

УДК 551.46

Максимова М.П.

Московский государственный областной университет

**ОКЕАНОЛОГИЯ – НАУКА СИСТЕМНАЯ
(ПАРАДИГМА, КОНЦЕПЦИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА
ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ КАК ЕДИНОГО ЦЕЛОГО)**

M. Maximova

Moscow State Regional University

**OCEANOLOGY AS A SYSTEMATIC SCIENCE
(PARADIGM, CONCEPTION, METHODOLOGY AND METHOD OF INTEGRAL
EVALUATION OF FUNCTIONING OF SEA ECOSYSTEM AS A WHOLE)**

Аннотация. В статье представлен концептуальный подход к системным исследованиям морей и океанов как единого целого на функциональном уровне. На основе разработанной методологии поставлена и решена проблема интегральной оценки функционирования морских экосистем на гидробиогеохимическом уровне, посредством постановки конкретных задач и методик их последовательного решения, представляющих авторское «ноу-хау». Методология и соответствующая ей методика оценки функционирования динамических водных экосистем базируется на принципиальной схеме функционирования морских экосистем, включающей взаимосвязанные экзогенные и эндогенные факторы и процессы; на интегральном свертывании большого массива исходной информации экосистемных показателей (физико-географических, морфометрических, гидрологических, гидрохимических, геохимических, гидробиологических, биохимических и комплексных – всего более 50). Системный анализ позволил выделить некоторое количество группировок показателей, как структурных, так и функциональных, достаточно хорошо описывающих состояние всей экосистемы. Результатом стала комплексная система интегральных показателей функционирования морских экосистем на гидробиогеохимическом уровне. По авторской методике произведена интегральная оценка функционирования экосистем разнотипных морей (Белого, Балтийского, Азовского, Каспийского) на гидробиогеохимическом уровне, включая оценку антропогенного (техногенного) воздействия на моря, были установлены ключевые факторы, управляющие экосистемами указанных морей.

Ключевые слова: концепция, методология, методика, экосистема, океан, сравнительная гидрохимия моря, интегральная гидробиогеохимическая оценка.

Abstract. We present a conceptual approach to systematic research of seas and oceans as a whole on a functional level. Based on the methodology developed, we solve the problem of integral evaluation of functioning of sea ecosystems on a hydrobiogeochemical level by setting specific problems and determining the methods of their consecutive solution (author's know-how). Methodology and the methods of evaluation of functioning of dynamic water ecosystems are based on a principal scheme of functioning of sea ecosystem, which includes interrelated exogenous and endogenous factors and processes, and on integral compression of a great information array of ecosystem indexes (more than 50) including physic-geographical, morphometric, hydrological, hydro-chemical, geochemical, hydro-biological, biochemical and complex). Their system analysis allowed us to detect a certain amount of both structural and functional groupings, which describe well enough the conditions of the entire system. As a result we created a complex system of the integral indices of functioning of sea ecosystems on a hydro-biogeochemical level. The elaborated methods have been used for integral evaluation of functioning of multitype sea ecosystems (the White sea, the Baltic sea, the Azov sea, the Caspian sea) on hydro-biogeochemical level, including the estimation of antropogenic (technogeneous) influence on the sea. The key factors controlling the ecosystems of the above-mentioned seas are established.

Key words: conception, methodology, methods, sea ecosystems, functioning, integral, hydro-biogeochemical evaluation.

Океан – колыбель жизни
Вернадский В.И.
(«Философские мысли натуралиста» [2])

Для XX в. было характерно бурное развитие науки, параллельные процессы дифференциации и интеграции научных дисциплин, расширение междисциплинарного поля исследований, стремительное возникновение новых дисциплин [4]. В настоящее время приоритет отдан системным исследованиям, концепция которых наиболее актуальна в сфере географических наук, особенно в океанологии, трактуемой как совокупность наук о физических, химических, геологических и биологических процессах в Мировом океане [1, с. 38]. Рубеж XX-XXI вв. знаменуется как нарастающей дифференциацией всей системы географических наук, так и усилением потребности в научном синтезе. Почти столетие назад В.П. Семенов-Тянь-Шанский (1928 г.) назвал географию наукой синтетической (наравне с философией), подчеркивая ее срединное положение между науками физико-математическими, с одной стороны, и науками гуманитарными – с другой. В настоящее время также географию часто определяют как науку «синтезирующую», «синтетическую», «интегрально-синтетическую».

Вследствие активного процесса дифференциации научного знания в чрезвычайно обширной и многоаспектной предметной области географии количество научных географических дисциплин уже перевалило за сотню. Каждая наука есть ступенька в иерархической структуре единого знания, подсистема большей системы, и это в особенности относится к наукам, близким по объекту исследований (так называемые смежные науки). Таким образом, ускорение дифференциации географии усиливает потребность в научном синтезе, которая обуславливается также конфликтом человечества со средой обитания [5]. В настоящее время в системе географических наук разработан ряд классификаций, комплексных схем и систем связи географии с другими науками, разных отделов географии между собой. Все это представляет из-

вестный интерес, имея свои достоинства и недостатки. Так например, классификация географических наук Л.С. Абрамова рассматривает географию как сложную многофункциональную систему, которая развивается по своим внутренним законам, имеет функционально объективную схему самой системы. В данной схеме выделяются роль и значение отдельных подразделений системы географических наук, по преимуществу ответственных за эвристическую (исследовательскую) мировоззренческую, конструктивную и информационную функции. В зону физико-географических наук схемы включена океанология [5].

В Москве в 2010-2013 гг. состоялось несколько международных междисциплинарных научных конференций под общим девизом «Этика и наука будущего», не имеющих аналогов по широкому кругу представленных ученых самого разного профиля (физиков, математиков, химиков, биологов, медиков, геологов, техников, и гуманитариев – философов, филологов, историков, экономистов, психологов, педагогов и др.). Их объединила единая проблема научного эволюционизма, синтеза идей и наук. Эволюционизм наук отражен в исторической последовательности развития: ученые энциклопедисты, дифференциация наук, комплексность, открытия на грани наук и как «синтез идей и наук». Если IX конференция 2010 г. была посвящена научной парадигме образования – «Парадигма знаний и образования», то в тематике конференции 2012 г. («Синтез идей и наук») показательны доклады: И.Ф. Малова «Современная наука и синтез знаний», Л.М. Гиндилис и Н.Л. Гиндилис «Синтез знания», О.П. Иванова и М.А. Винник «Междисциплинарность – основа синтеза наук» и др. Особый интерес представляет тематика конференции 2013 г. – «Научный эволюционизм. Взгляд в будущее».

Наступление XXI в. характеризует переломный этап в смене научной парадигмы в естествознании. Основой этого процесса являются фундаментальные открытия, сделанные в разных областях науки. «Особенностью современного научного прогресса является то, что он развивается **на интегративной**

основе: происходит синтез знаний (теорий, принципов, методов, передовых достижений) различных научных областей и дисциплин, их взаимопроникновение и создание на этой основе комплексных, мультидисциплинарных **метанаук**, аккумулирующих в себе мировые научные достижения» – утверждает доктор биологических наук А.П. Дубров [6]. Говоря о смене парадигм в науке, он же отмечает: «Считается, что ее смена в естествознании, определяющей все наше мировоззрение, происходит в результате перманентных больших и малых революций в науке. Но, по его мнению, это не совсем так, он считает, что при смене научной парадигмы нет резких перемен в установившихся научных взглядах, теориях, законах, а происходит медленное накопление **достоверных знаний, сходных по своей новизне в самых разных областях науки, указывающих на необходимость пересмотра** ряда фундаментальных научных положений. В свою очередь это приводит к тому, что по мере роста значения идей необходимость их взаимоотношения с другими областями знания становится все более очевидной. Смена парадигмы происходит **эволюционно** и заканчивается коренным преобразованием научного взгляда на устройство мира в целом».

Из вышесказанного очевидна актуальность системных исследований таких сложных систем, как моря, океаны, Мировой океан. Океанология по своей природе – наука системная и является естественным синтезатором наук. Моря поэтому следует рассматривать с экосистемных позиций, как экосистему в ее целостности, функционально связанную со смежными системами (атмосфера, материка), а экосистему моря – как единство живой и неживой природы. При экосистемных исследованиях морей составление или расчеты баланса вещества (органического, биогенных элементов и пр.) и энергии (включающего процессы обмена веществом и энергией моря со смежными системами, совокупности организмов, населяющих водоем со средой обитания) является важнейшим этапом. С.В. Бруевич подчеркивал, что количественное изучение морей начинается с составления

баланса вещества [2]. При изучении баланса вещества и энергии как составляющей, характеризующей функционирование экосистемы моря, также необходимо исследование эндогенных (внутриводоемных) процессов на гидробиогеохимическом уровне. Особую важность представляют исследования баланса органического углерода [12; 22; 23; 25; 30] как самого технофильного элемента и сопутствующих жизненно важных элементов [11-12; 22; 24; 28; 30]. В балансовых расчетах в современный период необходимо идентифицировать антропогенную составляющую [10; 13; 18; 20; 21; 24; 27].

Автор одним из этапов в изучении морей сделал расчет (составление) баланса органического вещества (Приложение 3, табл. 1) [12; 22; 23; 25; 30] и биогенных элементов (Приложение 3, табл. 2) [11-12; 22; 24; 28; 30] как важнейших характеристик функционирования морских экосистем разнотипных морей – Белого, Балтийского, Черного, Азовского, Каспийского, Аральского. Для Белого моря был рассчитан и энергетический баланс. В балансовых расчетах учтены не только внешние «приходно-расходные» процессы со смежными системами, но и внутренние водоемные процессы (включая биотические – синтеза и деструкции органического вещества). Научный анализ баланса биогенных элементов и органического вещества в морях – Белом, Балтийском, Черном, Азовском, Каспийском, Аральском в период интенсивного антропогенного воздействия и в предшествующий период, выполненный по единой программе, позволил выявить основные статьи приходно-расходных составляющих баланса биогенных элементов и органического вещества морей (с оценкой антропогенной составляющей) в разнотипных морях. Следует отметить важнейшую роль речного стока, особенно в гумидной зоне с выраженной гидрографической сетью (Белое и Балтийское моря), а также во внутренних бессточных морях аридной зоны (Каспийское и Аральское моря) [30].

Академик А.П. Лисицин (2010 г.) подчеркнул, что «развитие современной морской науки тесно связано с появлением новых кон-

цепций, новых подходов и методов исследования морей и океанов (физика, химия, биология и геология). Океан – только часть планеты, водная система, которая находится в тесном взаимодействии с другими системами – геосферами, обменивается с ними веществом и энергией. **Океанология, таким образом, из комплексной постепенно становится системной – это часть взаимодействующих природных систем (внешних и внутренних)**». Далее он пишет, что «фактической основой должны быть исследования всех важнейших параметров, которые определяют ход процессов, в водной массе морей и океанов (физика, химия, биология, геология), но также учитывают влияние других сфер, находящихся в контакте и взаимодействии. ... Эти процессы и вовлеченное в них вещество имеют свои физические, химические и другие особенности, взаимодействуют с водной поверхностью, обмениваясь веществом и энергией» [9]. Необходимо к сказанному добавить, что очень важно также исследование эндогенных процессов взаимодействия в океане живой и неживой материи – сообщества гидробионтов, населяющих водоем со средой обитания.

Член-корр. Академии геополитических наук А.А. Кутало также занимает подобную позицию: «Мировой океан является самым емким звеном в природной системе планеты. Звеном, определяющим состояние атмосферы, гидросферы и литосферы. Океан также аккумулирует через атмосферу и водообмен с материком все последствия хозяйственной деятельности человека на Земле. Этим определяются и перспективы развития океанографии. Эффективное использование моделирования в решении проблем природных объектов предопределяет гармоничное сопряжение имеющихся возможностей географии, физики и математики, в первую очередь адекватные методологии и подходы возможностей математического моделирования. В оценках перспектив развития океанографии и гидрометеорологии естественно исходить из установившихся научных представлений о природной среде как единой системе» [8]. Остается лишь добавить к перечню «гармо-

ничного сопряжения наук» гидробиологию. Таким образом, очевидно, назрела необходимость разработки концепции, методологии и методики в океанологии, с учетом новой парадигмы науки XXI в., при возрастании параллельных процессов дифференциации и интеграции, синтеза наук и идей, и в соответствии с глубокой спецификой изучаемого объекта – морей и океанов.

Океан уникален, и не случайно выражение, что океан – колыбель жизни. Пожалуй, одна из главных особенностей океана – та, что океан по своей сути един и составляет Мировой океан (в отличие от разобщенных им материков). Все океаны – Атлантический, Индийский, Тихий, Северный Ледовитый, Южный (в настоящее время это название упразднено, и теперь он составляет лишь южные сектора Атлантического, Индийского, Тихого океанов), сообщаются между собой и производят непосредственный обмен веществом и энергией. Мировой океан – непрерывная оболочка Земли, окружающая материки и острова и обладающая общностью солевого состава. Океан занимает площадь 361 млн. кв. км., что составляет около 70,8% земной поверхности. Вся толща вод океана подвержена влиянию приливообразующих сил Луны и Солнца [1; 35].

Специфика океанов обусловлена прежде всего наиболее выраженными системными связями живой и неживой природы (на рис.1 представлена схема экосистемных связей). Морские экосистемы характеризуются наиболее высокой природной гидробиогеохимической активностью (отличаются и более высокой способностью к саморегулированию, большей устойчивостью к антропогенным воздействиям). Специфика океанов выражается в большой гидродинамической активности, их взаимосвязанности или водообмене (Мировой океан), и как следствие – обмене веществом и энергией. Как пример: течение Гольфстрим переносит воды Атлантического океана на север – в Арктику; Циркумполярное течение кольцом охватывает Антарктиду, перемещая свои воды от Атлантического океана через Индийский в Тихий. Гидродинамическая активность проявляется и в активном

региональном обмене водных масс в пределах отдельно взятых океанов и морей – водообмене за счет течений, ветрового и конвекционного перемешивания, приливно-отливных течений, опускания и подъема водных масс (апвеллинги).

Океан – естественный *синтезатор (интегратор)* природных процессов на гидробиогеохимическом уровне. И как объект изучения, – естественный интегратор этих наук. Океанология включает не только изучение процессов в сфере отдельно взятых наук: физики, химии, биологии, геологии и т.д., но и обмен веществом и энергией со смежными сферами Земли (атмосфера, материк), а также и организмов со средой обитания. Океан является интегратором антропогенных воздействий, являясь естественным приемником продуктов техногенеза (посредством материкового стока и из атмосферы). Океан (в силу своей специфики) – синтезатор не только наук, но и идей, возникающих на синтезе наук в океанологии при решении сложных *Проблем*, порождающих новые *Идеи*. Е.М. Егорова пишет в книге «О близости Высших миров или На пути к новой науке» о значении идеи в научных исследованиях: «Проблема переосмысления значения экспериментального факта уже неоднократно обсуждалась в научной литературе. Одно лишь экспериментирование не способно выявить причину (причины) явления. Воспринятая информация претворяется в идее (познания) действительности. Гармоничный союз идеи и эксперимента необходим для прогресса научного знания. В этом союзе идея есть элемент ведущий. Идеи могут предшествовать научным исследованиям, направлять их, способствовать их реализации, таким образом, могут возникать и новые направления в той или иной науке. Можно сказать, что новая наука – это прекрасные идеи, воплощенные в эксперименты» [7]. Разрабатываются более объемные подходы, качественно новые концепции в различных областях науки.

В океанологии актуальны не просто экосистемные исследования морей и океанов и протекающих в них процессов, но чрез-

вычайно важно изучение и количественная оценка на интегральном уровне функционирования морских экосистем в целом. Таким образом, на современном уровне развития океанологии как науки потребовалась разработка новой *Концепции, Методологии и Методов решения Проблемы*, а именно *Интегральная количественная оценка функционирования морских экосистем как единого целого на гидробиогеохимическом уровне* [17; 26; 30]. Подходы к решению вышеуказанной проблемы выполнялось последовательно, поэтапно: на основе многолетних экосистемных исследований автором морей и океанов, включающих целый ряд разработок в этой области – методических, экспедиционных, экспериментальных и теоретических на системном гидробиогеохимическом уровне. Исследования включали широкий спектр системно взаимосвязанных параметров – физико-географических, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических, биохимических, почвенно-геологических. Использовались материалы собственных исследований автора (особая роль принадлежит данным по Белому морю, являвшемуся полигоном в период начала 60-х - начала 90-х гг.) [15-16; 31; 34; 36], специализированных баз данных первичных материалов, литературные источники. Первичные материалы подвергались математической обработке с использованием корреляционного, регрессионного и факторного анализов, а также математического моделирования.

В итоге, на основе многолетних экосистемных исследований морей и океанов, были выявлены основные *Проблемы* океанологии и разработаны *Концепция – Методология – Методика* в целом. Методы решения последовательных конкретных задач соединены в «*Методике количественной интегральной оценки функционирования морских экосистем как единого целого, на гидробиогеохимическом уровне*», которую можно отнести к категории «ноу-хау» В основе этой методики лежит схема взаимосвязей факторов и параметров, определяющих функционирование экосистемы водоемов (см. рис.) [17; 26].

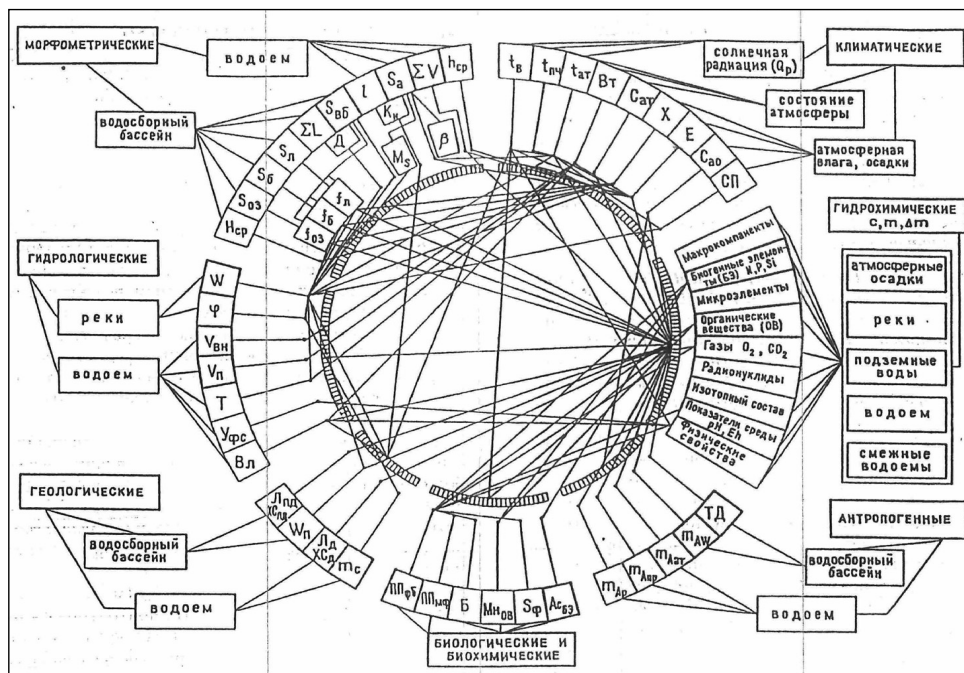


Рис. Схема взаимосвязей факторов и параметров, влияющих на функционирование экосистем водоемов.

Условные обозначения:

1. Морфометрические характеристики
 - 1.1. Площадь водосборного бассейна $S_{вб}$ ($км^2$).
 - 1.2. Средняя высота водосбора $H_{ср}$ (м)
 - 1.3. Коэффициенты лесистости $f_{л}$, заболоченности $f_{з}$, озерности $f_{оз}$, равные отношению площадей лесов $S_{л}$, болот $S_{б}$ и озер $S_{оз}$ к $S_{вб}$
 - 1.4. Густота речной сети $D = \Sigma L / S_{вб}$ ($м^{-1}$)
 - 1.5. Площадь акватории $S_{ак}$ ($км^2$)
 - 1.6. Извилистость береговой линии $K_n = 1 / (2\pi S_n)^{0.5}$, где l – длина береговой линии (км) к длине окружности круга, имеющего площадь, равную S_n
 - 1.7. Объем водной массы водоема ΣV ($км^3$)
 - 1.8. Средняя глубина водоема $h_{ср}$ (м) и батиметрическая кривая
 - 1.9. Показатель удельной поверхности водоема $\beta = S_n / \Sigma V$ ($км^{-1}$)
 - 1.10. Удельный водосбор (фактор окружения среды) $M_n = S_n / S_{вб}$
2. Климатические характеристики
 - 2.1. Количество атмосферных осадков на водосборе X (мм)
 - 2.2. Испарение E (мм)
 - 2.3. Химический состав атмосферных осадков $C_{ос}$, воздуха $C_{ат}$
 - 2.4. Температурный режим атмосферы – $t_{ат}$, почв – $t_{пч}$ и поверхностных вод – t_n
 - 2.5. Состояние и продолжительность снежного покрова (СП)
 - 2.6. Скорость и направление ветра ($Vт$)
 - 2.7. Количество солнечной радиации (Q_p)
3. Гидрологические характеристики
 - 3.1. Объем речного стока в водоем за год ΔW ($км^3/год$)
 - 3.2. Норма стока W_0 – среднее значение за многолетний период
 - 3.3. Модульный коэффициент $k = W_i / W_0$
 - 3.4. Степень зарегулированности речного стока f
 - 3.5. Поступление воды из смежного водоема с компенсационным течением $V_{см}$ ($км^3$)
 - 3.6. Вынос воды в смежный водоем со стоковым течением V , ($км^3$)
 - 3.7. Коэффициент водообмена со смежными морями: $\alpha_n = \Delta V / \Sigma V$ ($год^{-1}$), где ΔV ($км^3/год$) – объем воды, поступающий в водоем за год
 - 3.8. Показатель условного водообмена $K_n = V_{см} / \Sigma V$ ($год^{-1}$), где $V_{см}$ – объем стока из водоема за год. Обратное соотношение $\Sigma \Delta V / V_{см}$ – период водообмена.
 - 3.9. Структура и скорость течений T м/сек.
 - 3.10. Устойчивость вод фотического слоя (V_f) – функция от градиентов плотности
 - 3.11. Волнение моря (Вл) в баллах
 - 3.12. Объем подземного стока в водоем за год ΔW_n ($км^3/год$)
4. Гидрохимические характеристики
 - 4.1. Концентрация компонентов в воде C (мг/л; мкг/л)

- 4.2. Суммарная масса компонентов в водоеме m (т)
- 4.3. Приход / расход компонентов Δ (т/год)

Группы компонентов: макрокомпоненты; биогенные элементы – (БЭ): валовые – БЭ_в, растворенные – БЭ_р, взвешенные – БЭ_{вз}, минеральные и органические; микроэлементы, в том числе тяжелые металлы; органические вещества – ОВ. аллохтонные – ОВ_{ал}, автохтонные – ОВ_{ав}, суммарная характеристика – $C_{орг}$, функциональные и групповые характеристики, индивидуальные вещества; растворенные газы, радиоактивные элементы естественные и техногенные, изотопный состав, рН, Eh, свободные радикалы.

4.4. Физические характеристики: температура, цветность, мутность, коэффициент светопрозрачности, плотность, электропроводность и др.

5. Геологические характеристики

- 5.1. Литолого-петрографический – ЛП_{пд} и химический – ХП_{пд} состав пород и почв водосборного бассейна
- 5.2. Подземный сток W_n ($км^3$) в реки и моря
- 5.3. Химический состав подземных вод, разгружающихся непосредственно в моря $X_{пв}$

5.4. Литология L_n и химический состав X_n донных отложений

6. Биологические и биохимические характеристики

- 6.1. Первичная продукция фитопланктона $ПП_{фп}$, мг $C_{орг} / м^2$ в год. Или мг $C_{орг} / м^3$ в год. Или тонн/м² в год
 - 6.2. Первичная продукция макрофитов $ПП_{мф}$ (в тех же единицах)
 - 6.3. Бактериальная первичная продукция $ПП_b$
 - 6.4. Биомасса B в единице объема воды, или на единицу площади, или в водоеме в целом
 - 6.5. Ассимиляция биогенных элементов фитопланктоном $AC_{ос}$ в день или год
 - 6.6. Минерализация (бактериальная деструкция) органического вещества $MH_{ов}$ тонн в год
 - 6.7. Площадь совокушной поверхности фитопланктона $S_{ф}$ $км^2$.
- #### 7. Антропогенные характеристики
- 7.1. Техногенное геохимическое давление ТД – количество вещества, выходящего из техногенных потоков в природные в пределах водосборного бассейна
 - 7.2. Антропогенный химический сток $m_{ан}$ (тонн в год) – количество вещества антропогенного генезиса, поступающее в водоем с речным стоком
 - 7.3. Атмосферное (воздушное) загрязнение акватории $m_{ат}$ – количество вещества антропогенного генезиса, поступающее непосредственно на акваторию из атмосферы
 - 7.4. Загрязнение акватории $m_{лп}$ – антропогенного генезиса, поступающее непосредственно в водоем с сточными водами при разработке морских месторождений полезных ископаемых, при захоронении отходов в моря и т.д.
 - 7.5. Органическое вещество, изымающееся морским промыслом рыбы и другие организмы $m_{ар}$ (тонн в год)

Методология

Оценка состояния и функционирования морских экосистем, их изменчивости под воздействием природных и антропогенных факторов должна базироваться на принципах единого подхода. Важность разработки методологии проблемы на экосистемном уровне неоднократно отмечалась, в том числе на международном уровне конференций Международного консультативного комитета по защите морей (ACOPS) и др. Моря необходимо рассматривать прежде всего как сложные, открытые, динамические гидробиогеохимические системы, эволюционно сбалансированные на определенном природном квазистабильном уровне. Функционирование экосистемы морей – обмен веществом и энергией за счет экзогенных процессов со смежными системами (атмосферой, материком, смежными морями) и эндогенных (внутриводоемных) процессов – с донными отложениями и сообществом организмов, населяющих водоем, со средой обитания в процессе их жизнедеятельности.

В современный период моря подвергаются все более возрастающему антропогенному воздействию. Техногенные продукты поступают в природные потоки, а затем с материка – в моря, в основном посредством речного стока (при этом частично иммобилизуются на водосборной площади рек), а также с плоскостным стоком и непосредственно – путем прямого сброса в моря [10; 13-14; 18-20; 24; 27; 34; 37]. Отсюда следует необходимость в стоке рек в моря идентифицировать антропогенную составляющую химических веществ стока, включающего также природные аналоги. Методики расчета этой составляющей разрабатывались последовательно, начиная с биогенных элементов [18; 21], ионного состава [10; 19-20], тяжелых металлов [33]. Имеется обобщенная методика идентификации антропогенной составляющей химического речного стока [13]. Расчеты антропогенной составляющей стока крупных рек, впадающих в моря Северного Ледовитого океана (омывающих берега России), а также

ряда крупных рек, впадающих в Балтийское, Азовское и Каспийское моря [10; 14; 21] показали, что эта составляющая может достигать величин, сопоставимых с природной частью в стоках или даже превышать его. Расчеты данного типа производились по выше упомянутой методике, разработанной автором [13], которая признана наиболее адекватной и принята Гидрохимическим институтом Гидрометеослужбы РФ.

Антропогенное воздействие приводит к нарушению гомеостаза (природной гидробиогеохимической сбалансированности морских экосистем) и биохимических циклов, особенно в замкнутых и полузамкнутых водоемах. Антропогенное воздействие выражается в основном в интенсификации потоков вещества, обусловленных техногенезом, и возрастанием биохимической активности функционирования морских экосистем (например, эвтрофикация Азовского и Балтийского морей). Прежде всего, нарушается углеродный цикл (поскольку углерод – самый технофильный элемент), а также циклы сопутствующих жизненно важных элементов (азот, фосфор и др.). При этом происходит разбалансирование продукционно-деструкционных процессов, синтеза и деструкции органического вещества. Исследование углеродного цикла при этом имеет первостепенную важность.

Моря также необходимо рассматривать как единое целое с водосборной системой питающих моря рек, с условиями формирования гидрохимического состава речного стока (включающими почвенно-геологические), с сезонной и межгодовой динамикой стока, обусловленной как природными флуктуациями, так и динамикой антропогенного воздействия. Речной сток является важнейшей составляющей баланса вещества и энергии в морях [см. 15-16; 24; 30; 36].

Приблизиться к адекватной количественной оценке состояния и функционирования экосистемы морей как единого целого на гидробиогеохимическом уровне, а также изменчивости оценки под воздействием техногенеза, возможно исключительно при целевых

исследованиях экосистемных показателей и процессов, характеризующих функционирование самой экосистемы, функционально связанных и взаимно обусловленных: гидрологических, гидрохимических, геохимических, гидробиологических, биохимических. Сложность реализации системного гидро-биогеохимического подхода обусловлена недостаточной обеспеченностью материалами наблюдений (синхронного комплекса определений взаимосвязанных экосистемных показателей – гидрологических, гидрохимических, геохимических, гидробиологических, биохимических). Система экомониторинга должна определяться целесообразными методологическими установками. При экосистемном моделировании нельзя подгонять модели под имеющийся банк данных, напротив, его надо создавать для прогрессивных моделей.

Методика

В системных (экосистемных) исследованиях сложных систем важно выявление связей объекта исследования со смежными и эндогенными (внутри водоемными) системами; а также организации и закономерностей функционирования исследуемых экосистем. Поэтому важнейшим этапом решения поставленной проблемы явилась разработка функциональной схемы взаимосвязей океанической экосистемы со смежными системами и эндогенными (внутриводоемными) процессами, и последующий ее анализ. Таким образом, в основе предлагаемой методики лежит разработанная принципиальная схема функционирования экосистемы моря, включающая экзогенные и эндогенные факторы и процессы, ее определяющие (см. рис.) .

Несмотря на чрезвычайную сложность и многообразие структур и процессов, составляющих сущность экологической системы, можно выделить некоторое количество группировок, как структурных, так и функциональных, достаточно хорошо описывающих состояние всей системы. С этой целью были изучены и систематизированы базовые параметры экосистемы [32]. Сформулированы

принципы образования интегральных показателей, характеризующих интенсивность процессов, протекающих в морских экосистемах. В соответствии с ними установлены интегральные показатели функций, контролируемые экосистему моря, результирующие и объединяющие по возможности большее число первичных показателей, имеющих большее число связей с другими факторами и параметрами. Ниже выделены группы интегральных показателей (всего более 25, включая впервые разработанные и примененные автором) [30]:

– *модульные характеристики* – расчетные показатели определенного процесса массопереноса (x) в единицу времени на единицу площади акватории, либо водосборного бассейна (включая гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, геохимические характеристики);

– *удельные показатели* – характеристики, отнесенные к единице объема водной массы водоема (также включая гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, геохимические);

– *коэффициенты массообмена на границах сред* (со смежными системами – атмосферой, литосферой, гидросферой и организмами, населяющими водоем со средой обитания);

– *геохимические коэффициенты и производные от них показатели*, например, соотношение минеральных и органических форм соединений биогенных элементов (азота и фосфора), аллохтонного и автохтонного органического вещества в водах моря, в составляющих баланса и ряда других характерных показателей, характеризующих экосистему водоема;

– *эмпирические фоновые коэффициенты*, входящие в формулы для расчета антропогенной составляющей химического речного стока в моря;

– *относительные показатели интенсивности процессов* – безразмерные, выражающие соотношение различных статей баланса: коэффициент фоссилизации ОВ, эффективность техногенного геохимического давления к коэффициенту экспорта антропогенной составляющей речного стока и др.

Таким образом, суть предлагаемой методики – интегральное свертывание большого массива исходной информации взаимосвязанных физико-географических, морфометрических, гидрологических, гидрохимических, геохимических, гидробиологических, биохимических и комплексных экосистемных показателей (всего более 50), их последующий системный анализ и разработка комплексной системы интегральных показателей для адекватного отражения функционирования динамичных экосистем морей. По разработанной автором методике произведена интегральная оценка функционирования экосистем разнотипных морей на гидробио-геохимическом уровне – Белого, Балтийского, Каспийского [30] (См. приложение 3, табл. 3).

Наряду с балансом (водным, солевым, биогенных элементов и органического вещества морей), количественно характеризующим обмен веществом на границах сред, важным интегральным показателем биогеохимической активности морских экосистем являются и коэффициенты обмена экосистемы моря с окружающей средой (см. приложение 3, табл. 4) и коэффициенты обмена фитопланктона биогенными элементами со средой обитания (там же, табл. 5) [30]. Следует отметить, что, при наличии определенных наблюдений по специальной программе, можно увеличить количество интегральных показателей согласно схеме (рис.), таким образом, уточнив оценку функционирования экосистемы и антропогенного воздействия на нее (что особенно важно при прогнозировании). Например, можно дополнить ее показателями эффективности техногенного геохимического воздействия на моря (там же, табл. 6 и 7) [30].

Результаты

Расчеты баланса биогенных элементов и органического вещества в морях (Белом, Балтийском, Черном, Азовском, Каспийском, Аральском) в период интенсивного антропогенного воздействия и предшествующий период, выполненные по единой программе, позволили выявить основные статьи приход-

но-расходных составляющих баланса биогенных элементов и органического вещества морей, с оценкой антропогенной составляющей в разнотипных морях. По разработанной автором методике произведена интегральная оценка функционирования экосистем разнотипных морей на гидробиогеохимическом уровне, в том числе Белого, Балтийского и Каспийского моря, включая оценку антропогенного (техногенного) воздействия на них.

Особый интерес представляет научный анализ в сравнительном аспекте интегральных функций экосистем этих морей (с применением факторного анализа – метода главных компонентов), выявивший главные факторы, управляющие функционированием разнотипных экосистем «море» [30]. Сравнительная гидрохимия морей, по существу являющаяся новым направлением в мореведении, основана на теоретических разработках автора и большом фактическом материале гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований разнотипных морей, включая экспедиционные и экспериментальные исследования автора. Анализ в сравнительном аспекте комплексной системы интегральных показателей функционирования экосистем разнотипных морей на гидробиогеохимическом уровне и баланса биогенных элементов и органического вещества в морях (Белом, Балтийском, Черном, Азовском, Каспийском, Аральском), позволил выявить, обосновать и глубже понять как общие закономерности формирования и функционирования морских экосистем, так и специфику экосистем отдельных морей.

Изучены и установлены закономерности формирования и функционирования, а также ключевые факторы и процессы управляющие экосистемами разнотипных морей, расположенных в различных климатических зонах (гумидной, аридной), различающихся по геолого-почвенным условиям водосборного бассейна рек, морфометрическим характеристикам, гидродинамике, гидрологическому и гидрохимическому режиму, гидробиологическим показателям, биопродуктивности; глубоководных и мелководных, различных

по интенсивности водообмена со смежными морями, речному стоку, характеру стратификации водных масс и т.д.

Оценка гидробиогеохимической активности функционирования разнотипных морских экосистем позволила охарактеризовать и обосновать очень высокую геохимическую и слабую биохимическую активность функционирования экосистемы приполярного холодноводного Белого моря, отличающегося интенсивным водообменом; высокую биохимическую и относительно слабую геохимическую активность функционирования экосистемы полузакнутого северного Балтийского моря; низкую геохимическую и невысокую биохимическую активность функционирования экосистемы южного замкнутого Каспийского моря. Установлены основные факторы и процессы, определяющие гидробиогеохимическую активность функционирования экосистем разнотипных морей [30]. Водные экосистемы, характеризующиеся наибольшей природной биогеохимической активностью, отличаются и более высокой способностью к саморегулированию, большей устойчивостью к антропогенным воздействиям.

Сложность реализации системного подхода к оценке функционировании экосистем морей как единого целого на гидробиогеохимическом уровне – в недостаточной обеспеченности материалами системных исследований, особенно в периоды возрастающего антропогенного воздействия. Необходима разработка адекватной программы системного мониторинга. Вышеприведенная схема (рис.) может служить принципиальной основой для последующей разработки системного мониторинга водных объектов и для математического моделирования. Представленная статья является лишь частичным результирующим итогом автора по поставленной проблеме, а основной целью статьи являлось описание методического подхода к интегральной оценке функционирования морских экосистем на гидробиогеохимическом уровне как единого целого, который, в частности, может быть использован (в магистратуре) в качестве примера постановки

проблемы, разработки концепции, методологии и методов ее решения. Сами моря и океаны являются идеальным объектом в качестве модели экосистемных исследований, что подтверждают обобщенные автором результаты многолетних исследований по сравнительной гидрохимии морей [29-30].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Большой энциклопедический словарь. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1991. – 1456 с.
2. Бруевич С.В. Проблемы химии моря. – М: Наука, 1978. – 335 с.
3. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. – М: Наука, 1988. – 522 с.
4. Гиндилис Н.Л. Эволюция научного знания и изменение норм научной этики // Ежегодник «Дельфис»: материалы десятой международной междисциплинарной научной конф. «Этика и наука будущего». – 2011. – С. 115-120.
5. Голубчик М.М. Теория и методология географической науки / М.М. Голубчик, С.П. Евдокимов, Г.Н. Максимов и др. – М: ВЛАДОС, 2005. – 463 с.
6. Дубров А.П. О смене парадигмы естествознания в XXI веке // Ежегодник «Дельфис»: материалы десятой международной междисциплинарной научной конф. «Этика и наука будущего». – 2011. – С. 140-148.
7. Егорова Е.М. О близости Высших миров или на пути к новой науке. – М.: Пролог, 2006. – 319 с.
8. Кутало А.А. О перспективах развития океанографии // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации». – 2011. – Вып. 345. – С. 138-143.
9. Лисицин А.П. Развитие четырехмерной океанологии и создание фундаментальных основ комплексного мониторинга морских экосистем (на примере Белого моря) / Лисицин А.П., Шевченко А.П., Немировская И.А. и др. // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. – М.: Научный мир, 2010. – С. 559-597.
10. Максимова М.П. Антропогенные изменения ионного состава крупных рек Советского Союза // Водные ресурсы. – 1991. – № 5. – С. 65-69.
11. Максимова М.П. Баланс биогенных элементов Балтийского моря в период интенсивного антропогенного воздействия // Океанология. – 1982. – Т. XXII (Вып. 5). – С. 751-756.
12. Максимова М.П. Баланс биогенных элементов и органического вещества Балтийского моря // Очерки по биологической продуктивности Балтийского моря. Т. 1. – М.: Координационный центр стран-членов СЭВ, 1984. – 390 с.

13. Максимова М.П. Воздействие техногенеза на гидросферу: методика оценки антропогенного химического речного стока в моря // Вестник МГОУ (серия «Естественные науки»). – 2012. – № 2. – С. 89-96.
14. Максимова М.П. Воздействие техногенного геохимического давления на внутриматериковые моря // Водные ресурсы. – 1986. – № 5. – С.159-164.
15. Максимова М.П. Гидрохимия // Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов: гидролого-гидрохимический режим водосбора Белого моря. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 74-104.
16. Максимова М.П. Гидрохимия Белого моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Вып. 2. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – С. 8-115.
17. Максимова М.П. Интегральная оценка функционирования морских экосистем на гидро-биогеохимическом уровне: проблематика, методология и методика // Материалы IX международной научной конференции (школы) по морской геологии «Геология морей и океанов», Москва, 14-18 ноября 2011 г. Т. IV. – М.: ГЕОС, 2011. – С. 100-104.
18. Максимова М.П. Критерии антропогенного эвтрофирования и расчет антропогенной составляющей биогенного стока рек // Водные ресурсы. – 1979. – № 1. – С. 35-40.
19. Максимова М.П. Критерии диагностирования изменений ионного состава речных вод под влиянием антропогенного воздействия // Тезисы докладов 2-го международного симпозиума по геохимии природных вод. – Ростов-н/Д, 1982. – С. 144-145.
20. Максимова М.П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек // Водные ресурсы. – 1985. – № 3. – С. 71-75.
21. Максимова М.П. Методика расчета антропогенной составляющей биогенного стока рек // Вопросы методологии гидрохимических исследований в условиях антропогенного влияния. Часть 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – С. 32-33.
22. Максимова М.П. Органическое вещество, биогенные элементы и их баланс во внутриматериковых морях. – М.: ОНТИ ВНИРО, 1979. – 36 с.
23. Максимова М.П. Органическое вещество в северных морях (формирование, продукционно-деструкционные процессы, баланс) // Материалы V съезда Всесоюзного гидробиологического общества. Часть I. – Куйбышев: Ин-т экологии Волжского бассейна, 1986. – С. 19-21.
24. Максимова М.П. Особенности баланса биогенных элементов внутренних и материковых морей / М.П. Максимова, А.М. Бронфман, Д.Е. Катунин и др. // Водные ресурсы. – 1979. – № 1. – С. 23-34.
25. Максимова М.П. Особенности баланса органического вещества в водах северных и южных внутриматериковых морей Советского Союза // Труды ВНИРО. – 1973. – Т. 80 (Вып. 3. Бонитет Мирового океана). – С. 7-17.
26. Максимова М.П. Система интегральных показателей гидробиогеохимической активности функционирования морских экосистем (методические аспекты) // Материалы конф. «Современные проблемы комплексного исследования морей». – М.: ФСГМ РФ, 1995. – С. 30-31.
27. Максимова М.П. Специфика антропогенного воздействия на экосистемы морей: методология проблемы // Водные ресурсы. – 1996. – № 5. – С. 583-588.
28. Максимова М.П. Содержание биогенных элементов и баланс азота, фосфора, кремния в Белом море // Океанология. – 1978. – Т.XVIII. (Вып. 1). – С.58-63.
29. Максимова М.П. Сравнительная гидрохимия морей. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы, 1998. – 148 с. (Деп. в ВИНТИ 12. 02. 1998, № 408 - В 1998).
30. Максимова М.П. Сравнительная гидрохимия морей // Новые идеи в океанологии. Т.1. – М.: Наука, 2004. – С. 168-189.
31. Максимова М.П. Эстуарная иерархическая система Белого моря // XVI Международная школа морской геологии «Геология морей и океанов». Т. I. – М.: ГЕОС, 2005. – С. 87-89.
32. Максимова М.П., Брусиловский С.А. Базовые параметры для формирования интегральных показателей функционирования экосистем водоемов // Экологические системы и приборы. – 2000. – № 5. – С. 45-48.
33. Максимова М.П., Соколова С.А. Критерии оценки антропогенной составляющей тяжелых металлов в речном стоке // Водные ресурсы. – 1993. – Т.20 (№ 2). – С.270-272.
34. Максимова М.П., Чугайнова В.А. Гидрохимический режим прибрежной зоны Белого моря, губ и шхерных районов // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. –Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. – С. 474-501.
35. Советский энциклопедический словарь. 2-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1982. – 1632 с.
36. Maksimova M.P. Ecosystematic Hydrochemistri of the White Sea // Oceanology. – 2003. – Vol. 43 (Suppl. 1). – P. 32-62.
37. Pollution of the Seas Around the Coast of the CIS / Materials Int. Conf. –Sevastopol. – 1993. – 102 p.

Приложение 1

Структурная последовательность в научных исследованиях

- 1) постановка НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ
- 2) ПРИОРИТЕТНОСТЬ, АКТУАЛЬНОСТЬ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ.
- 3) ПАРАДИГМА
- 4) КОНЦЕПЦИЯ
- 5) МЕТОДОЛОГИЯ
- 6) МЕТОДИКА
- 7) КОНКРЕТНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Приложение 2

Краткий глоссарий, конкретизирующий трактовку понятий, используемых в статье [1]:

Проблематика (в науке) (от греч. problema – задача). Постановка масштабных исследований – адекватной теории. Сложный теоретический или практический вопрос, требующий изучения, разрешения; в объяснении каких-либо явлений, объектов, процессов и требующих адекватной теории для их решения.

Парадигма – (от греч. – paradeigma – пример, образец) – исходная концептуальная схема, модель постановки проблем и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного периода в научном сообществе. Смена парадигмы представляет собой научную революцию.

Концепция – (от лат. conceptio – понимание, система) – определенный способ понимания, трактовки каких-либо явлений; основная точка зрения, руководящая идея для их освещения; ведущий замысел; конструктивный принцип различных видов деятельности.

Методология – (от греч. methodology – методология) – учение о научной структуре, логической организации, методах и средствах деятельности. Методология науки – учение о принципах построения, формах и способах научного познания. Общая м. научного исследования.

Методика – Способ достижения какой-либо цели, решения совокупности приемов или операций (трактовка автора, дифференцированная от понятий Методология и Метод).

Метод – (от греч. – methodos) - путь исследования). Способ достижения какой-либо цели, решения конкретной задачи; совокупности приемов или операций практических или теоретических, освоен (мысленное или реальное) различных элементов объекта в единое целое (систему); синтез неразрывно связан с анализом (расчленением объекта на элементы).

Интеграция (наук) – (от лат.- integral) – понятие «интеграл» распространяется на функции многих переменных; исследуются системы; процесс сближения и связи наук, наряду с процессами их дифференциации. Понятие, означающее состояние связанности отдельных дифференцированных частей и функций системы, а также процесс, ведущий к такому состоянию.

Синтез (наук) – (от греч. synthesis- соединение). Соединение (мысленное или реальное) различных элементов объекта в единое целое (систему); синтез неразрывно связан с анализом (расчленением объекта на элементы)

Океанология – совокупность наук о физических, химических, геологических и биологических процессах в Мировом океане.

Приложение 3

Таблица 1

**Элементы баланса органического вещества внутриматериковых морей
(в млн т и % органического углерода от общего прихода за год)**

1.1. Приход органического вещества

Море	Продукция фито- планктона		Продукция макрофитов		Поступление со стоком рек		Поступление из смежных морей		Общий приход
	млн т	%	млн т	%	млн т	%	млн т	%	
Белое	1,75	26,6	0,15	2,3	2,68	40,7	2,0	30,4	6,58
Балтийское	40,0	84,0	—	-	4,50	9,4	1,6	3,4	47,64
Черное	50,0	89,8	1,20	2,1	3,45	6,2	1,05	1,9	55,70
Азовское	17,0	96,1	-	-	0,50	2,8	0,20	1,1	17,70
Каспийское	100	97,4	0,20	0,20	2,5	2,4	Нет	Нет	102,7
Аральское	0,048	3,7	0,56	42,8	0,70	53,5	Нет	Нет	1,305

1.2. Расход органического вещества

Море	Минерализуется		Вынос в смежные моря		Оседают в грунты		Изымается про- мыслом	
	млн т	%	млн т	%	млн т	%	млн т	%
Белое	2,91	44,2	3,60	54,7	0,07	1,1	0,002	0,03
Балтийское	40,11	84,2	3,50	7,3	3,90	8,2	0,135	0,28
Черное	47,95	86,1	1,75	3,1	6,0	10,8	0,0075	0,013
Азовское	16,95	95,7	0,50	2,8	0,215	1,3	0,03	0,17
Каспийское	98,48	95,9	Нет	Нет	4,15	4,0	0,07	0,07
Аральское	0,479	36,7	Нет	Нет	0,81	62,3	0,01	0,38

Примечание. По Балтийскому морю учтено также поступление ОВ за счет субмаринной разгрузки под-
земных вод - 0,0215 млн т C_{орг}, атмосферных осадков - 0,220 млн т, сброса сточных вод в море - 1,30 млн т
(соответственно от суммы годового прихода: 0,05%, 0,45%, 2,7%).

Таблица 2

Баланс биогенных элементов морей в период интенсивного антропогенного воздействия

2.1. Приход

Море	Принос реками		Из атмосферы		Субмаринная разгрузка подземных вод		Из смежных морей		Сумма за год	Сумма с учетом выноса в смежные моря
	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%		
АЗОТ										
Белое	229	18,3	10	0,80	—	—	1015	80,9	1254	372
Балтийское	508	57,7	88	10,0	21	2,4	133	15,1	880	650
Азовское	67,4	68,3	20	20,2	—	11,4	11,5		98,74 122,6**	43,44
Каспийское	450	74,1	72	11,9	85	14	0,0	0,0	607	607
Аральское	163	90,0	18,2	10,0	—	—	0,0	0,0	181,4	181,4
ФОСФОР										
Белое	8,5	11,4	—		-4,5	—	66	88,6	74,5	-4,5*
Балтийское	45,4	50,3	0,4	0,4	0,8	0,9	10	11,1	90,3	79,3
Азовское	6,48	81,2	0,6	7,5			0,9	11,3	7,98 11,1**	3,98
Каспийское	37,7	92,6	—		3,0	7,4	0,0	0,0	40,7	40,7
Аральское	70	97,9	1,5	2,1	—		0,0	0,0	71,4	71,4
КРЕМНИЙ										
Белое	370	21,9	—	—	—	—	1320	78,1	1690	300
Балтийское	800	84,2	—	—	57	6,0	93	9,8	950	502
Азовское	88,5	74,0	—	—	—	—	31,2	26,1	119,7	82,8
Каспийское	697	95,5	—	—	33	4,5	0,0	0,0	730	730
Аральское	178	100	—	—			0,0	0,0	178,3	178,3

2.2. Расход

Море	Вынос в смежные моря		Изымается промыслом		Остается в море		Отношение прихода к массе в морской воде
	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	
АЗОТ							
Белое	882	70,3	0,40	0,03	372	29,7	0,77
Балтийское	230	26,1	27	3,1	620	70,5	0,18
Азовское	55,3	56,0	6,0	6,1	37,44	37,9	0,28
Каспийское	0,0	0,0	13,2	2,2	594	97,8	0,012
Аральское	0,0	0,0	0,80	0,4	180,6	99,6	0,73
ФОСФОР							
Белое	79	99	0,06	0,1	—	0,0	0,52
Балтийское	1 1	12,2	4,5	5,0	74,8	82,8	0,13
Азовское	4,0	50,1	1,0	12,5	2,98	37,4	0,34
Каспийское	0,0	0,0	1,65	4,0	39,0	96,0	0,010
Аральское	0,0	0,0	0,10	0,1	71,3	99,9	4,7
КРЕМНИЙ							
Белое	1390	82,2	0,0		300	17,8	0,66
Балтийское	448	47,2	0,0		502	52,8	
Азовское	36,9	30,8	0,0		82,8	69,2	0,47
Каспийское	0,0	0,0	0,0		730	100	0,008
Аральское	0,0	0,0	0,0		178	100	0,53

* Невязка баланса фосфора Белого моря - за счет неучтенной разгрузки подземных вод.

** Даны цифры прихода N и P с учетом абразии берегов и дна (около 6 % N и 14% P); N и P, поступающие за счет абразии берегов, практически в биотический круговорот не включаются и в основном аккумулируются в прибрежной зоне.

Примечание. Потери азота в атмосферу учтены только в Балтийском море - 3 тыс. т. в год.

Таблица 3

Интегральные показатели, характеризующие функционирование экосистемы морей

Показатель		Единицы измерения	Море		
			Белое	Балтийское	Каспийское
Фактор окружения среды			11	4,2	9,6
Показатель удельной поверхности			12	19	4,8
Модули стока Коэффициент экспорта (КЭ)	водного	л/с/км ²	10	36	2,4
	азота общего		0,400	0,310	0,108
	фосфора общего		0,015	0,028	0,010
	кремния	т/км ² /год	0,650	0,500	0,180
	углерода орган.		4,00	2,75	0,690
Показатели удельного поступления (нагрузки)	азота общего	т/км ²	25	2,28	1,61
		т/км ³	305	40,0	7,78
	фосфора общего	т/км ²	1,49	0,23	0,11
		т/км ³	18,1	4,1	0,52
	кремния	т/км ²	33,7	2,47	1,94
		т/км ³	411	43,2	9,34
	углерода органического	т/км ²	131	124	273
		т/км ³	1,60	2,32	1,31
Коэффициенты фоссилизации	от первичной продукции	%	3,7	9,8	4,15
	от общего прихода ОВ		1,06	8,20	4,04
	то же с учетом выноса		2,35	8,84	4,04
Отложение ОВ в грунты		т/км ² /год	1,40	10,1	11,0
Коэффициент водообмена			0,540	0,066	0,0045
Коэффициенты массообмена моря с смежными морями	азот общий		0,771	0,175	0,012
	фосфор общий		0,517	0,126	0,010
	кремний		0,660		0,008
	углерод орган.		0,457	0,578	0,205
Коэффициенты обмена фито- планктона со средой	азот		0,205	1,28	0,283
	фосфор		0,331	1,28	0,498
	кремний		0,521		0,612

Таблица 4

**Коэффициенты обмена (α) во внутриматериковых морях с окружающей средой:
водного α , биогенных элементов (α_N , α_P , α_{Si}), органического вещества
(аллохтонного $\alpha_{алл}$, автохтонного $\alpha_{авт}$, суммарного $\alpha_{сумм}$)**

Море	α	Биогенные элементы			Органическое вещество		
		α_N	α_P	α_{Si}	$\alpha_{алл}$	$\alpha_{авт}$	$\alpha_{сумм}$
Белое	0,540	0,771	0,517	0,660	0,325	0,132	0,457
Балтийское	0,066	0,175	0,126	—	0,093	0,495	0,578
Черное	0,0014'			—	0,003	0,030	0,033
Азовское	0,261	0,283	0,342	0,468	0,438	10,62	11,1
Каспийское	0,0045	0,012	0,010	0,008	0,005	0,200	0,205
Аральское	0,061	0,726	4,71	0,531	0,622	0,540	1,16

Примечание. Коэффициенты водообмена рассчитывались по формуле: $\alpha = \Delta V/V$ где ΔV - годовое поступление воды. V - объем моря. Коэффициенты обмена биогенными элементами и органическим веществом рассчитывались по аналогии с водным (годовое поступление / содержание в море).

Таблица 5

Коэффициенты обмена биогенными элементами фитопланктона со средой обитания

Море	ПП, млн т Сорг в год	Ассимиляция фитопланктоном, млн т в год (А)			Содержание в водах моря, млн т (Б)			Годовой приход, млн т (В)		
		N	P	Si	N	P	Si	N	P	Si
Белое	2,00	0,33	0,048	1,33	1,626	0,144	2,560	1,254	0,075	1,69
Балтийское	38,5	6,42	0,917	25,7	5,02	0,718		0,880	0,090	0,95
Черное	171	28,5	4,07	114	619	12,2	3151			
Азовское	10,5	1,75	0,250	6,99	0,349	0,023	0,256	0,099	0,008	0,12
Каспийское	86,2	14,36	2,06	57,5	50,7	4,14	93,8	0,607	0,041	0,73
Аральское	0,492	0,082	0,012	0,33	0,250	0,015	0,336	0,181	0,071	0,178
Коэффициенты обмена:										
Море	Отношение А/Б			Отношение А/В						
	N	P	Si	N	P	Si				
Белое	0,205	0,331	0,521	0,266	0,639	0,789				
Балтийское	1,28	128			10,2	27,0				
Черное	0,046	0,334	0,036	7,30						
Азовское	5,01	10,7	27,3	17,7	31,3	58,4				
Каспийское	0,283	0,498	0,612	23,7	50,6	78,7				
Аральское	0,328	0,770	0,976	0,453	0,164	1,84				

Таблица 6

**Показатели эффективности техногенного геохимического давления
по биогенным элементам Р и N**

Моря	КЭ, т/км ² /год			МТГД/КЭ	
	Р	N	N/P	Р	N
Белое	0,015	0,400	22	5,0	1,2
Балтийское	0,028	0,310	11	8,4	5,3
С учетом прямого сброса сточных вод	0,037	0,350	9	6,4	4,7
Общий антропогенный сброс	0,023	0,133	6	10	12
Составляющая речного стока					
антропогенная	0,014	0,093	7	17	18
природная	0,014	0,217	16	17	7,6
Каспийское	0,010	0,108	11	16	29
Составляющая речного стока					
антропогенная	0,0035	0,059	17	44	53
природная	0,0065	0,049	7,5	24	64
Азовское	0,011	0,118	11	45	49
Аральское	0,26	0,060	2,3	2,9	11

Примечание: КЭ, т/км²/год – коэффициент экспорта; МТГД/КЭ – модуль техногенного геохимического давления /коэффициент экспорта; Р – фосфор; N – азот.

Таблица 7

**Показатели эффективности техногенного геохимического давления
по солевому составу**

Море	КЭ, т/км ² /год		МТГД/КЭ	
	К	S	К	S
Белое	0,2	2,7	0,37	0,18
Составляющая речного стока:				
антропогенная	-	0,5	-	1,0
природная	-	2,2	-	0,2
Балтийское	0,32	0,59	3,2	3,0
Каспийское	0,31	0,59	3,2	3,0
Составляющая речного стока				
антропогенная	-	0,7	-	2,7
природная	-	1,5	-	1,4
Азовское	0,38	1,6	2,3	4,2
Аральское	0,12	1,46	0,29	0,20

Примечание: КЭ, т/км²/год – коэффициент экспорта; МТГД/КЭ – модуль техногенного геохимического давления /коэффициент экспорта; Р – фосфор; N – азот.