана будут в больших объемах перекачиваться в Северный Ледовитый океан. Возникшее искусственное теплое морское течение должно вызвать таяние полярных льдов, что вызовет благотворное (по мнению сторонников данной идеи) потепление климата во всем Северном полушарии.

Итак, все эти проекты имеют одну общую черту. Они обосновываются как возможность оптимизации климатических условий, способствующих развитию конкретных направлений человеческой деятельности (улучшения условий мореплавания, повышения рекреационного потенциала прибрежных территорий и др.). Другие же последствия техногенеза игнорируются, хотя при реализации этих проектов они, вероятно, были бы катастрофичными. Так, увеличение притока речных вод в Карское море в объеме, способном вызвать значимое изменение его ледового режима, неизбежно сопровождалось бы снижением солености вод до уровня, вызывающего гибель подавляющего большинства обитающих в нем организмов.

Рассматривая проблемы гидрологического техногенеза следует обратить внимание на то, что в настоящее время человеческая деятельность в данном плане проявляется почти исключительно в шельфовой зоне. Но с достаточным основанием можно предположить, что уже в ближайшем будущем гидрологическому техногенезу начнут подвергаться акватории, все более и более удаленные от берегов.

Химический и биогеохимический техногенез

Химический техногенез заключается в изменении химического состава вод Мирового океана под воздействием человеческой деятельности. Как уже указывалось выше, некоторые ранее выдвигавшиеся проекты в случае их реализации привели бы к опреснению значительных акваторий. Обратные по своему характеру явления, заключающиеся в повышении солености морских вод, наблюдаются при сокращении речного стока во внутренние моря [Виноградов, 1987; Xu et al., 2019]. Локальное повышение солености может быть обусловлено работой промышленных опреснителей, количество и мощность которых неуклонно возрастает, как и объемы сбрасываемых ими в море отработанных рассолов.

Выдвигались и идеи целенаправленного изменения химического состава вод. Так, в СССР разрабатывались проекты внесения удобрений в халистатические зоны Мирового океана с целью повышения их биопродуктивности и даже проводились натурные эксперименты [Кабанова, Доманов, 1985].

Все эти проекты можно рассматривать как попытки создания потенциально управляемых природно-технических систем. Однако наиболее значимым аспектом химического техногенеза является загрязнение морских вод, приводящее к возникновению на обширных акваториях неуправляемых, деградирующих природно-технических систем. Данные процессы проявляются повсеместно, и их детальному анализу посвящено огромное количество публикуемых работ. Не останавливаясь на этих общеизвестных и широко обсуждаемых проблемах, обратим внимание на возможное развитие ситуации в будущем. На современном этапе зоны сильного загрязнения морских вод носят локальный характер. Выносимые из них устойчивые агенты загрязнения фиксируются в акваториях, удаленных на значительные расстояния. Но пока поток загрязнителей, поступающий в моря, относительно мал по отношению к объему Мирового океана. Поэтому процессы загрязнения не приводят к глобальному изменению химизма морских вод. Этому также

способствуют буферные свойства морской среды, биологическое и химическое разложение загрязнителей, а также их переход в донные осадки в форме труднорастворимых соединений. Вместе с тем можно предположить, что при непрерывном росте потока загрязнителей на определенном этапе произойдет некий качественный скачок, в результате которого будут наблюдаться значимые и, в отличие от континентальных водных объектов, практически необратимые изменения состава вод во всем объеме Мирового океана. Очевидно, что в экологическом плане подобные явления будут носить катастрофический характер, поскольку химический состав внутренней среды подавляющего большинства морских организмов зависит от состава морской воды.

Еще большую опасность представляет *биогеохимический техногенез*, под которым мы понимаем техногенную трансформацию круговоротов различных химических элементов. Биогеохимические циклы обеспечивают системное единство биосферы. Изменение характера этих процессов, которое неминуемо последует за любым крупномасштабным изменением состава и структуры Мирового океана (т.е. его химическим и гидрологическим техногенезом), неизбежно скажется на всех участках биосферы, включая все пространство наземно-воздушной среды обитания. Иллюстрацией возможных экологических последствий могут служить реконструкции некоторых глобальных экологических кризисов, вызванных нарушениями углеродного цикла, причиной которых, в свою очередь, предположительно являлись крупномасштабные изменения структуры Мирового океана. Так, один из возможных сценариев глобального экологического кризиса, произошедшего в конце мелового периода, представлял собой следующую цепь событий [Безносков, 2000b]: падение крупного метеорита вызвало дестратификацию значительной части Мирового океана; в фотическую зону из придонных слоев поступило большое количество биогенных элементов, что, согласно палеонтологическим материалам, вызвало бурное цветение вод,

распространившееся на большую часть океанической акватории [Найдин и др., 1986]; обусловившие цветение массовые виды фитопланктона (кокколитофориды) имели известковый скелет; оседая по окончании цветения, они сформировали залежи карбонатов, в т.ч. писчего мела, по которым и был назван данный геологический период. В ходе этих процессов из атмосферы было изъято огромное количество углерода. Наступившее вследствие этого глобальное похолодание сопровождалось вымиранием большей части как морской, так и наземной биоты.

Биотический техногенез

Биотический техногенез – это изменения качественного и количественного состава биоты, вызванные непосредственным воздействием техногенных факторов. Основными факторами биотического техногенеза Мирового океана являются [Суздалева, Горюнова, 2017]:

- изменение условий морской среды, делающее ее непригодной для обитания различных видов организмов;
- создание благоприятных условий для массового развития отдельных форм, становящихся новыми доминантами морских экосистем;
- техногенные биологические инвазии, т.е. переселение организмов в новые, ранее недоступные для них акватории, с помощью технических средств (например, их перевозка в трюмных и балластных водах судов) [Суздалева, Безносков, Горюнова, 2015; Sol, Weis, 2019];
- создание человеком новых биотопов, пригодных для заселения морскими организмами. Еще в 80-е годы XX века было подсчитано, что суммарная поверхность только одного из типов техногенных субстратов, вводимых в морскую среду, – подводных частей корпусов плавсредств – превышала суммарную площадь верхних сублиторалей Черного, Азовского и Каспийского морей [Резниченко, 1978].

Количество техногенных субстратов в Мировом океане постоянно возрастает, как и их роль в формировании биоты. Некоторые их виды, как, например, опускающийся на морское дно мусор, в значительном количестве достигают

самых глубоких участков Мирового океана, в которых осуществление целенаправленной человеческой деятельности при современном уровне технического развития невозможно. В то же время появление в глубинах океана искусственных субстратов, изменяет структурно-функциональную организацию существующих в них пелагических и бентических сообществ. В результате, на огромных участках океанического дна возникают неуправляемые природно-технические системы, принципиально отличающиеся от ранее существовавших там естественных экосистем. Так биомасса перифитона на твердой поверхности осевшего мусора может достигать нескольких килограмм на квадратный метр [Резниченко, Солдатова, Цихон-Луканина, 1976], тогда как биомасса организмов в естественных мягких грунтах этого же участка дна измеряется в миллиграммах на квадратный метр.

Таким образом, биотический техногенез объединяет несколько различных процессов. Их совокупным результатом стало принципиальное изменение состава организмов на некоторых участках биосферы – формирование технобиоты [Суздалева, Безносков, Горюнова, 2015].

Реальные пути решения проблемы

Не вызывает сомнений, что в обозримом будущем неизбежно расширение масштабов и увеличение разнообразия форм техногенеза Мирового океана. Остановить этот процесс какими-то запретительными мерами и тем более повернуть вспять нереально. Вместе с тем можно предотвратить или минимизировать негативные последствия техногенеза Мирового океана путем превращения спонтанно возникающих неуправляемых природно-технических систем в управляемые. Очевидно, что практическое решение проблем в этой области будет не менее разнообразным, чем направления техногенной трансформации морской среды. Описать даже уже существующие наработки в данной области в рамках журнальной статьи невозможно. Поэтому мы ограничимся изложением общих принципов проектирования управляемых природно-технических систем, позволяющих выработать

единый подход к осуществлению этой деятельности, и на их основе объединить отдельные разрозненные попытки решения частных проблем в рамках крупномасштабных проектов, направленных на сохранение благоприятных экологических условий для развития всего человечества.

Создание управляемых природно-технических систем и их последующее скоординированное развитие включает ряд последовательно выполняемых этапов [Суздалева, 2016]:

1. *Выбор экологического регулятора* природно-технической системы, который может быть:

– индивидуальным (например, устройство искусственного даунвеллинга, закачивающее богатые кислородом поверхностные воды в придонную застойную зону, образовавшуюся в результате изменения рельефа морского дна);

– групповым, состоящим из нескольких функционально связанных объектов, которые могут играть роль самостоятельных экологических регуляторов или объединяться, составляя единый регулятор (например, система искусственных рифов, корректирующих гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режим прибрежной акватории);

– комплексным, при котором управление природно-технической системой происходит в результате скорректированной работы объектов, которые между собой функционально не связаны (примером может служить совокупность искусственных островов различного предназначения, снабженных системами для очистки морских вод и изъятия из них мусора).

2. *Определение параметров* управляемой природно-технической системы – границ системы и функций, выполняемых ее регулятором. Границей системы является черта, за пределами которой регулятор не способен оказывать значимого воздействия на условия морской среды. Точно установить границы, как правило, невозможно. Во многих случаях они могут изменяться, например, под влиянием гидрометеорологических условий. Поэтому при

определении границ в зону воздействия управляемых природно-технических систем следует включать только те участки, в которых регулятор с высокой долей вероятности способен: – оперативно предотвращать развитие негативных процессов и явлений, создающих угрозу ухудшения экологических условий, т.е. выполнять природоохранную функцию;

– обеспечивать защиту от воздействия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Эту задачу регулятора можно обозначить термином «средозащитная функция».

3. *Субъективизация элементов* управляемой природно-технической системы – установление круга юридических лиц, заинтересованных в сохранении благоприятной ситуации, обеспечиваемой работой экологического регулятора. Для их обозначения в современной научной литературе используется термин «стейкхолдеры». Ими, в частности, могут являться и правительства отдельных стран.

4. *Формирование административной структуры* управляемой природно-технической системы, т.е. установление официальных (договорных) взаимоотношений между организацией (страной), обеспечивающей работу ее регулятора, и стейкхолдерами.

5. *Координация работы* создаваемой природно-технической системы с аналогичными системами на основе принципа «восходящего проектирования» (*bottom-up approach*). Координация заключается в постепенном иерархическом объединении относительно небольших систем в более крупные, способные на основе скоординированной работы решать более масштабные проблемы. Для этого необходимо при проектировании локальных систем предусматривать возможность их функционального объединения в региональные и межрегиональные системы. Например, различные гидротехнические сооружения, способные регулировать гидродинамический режим на ограниченном участке акватории, при скоординированном режиме работы могут создать устойчивую систему морских течений, обеспечивающих контролируемо-благоприятные

экологические условия в обширном регионе. Гипотетическим финалом этой деятельности должно стать образование глобальной системы управления состоянием Мирового океана, т.е., по сути, управления биосферой.

Выводы

1. В условиях существующего роста народонаселения планеты и объема мирового производства, расширение и углубление техногенеза Мирового океана неизбежно. Единственным реальным путем предотвращения развития катастрофических последствий этого процесса является разработка методов управления им на основе создания иерархии управляемых природно-технических систем.
2. Изучение различных аспектов техногенеза Мирового океана и разработка методов управления ими должны предшествовать

Литература

Безносков В.Н. Экологические последствия нарушения стратификации моря. Дисс. ... докт. биол. наук. М., 2000а. 449 с.

Безносков В.Н. Крупномасштабные нарушения гидрологической структуры океана, биотические кризисы и их фиксация в геологической летописи // Стратиграфия, геологическая корреляция. 2000б. Т. 8. № 3. С. 3-13.

Виноградов М.Е. Современные тенденции изменения экосистемы Черного моря // Вестник АН СССР. 1987. № 10. С. 56-67.

Гулин М.Б. К актуализации исследований перманентного накопления донных отложений из аллохтонных и автохтонных взвесей в пресноводных и морских водоемах // Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции «Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» (г. Петрозаводск, 06-11 июля 2015 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. Т. 1. С. 407-413.

Кабанова Ю.Г., Доманов М.М. Некоторые особенности удобрения морских вод для марикультуры // Экология фауны и флоры прибрежных

значимому проявлению их негативных экологических и экономических последствий.

3. Разработка эффективных методов управления процессом техногенеза Мирового океана может быть осуществлена только на основе креативной парадигмы решения экологических проблем, подразумевающей активную деятельность по корректированию природных процессов. Выполнение этой задачи подразумевает развитие междисциплинарного научно-технического сотрудничества и синкретический подход к осмыслению и решению проблем.

4. Управление техногенезом Мирового океана требует создание международных правовых основ этой деятельности и консолидацию усилий различных стран по комплексному решению экологических, экономических и геополитических проблем.

References

Alcérrec-Huerta J.C., Encarnacion J.I., Ordoñez-Sánchez S., Callejas-Jiménez M., Barroso G.G.D., Allmark M., Mariño-Tapia I., Casarín R.S., O'Doherty T., Johnstone C., Carrillo L. Energy Yield Assessment from Ocean Currents in the Insular Shelf of Cozumel Island. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2019, vol. 7, iss. 5, p. 147. DOI: [10.3390/jmse7050147](https://doi.org/10.3390/jmse7050147)

Beznosov V.N. *Ekologicheskie posledstviya narusheniya stratifikatsii morya. Diss. dokt. biol. nauk [Environmental consequences of violations sea stratification. Dr. Sci. (Biology) Thesis]*. Moscow, 2000a. 449 p. (In Russian).

Beznosov V.N. *Krupnomasshtabnye narusheniya gidrologicheskoi struktury okeana, bioticheskie krizisy i ikh fiksatsiya v geologicheskoi letopisi [Large-scale violations of the hydrological structure of the ocean, biotic crisis and fix them in the fossil record]*. *Stratigrafiya, geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy, Geological Correlation]*, 2000b, t. 8. no. 3, pp. 3-13. (In Russian).

Chee S.Y., Othman A.G., Sim Y.K., Adam A.N.M., Firth L.B. Land reclamation and artificial islands: Walking the tightrope between development and conservation. *Global Ecology and Conservation*,

- зон океана / Отв. ред. А.П. Кузнецов. М.: Изд. ИО АН СССР, 1985. С. 93-100.
- Найдин Д.П., Похилайнен В.П., Кац Ю.И., Крашилов Ю.А. Меловой период. Палеогеография и палеоокеанология. М.: Наука, 1986. 262 с.
- Резниченко О.Г. Классификация и пространственно-масштабная характеристика биотопов обрастания // Биология моря. 1978. № 4. С. 3-15.
- Резниченко О.Г., Солдатова И.Н., Цихон-Луканина Е.А. Обрастание в мировом океане. М.: Изд. ВИНТИ, 1976. 120 с.
- Суздаева А.Л. Создание управляемых природно-технических систем. М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2016. 160 с.
- Суздаева А.Л. Экологическая глобалистика: востребованность, задачи и основные направления // Естественные и технические науки. 2019. № 9 (135). С. 69-70.
- Суздаева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В. Биологические инвазии в природно-технических системах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 3. С. 34-39.
- Суздаева А.Л., Горюнова С.В. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2014. 456 с.
- Суздаева А.Л., Горюнова С.В. Биотехносфера: экология и безопасность жизнедеятельности. М.: МГПУ, 2017. 240 с.
- Alcérreca-Huerta J.C., Encarnacion J.I., Ordoñez-Sánchez S., Callejas-Jiménez M., Barroso G.G.D., Allmark M., Mariño-Tapia I., Casarín R.S., O'Doherty T., Johnstone C., Carrillo L. Energy Yield Assessment from Ocean Currents in the Insular Shelf of Cozumel Island // Journal of Marine Science and Engineering. 2019. Vol. 7. Iss. 5. P. 147. DOI: [10.3390/jmse7050147](https://doi.org/10.3390/jmse7050147)
- Chee S.Y., Othman A.G., Sim Y.K., Adam A.N.M., Firth L.B. Land reclamation and artificial islands: Walking the tightrope between development and conservation // Global Ecology and Conservation. 2017. Vol. 12. P. 80-95. DOI: [10.1016/j.gecco.2017.08.005](https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.005)
- 2017, vol. 12, pp. 80-95. DOI: [10.1016/j.gecco.2017.08.005](https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.005)
- Givi A.A., Karimi S., Sadat M., Zoghi M., Karimi S., Foroughi N., Malekmohamadi B. Ecological risk assessment of construct artificial islands by fault tree analysis method in the Persian gulf. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2015, vol. 3, iss. 3, pp. 139-146. DOI: [10.11648/j.ijema.20150303.15](https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150303.15)
- Gulin M.B. К актуализации исследования постоянного накопления донных отложений из allokhtonnykh i avtokhtonnykh vzvesei v presnovodnykh i morskikh vodoemakh [By updating the study of permanent accumulation of sediments of allochthonous and autochthonous sediment in freshwater and marine waters]. *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii «Nauchnoe obespechenie realizatsii «Vodnoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda» (g. Petrozavodsk, 06-11 iyulya 2015) [Collection of scientific works of the All-Russian scientific conference "Scientific support for implementation of the" Water Strategy of the Russian Federation for the period up to 2020 "(Petrozavodsk, 06-11 July 2015)].* Petrozavodsk: Publ. of Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2015, t. 1, pp. 407-413. (In Russian).
- Kabanova Yu.G., Domanov M.M. Nekotorye osobennosti udobreniya morskikh vod dlya marikul'tury [Some features of sea water fertilizer for mariculture]. In Kuznetsov A.P. (ed.) *Ekologiya fauny i flory pribrezhnykh zon okeana [Ecology of the ocean coastol zone benthic fauna and flora]*. Moscow, Publ of IO AN SSSR, 1985, pp. 93-100. (In Russian).
- Lin T., Fan W., Xiao C., Yao Z., Zhang Z., Zhao R., Pan Y., Chen Y. Energy Management and Operational Planning of an Ecological Engineering for Carbon Sequestration in Coastal Mariculture Environments in China. *Sustainability*, 2019, vol. 11, iss. 11, pp. 3162. DOI: [10.3390/su11113162](https://doi.org/10.3390/su11113162)
- Liu C.C.K. Ocean thermal energy conversion and open ocean mariculture: The prospect of Mainland-Taiwan collaborative research and development. *Sustainable Environment Research*, 2018, vol. 28, iss. 6, pp. 267-273. DOI: [10.1016/j.serj.2018.06.002](https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.06.002)

- Givi A.A., Karimi S., Sadat M., Zoghi M., Karimi S., Foroughi N., Malekmohamadi B. Ecological risk assessment of construct artificial islands by fault tree analysis method in the Persian gulf // *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. 2015. Vol. 3. Iss. 3. P. 139-146. DOI: [10.11648/j.ijema.20150303.15](https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150303.15)
- Lin T., Fan W., Xiao C., Yao Z., Zhang Z., Zhao R., Pan Y., Chen Y. Energy Management and Operational Planning of an Ecological Engineering for Carbon Sequestration in Coastal Mariculture Environments in China // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. Iss. 11. P. 3162. DOI: [10.3390/su11113162](https://doi.org/10.3390/su11113162)
- Liu C.C.K. Ocean thermal energy conversion and open ocean mariculture: The prospect of Mainland-Taiwan collaborative research and development // *Sustainable Environment Research*. 2018. Vol. 28. Iss. 6. P. 267-273. DOI: [10.1016/j.serj.2018.06.002](https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.06.002)
- Sol D., Weis J.S. Highlights and Insights from “Biological Invasions and Animal Behaviour” // *Aquatic Invasions*. 2019. Vol. 14. Iss. 3. P. 551-565. DOI: [10.3391/ai.2019.14.3.12](https://doi.org/10.3391/ai.2019.14.3.12)
- Xu Y., Hoitink A.J.F., Zheng J., Kästner K., Zhan W. Analytical model captures intratidal variation in salinity in a convergent, well-mixed estuary // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2019. Vol. 23. Iss. 10. P. 4309-4322. DOI: [10.5194/hess-23-4309-2019](https://doi.org/10.5194/hess-23-4309-2019)
- Naidin D.P., Pokhialainen V.P., Kats Yu.I., Krasilov Yu.A. *Melovoi period. Paleogeografiya i paleookeanologiya [Cretaceous period. Paleogeography and paleookeanologiya]*. Moscow, Publ. Nauka, 1986. 262 p. (In Russian).
- Reznichenko O.G. Klassifikatsiya i prostanstvenno-masshtabnaya kharakteristika biotopov obrastaniya [Classification and space-scale characterization of habitats fouling]. *Biologiya morya [Russian Journal of Marine Biology]*, 1978, no. 4, pp. 3-15. (In Russian).
- Reznichenko O.G., Soldatova I.N., Tsikhon-Lukina E.A. *Obrastanie v mirovom okeane [Fouling in the oceans]*. Moscow, Publ. VINITI, 1976. 120 p. (In Russian).
- Sol D., Weis J.S. Highlights and Insights from “Biological Invasions and Animal Behaviour”. *Aquatic Invasions*, 2019, vol. 14, iss. 3, pp. 551-565. DOI: [10.3391/ai.2019.14.3.12](https://doi.org/10.3391/ai.2019.14.3.12)
- Suzdaleva A.L. *Sozdanie upravlyaemykh prirodno-tekhnicheskikh system [Creation of managed natural-technical systems]*. Moscow, Publ. ID ENERGIYA, 2016. 160 p. (In Russian; abstract in English).
- Suzdaleva A.L. Ekologicheskaya globalistika: vstrebovannost', zadachi i osnovnye napravleniya [Ecological globalistics: demand, tasks and main directions]. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences]*, 2019, no.9 (135), pp. 69-70. (In Russian; abstract in English).
- Suzdaleva A.L., Beznosov V.N., Goryunova S.V. Biologicheskie invazii v prirodno-tekhnicheskikh sistemakh [Biological invasions in natural-technical systems] *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [RUDN Journal of Ecology and Life Safety]*, 2015, no. 3, pp. 34-39. (In Russian; abstract in English).
- Suzdaleva A.L., Goryunova S.V. *Tekhnogenez i degradatsiya poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov [Technogenesis and degradation of surface water objects]*. Moscow, Publ. ID ENERGIYA, 2014. 456 p. (In Russian; abstract in English).

Suzdaleva A.L., Goryunova S.V. *Biotekhnosfera: ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Biotechnosphere: ecology and life safety]. Moscow, Publ. MGPU, 2017. 240 p. (In Russian).

Vinogradov M.E. *Sovremennye tendentsii izmeneniya ekosistemy Chernogo morya* [Modern trends in the ecosystem of the Black Sea Changes]. *Vestnik AN SSSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR], 1987, no 10, pp. 56-67. (In Russian).

Xu Y., Hoitink A.J.F., Zheng J., Kästner K., Zhan W. Analytical model captures intratidal variation in salinity in a convergent, well-mixed estuary. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2019, vol. 23, iss. 10, pp. 4309-4322.

DOI: [10.5194/hess-23-4309-2019](https://doi.org/10.5194/hess-23-4309-2019)