

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ РЕСУРСОВ ШЕЛЬФОВЫХ МОРЕЙ И УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ К ТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

**В. В. Дроздов**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 27 июля 2018 г.

*Предложен метод интегральной оценки устойчивости экосистем шельфовых морей (в том числе Арктики) к техногенному воздействию на основе применения обоснованных структурных биоэкологических, динамических гидрологических и динамических океанологических индикаторов, обладающих высокой информативностью и относительной простотой определения. Практическое использование результатов интегральных оценок устойчивости морских экосистем на основе индикаторного подхода может способствовать повышению эффективности принятия управленческих решений в области обеспечения экологической безопасности функционирования большинства отраслей морского хозяйственного комплекса.*

**Ключевые слова:** Белое море, Баренцево море, устойчивость экосистем, структурные и динамические индикаторы устойчивости экосистем, техногенная деятельность.

### Введение

Согласно утвержденной распоряжением Правительства РФ № 2205-р от 8 декабря 2010 г. «Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года» (приложение 4 «Перспективные пути развития основных видов морской деятельности Российской Федерации») управление морским природопользованием должно развиваться по следующим направлениям:

- введение и развитие интегрального (межотраслевого) управления, направленного на преодоление конфликтов между видами морского природопользования и охраной морской среды;
- расширение морской составляющей программ комплексного развития приморских территорий и прибрежных акваторий до границ акваторий, находящихся под юрисдикцией Российской Федерации;
- координация упомянутых программ с программами управления водосборными бассейнами;

- использование и развитие инструментария морского пространственного планирования.

Применительно к различным научным аспектам и инструментарию управления морским природопользованием на открытых акваториях и в прибрежной зоне с учетом природных особенностей и специфики техногенной деятельности ведущие российские научные организации разработали ряд практических подходов [1—6]. Достаточно обстоятельно вопросы комплексного управления природопользованием на шельфовых морях были рассмотрены также в обзоре Всемирного фонда дикой природы [7]. Однако проблемными вопросами остаются разработка соответствующих методов на основе экосистемного подхода и их практическая реализация. При этом решением, способным повысить эффективность управления природопользованием на акваториях и в прибрежной зоне внутренних и окраинных морей, является использование индикаторов функционирования биотической и абиотической среды, обладающих высокой информативностью и относительной простотой определения.

Цель исследования состоит в научном обосновании и разработке интегрального метода оценки устойчивости морских экосистем, а также в обосновании совместимости техногенной деятельности на шельфе и побережье с функционированием аквакультуры и обеспечением воспроизводства природных популяций промысловых рыб в зависимости от степени устойчивости морских экосистем.

### Устойчивость состояния морских экосистем и ее оценка

Устойчивость — одно из важнейших свойств экологических систем, определяющее их способность сохранять или восстанавливать свои структурные и функциональные характеристики. От способности экосистем к устойчивости напрямую зависит успех их существования в течение длительного времени. Внешние природные абиотические процессы и факторы, воздействующие на морские экосистемы, демонстрируют весьма значительные изменения количественных значений, что приводит к соответствующим изменениям в видовом разнообразии и биологической продуктивности [6—11] и др. Для количественной оценки и контроля за достижением целей устойчивого развития акваторий и территорий целесообразно использовать индикаторы. Индикатор — компонент природной или природно-антропогенной среды, количественное или качественное значение которого свидетельствует о ее текущем состоянии или изменении.

Согласно распоряжению Министерства природных ресурсов и экологии «Об утверждении перечня видов флоры и фауны, являющихся индикаторами устойчивого состояния морских экосистем Арктической зоны Российской Федерации» от 22 сентября 2015 г. № 25-р определен список из 111 видов водорослей, высших растений, беспозвоночных, рыб, птиц и морских млекопитающих, в том числе 79 представителей флоры и 32 представителя фауны, включая белого медведя, гренландского кита, рыб, морских звезд и др. Этот весьма обширный список видов-индикаторов, контроль за которыми предполагает весьма дорогостоящие комплексные исследования, рекомендован нефтегазовым компаниям, которые осваивают месторождения на арктическом шельфе, во внутренних морских водах и территориальном море России в качестве основы для разработки программ сохранения биологического разнообразия.

Предложен также набор индикаторов, основанный на гидрометеорологических параметрах состояния среды Арктики: метеорологические параметры прибрежной зоны (температура воздуха, осадки, скорость ветра), гидрофизические параметры водной толщи (температура и соленость воды, гидрооптические показатели), скорость и направление течений, водообмен на границах больших морских экосистем, параметры ледяного покрова моря (ледовитость, положение кромки льда и припая, ско-

рость дрейфа льда, толщина льда), положение гидрологических фронтов, поступление речного стока. Кроме того, рекомендуется учет ряда гидрохимических показателей, в том числе концентраций загрязняющих веществ, первичной продукции водорослей и их количества, видового состава и численности зоопланктона и зообентоса, данных рыбопромысловой статистики (запасы, квоты, уловы), показателей морской деятельности (грузооборот портов, количество заходов судов в порты и др.) [3].

Для оценки состояния экосистем, расположенных в промышленных районах, прежде всего в границах портовых зон, где осуществляются операции с нефтью и нефтепродуктами, разработан подход к оценке уязвимости прибрежных и морских зон. При этом в качестве индикаторов используются различные виды организмов, в частности обитающие в Кольском заливе Баренцева моря — донные беспозвоночные, донные водоросли и морские птицы. В результате осуществляется пространственная дифференциация акваторий с составлением карт интегральной уязвимости [12].

Таким образом, в отечественной практике природопользования, несмотря на ряд имеющихся крупных работ в этой области [7—12], отсутствует единый общепринятый подход к оценке устойчивости и уязвимости морских экосистем с использованием индикаторов. В зарубежных публикациях индикаторы в основном рассматриваются как инструмент для оценки состояния социально-экономических систем, темпов развития мировой и региональной экономики [13—15]. Одно из исключений в данной области может составлять Программа арктического мониторинга и оценки (The Arctic Monitoring and Assessment Programme — AMAP), реализуемая в рамках Арктического совета, в отчетах которой используются индикаторы применительно к состоянию природной среды в прибрежной зоне Норвегии и других регионах [16].

Очевидно, что вначале необходимо оценить устойчивость геосистем — ведущих абиотических процессов и значений факторов среды, задающих ритм биологическим процессам, а затем биосистем — популяций (в различных экологических зонах), вместе слагающих экосистему. Ключевым вопросом является выбор объективных гео- и биоиндикаторов состояния морских экосистем, свидетельствующих о степени их устойчивости.

Устойчивость биотического компонента экосистемы (биоценоза) обычно достаточно высока, если большинство организмов способны нормально функционировать в широком диапазоне значений физических и химических параметров окружающей среды, т. е. преобладающая часть биоты является эврибионтами. Если же биоценоз может существовать в весьма ограниченном диапазоне значений параметров окружающей среды, т. е. большинство его представителей являются стенобионтами, или многие виды незаменимы в своих функциях, такое

сообщество в большинстве случаев оказывается неустойчивым. При длительных направленных изменениях, в том числе антропогенной природы, в последнем случае могут полностью измениться структурно-функциональные характеристики биоценоза вплоть до его полной деградации. На функционирование прибрежных морских экосистем шельфовых морей, в том числе Балтийского, Белого, Карского, Лаптевых и др., оказывают значительное влияние также гидрологические процессы в их бассейнах, способные влиять на соленость воды и другие гидрохимические параметры.

Таким образом, для оценки устойчивости морских экосистем целесообразно применить интегральный

подход, основанный на рассмотрении исходных количественных значений ряда биоценологических, гидрологических, океанологических и гидрохимических характеристик-индикаторов состояния морских экосистем, способных влиять на степень их устойчивости к внешнему техногенному воздействию. На основе результатов анализа и оценки степени и характера влияния климатических, океанологических и гидрологических процессов на гидробиологические процессы в морских экосистемах [17—28] обосновано 15 основных расчетных характеристик-индикаторов, представленных в табл. 1, применение которых целесообразно при реализации экосистемного подхода к оценке устойчивости.

**Таблица 1. Расчетные индикаторы, используемые для оценки устойчивости морских экосистем**

№ п/п	Индикатор	Код показателя	Информационная значимость для оценки устойчивости
1	Соотношение видов стенобионтов и эврибионтов в составе ихтиофауны	S/E-Fs	Показатель возможности существования видов рыб в составе ихтиоценоза в большем или меньшем диапазоне меняющихся значений факторов среды
2	Соотношение видов стенобионтов и эврибионтов в составе макрозообентоса	S/E-MB	Показатель возможности существования видов макрозообентоса в составе донных сообществ в большем или меньшем диапазоне меняющихся значений факторов среды
3	Соотношение видов стенобионтов и эврибионтов в составе высшей водной растительности (макрофиты)	S/E-MFt	Показатель возможности существования видов высших водных растений в составе фитоценоза в большем или меньшем диапазоне меняющихся значений факторов среды
4	Индекс Шеннона	InSh	Оценка видового разнообразия и степени доминирования. Если большинство видов формируют многочисленные популяции, устойчивость биотической части экосистемы выше
5	Индекс выраженности экотона	InE-E	Соотношение количества видов рыб, принадлежащих к одной зоогеографической группе (морские, солоноватоводные, пресноводные, арктические или бореальные виды) в данной конкретной акватории, и числа видов рыб, принадлежащих к другой зоогеографической группе в этом же районе. Экосистемы зоны выраженного экотона неустойчивы
6	Индекс восстановления (регенерации) фауны	InRF	Соотношение количества видов микрозообентоса и рыб, имеющих в жизненном цикле пелагическую ювенильную стадию (личинки и икра способные к дрейфу), и количества видов животных, ее не имеющих (район обитания взрослых особей и район их размножения совпадают, восстановление ареала после его деградации затруднено, приток личинок и икры из соседних районов невозможен)

№ п/п	Индикатор	Код показателя	Информационная значимость для оценки устойчивости
7	Соотношение объема морской акватории и поступающего в нее речного стока в среднем за 30 лет	VSea/ VRun-30	Косвенная оценка степени зависимости гидрохимических и соответствующих гидробиологических процессов в прибрежной зоне от поступающего речного стока
8	Амплитуда колебаний речного стока в акваторию в среднем за год, в среднем за 30 лет, %	ΔR-M-30	Косвенная оценка степени зависимости гидрохимических и соответствующих гидробиологических процессов в прибрежной зоне от поступающего речного стока и его многолетних колебаний
9	Объем речного стока в морскую акваторию за сезон с наибольшей водностью в среднем за 30 лет в сравнении со средним годовым значением стока за данный период, %	VRs/ VRe-30	Косвенная оценка степени зависимости гидрохимических и соответствующих гидробиологических процессов в прибрежной зоне от поступающего речного стока и его колебаний в годовом ходе
10	Глубина осенне-зимней конвекции, м	H-Con	Оценка степени вертикального перемешивания водных слоев, возможностей их аэрации и самоочищения
11	Высота приливов в среднем за год, см	H-Flad	Оценка степени горизонтального и вертикального перемешивания водных слоев, возможностей их аэрации и самоочищения, в том числе в береговой зоне
12	Концентрация кислорода у дна в среднем за год, в среднем за 30 лет	C-O <sub>2</sub> E-30	Косвенная оценка степени зависимости гидрохимических и соответствующих гидробиологических процессов в придонных горизонтах от многолетних колебаний содержания растворенного кислорода как важнейшего экологического фактора
13	Количество дней в году с гипоксией в придонном слое в среднем за 30 лет	N-Gip-B-30	Косвенная оценка степени зависимости гидрохимических и соответствующих гидробиологических процессов в придонных горизонтах от многолетних колебаний содержания растворенного кислорода и сероводорода как важнейших экологических факторов
14	Амплитуда колебаний солёности воды в среднем за год, в среднем за 30 лет на поверхности, %	ΔS-S-30	Косвенная оценка степени зависимости гидрохимических и соответствующих гидробиологических процессов от многолетних колебаний солёности воды как важнейшего экологического фактора
15	Амплитуда колебаний солёности воды в среднем за год, в среднем за 30 лет у дна, %	ΔS-B-30	То же

Установлены количественные диапазоны изменчивости обоснованных характеристик и соответствующие им классы от 1 до 7. В табл. 2 и 3 представлены шкалы нормирования биоценологических и океанологических характеристик-индикаторов морских экосистем, способные влиять на степень их

устойчивости. Определенная сумма баллов соответствует качественной характеристике степени устойчивости конкретной экосистемы. Наиболее точная оценка устойчивости может быть получена путем обобщения сумм классов полученных для каждой из выделенных групп характеристик на основе при-

**Таблица 2. Шкала нормирования биоценологических индикаторов устойчивости морской экосистемы**

Биоценологические характеристики экосистемы						Сумма баллов	Оценка устойчивости
Ихтиофауна		Макрозообентос		Макрофиты			
Соотношение видов стенобионтов и эврибионтов		Соотношение видов стенобионтов и эврибионтов		Соотношение видов стенобионтов и эврибионтов			
Код характеристики, весовой коэффициент							
S/E-Fs, $w = 0,2$		S/E-MB, $w = 0,2$		S/E-MFt, $w = 0,2$			
Интервал значений	Балл	Интервал значений	Балл	Интервал значений	Балл		
0,1—0,5	1	0,1—0,5	1	0,1—0,5	1	0,6	Весьма высокая
0,51—1,0	2	0,51—1,0	2	0,51—1,0	2	1,2	Высокая
1,1—2,0	3	1,1—2,0	3	1,1—2,0	3	1,8	Значительная
2,1—3,0	4	2,1—3,0	4	2,1—3,0	4	2,4	Средняя
3,1—5,0	5	3,1—5,0	5	3,1—5,0	5	3,0	Умеренная
5,1—7,0	6	5,1—7,0	6	5,1—7,0	6	3,6	Низкая
Более 7	7	Более 7	7	Более 7	7	4,2	Весьма низкая

**Таблица 3. Шкала нормирования океанологических индикаторов устойчивости морской экосистемы**

Динамические океанологические индикаторы						Сумма баллов	Оценка устойчивости	
Глубина осенне-зимней конвекции, м		Высота приливов в среднем за год, см		Концентрация кислорода у дна в среднем за 30 лет, мг/л				
Код характеристики, весовой коэффициент								
H-Con, $w = 0,15$		H-Flad, $w = 0,2$		C-O <sub>2</sub> E-30, $w = 0,15$				
Интервал значений	Балл	Интервал значений	Балл	Интервал значений	Балл			
Более 70,0	1	100,0—120,0	1	Более 6,0	1			0,5
60,1—70,0	2	121—140,0	2	5,1—6,0	2	1,0	Высокая	
50,1—60,0	3	141—170,0	120,0—80,0	3	4,1—5,0	3	1,5	Значительная
40,1—50,0	4	171—200,0	79,0—60,0	4	3,1—4,0	4	2,0	Средняя
30,1—40,0	5	201—250,0	59,0—45,0	5	2,1—3,0	5	2,5	Умеренная
20,0—30,0	6	251—300,0	44,0—30,0	6	1,0—2,0	6	3,0	Низкая
Менее 20,0	7	Более 300,0	Менее 30,0	7	Менее 1,0	7	3,5	Весьма низкая

менения интегрального индекса устойчивости IASE (Integrated Assessment of Sustainable Existence) и его вариантов, как показано в табл. 4.

В зависимости от характера используемых данных и их доступного объема применительно к конкретной акватории возможно использовать три варианта интегрального индекса оценки устойчивости: IASE 1, основывающийся на учете 6 структурных биоцено-

тических индикаторов; IASE 2, основывающийся на учете 9 индикаторов (структурных биоценологических и динамических гидрологических); IASE 3, основывающийся на учете 15 индикаторов (структурных биоценологических, динамических гидрологических и динамических океанологических).

В качестве примера практической реализации предложенного метода на рис. 1 и в табл. 5 пред-

Таблица 4. Расчетная таблица интегральной оценки устойчивости морской экосистемы

Индекс интегральной оценки устойчивости IASE	Индикаторы устойчивости	Сумма значений всех баллов	Класс устойчивости	Интегральная оценка устойчивости морской экосистемы
IASE 1 = $\Sigma(S/E-F_{sw} + S/E-MB_w + S/E-MF_{tw} + InSh_w + InE-E_w + InRF_w)$	Структурные биоценологические	1,0—1,4	I	Весьма высокая
		1,6—2,0	II	Высокая
		2,2—2,6	III	Значительная
		2,8—3,4	IV	Средняя
		3,6—4,4	V	Умеренная
		4,6—5,6	VI	Низкая
		5,8—7,0	VII	Весьма низкая
IASE 2 = $\Sigma(S/E-F_{sw} + S/E-MB_w + S/E-MF_{tw} + InSh_w + InE-E_w + InRF_w + VSea/VRun_w + \Delta R-M-30_w + VRs/VRe-30_w)$	Структурные биоценологические и динамические гидрологические	2,0—2,9	I	Весьма высокая
		3,2—4,1	II	Высокая
		4,4—5,3	III	Значительная
		5,6—6,9	IV	Средняя
		7,2—8,9	V	Умеренная
		9,2—11,2	VI	Низкая
		11,5—14,0	VII	Весьма низкая
IASE 3 = $\Sigma(S/E-F_{sw} + S/E-MB_w + S/E-MF_{tw} + InSh_w + InE-E_w + InRF_w + VSea/VRun_w + \Delta R-M-30_w + VRs/VRe-30_w + H-Con_w + H-Flad_w + C-O_2E_w + N-Gip-B_w + \Delta S-S-30_w + \Delta S-B-30_w)$	Структурные биоценологические, динамические гидрологические и динамические океанологические	3,0—4,3	I	Весьма высокая
		4,8—6,2	II	Высокая
		6,7—8,2	III	Значительная
		8,7—10,6	IV	Средняя
		11,1—13,6	V	Умеренная
		14,1—16,9	VI	Низкая
		17,4—21,0	VII	Весьма низкая

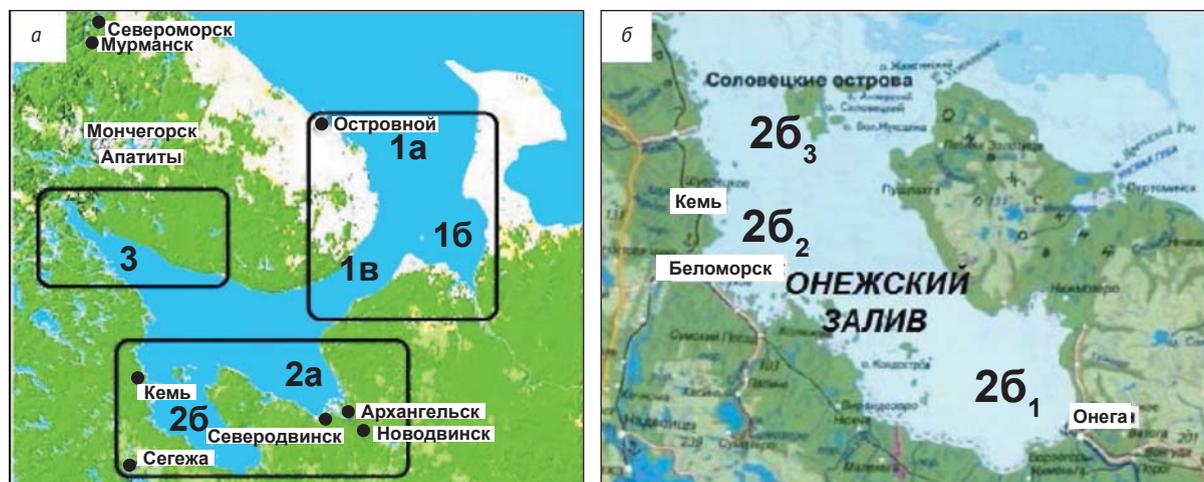


Рис. 1. Зонирование акваторий Белого моря применительно к оценке устойчивости их экосистем: а – море в целом, б – Онежский залив  
 Fig. 1. Zoning of the White Sea water areas in relation to the sustainability assessment of their ecosystems: а – the sea as a whole, б – Onega Bay

Таблица 5. Значения вариантов индексов устойчивости морских экосистем Белого моря

№ района	Район	Индекс интегральной оценки устойчивости		
		IASE 1	IASE 2	IASE 3
		Класс устойчивости		
1а	Район Воронки	II	II	II
1б	Мезенский залив	III	III	III
1в	Район Горла	III	III	II
2а	Двинский залив	III	III	III
2б	Онежский залив	III	II	II
2б <sub>1</sub>	Устье реки Онега	IV	III	III
2б <sub>2</sub>	Беломорск	IV	III	III
2б <sub>3</sub>	Устье реки Кемь	IV	III	III
3	Кандалакшский залив	III	II	II

ставлено зонирование экосистем Белого моря применительно к их устойчивости. Данные для расчетов получены из [8; 9; 18—29].

На рис. 2 представлена используемая обобщенная структурная схема осуществления интегральной оценки устойчивости морских экосистем на основе индикаторного подхода.



Рис. 2. Структурная схема осуществления интегральной оценки устойчивости морских экосистем на основе индикаторного подхода

Fig. 2. Block diagram of the implementation of integrated sustainability assessment of marine ecosystems on the indicator approach

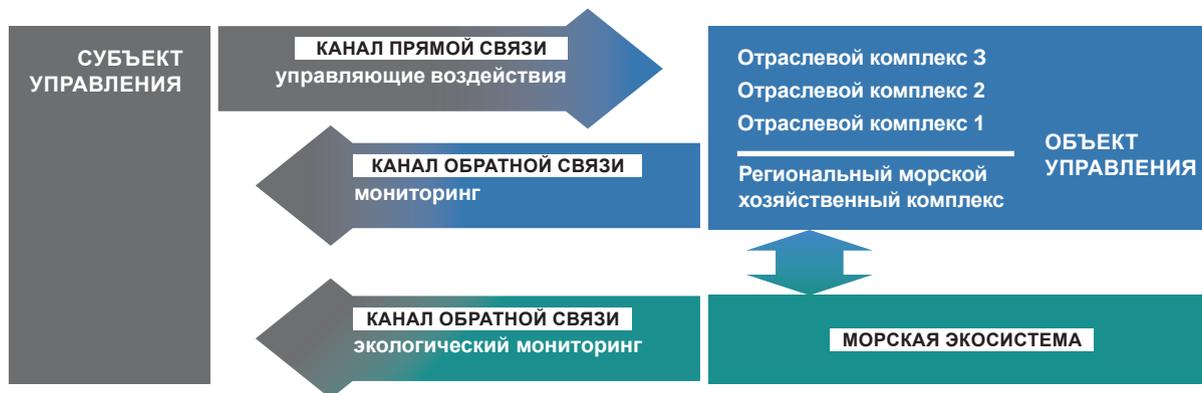


Рис. 3. Принципиальная схема управления морским природопользованием [8]

Fig. 3. Schematic diagram of marine environmental management [8]

**Возможности управления природопользованием на основе диагностики состояния и оценки устойчивости морских экосистем**

В системе управления морским природопользованием необходимо использовать две подсистемы — управляющую (преимущественно государственные органы управления) и управляемую (компоненты экосистем). Управляемая подсистема (объект управления) — это часть системы управления, на которую направлены систематические, организованные, планомерные воздействия субъекта управления. Управляющая подсистема (субъект управления) наделена управленческими полномочиями и реализует управленческую деятельность. Эффективное управление обеспечит достижение поставленной цели — рациональное природопользование, предотвращение деградации экосистем и обеспечение долговременного устойчивого воспроизводства важнейших биоресурсов [29—31]. На рис. 3 представлена принципиальная схема управления морским природопользованием.

В конце 1980-х годов группой американских исследователей под руководством профессора К. Шермана была выдвинута концепция больших морских экосистем (БМЭ), которая получила в дальнейшем широкое распространение и развитие, в том числе в России [32—33]. Именно взаимосвязанная иерархическая структура отражает неразрывную связь между исследованиями, мониторингом и управлением, присущую концепции БМЭ. Поэтому БМЭ-подход представляется достаточно эффективным в отношении районирования пространства Мирового океана на отдельные системные единицы для последующей реализации системной «вертикали» управления. Этот подход опирается на пятимодульную структуру, включающую в себя модули продуктивности, иктофауны и рыболовства, загрязнения и здоровья экосистемы, социально-экономической сферы и управления.

Дальнейшее развитие экосистемного подхода к управлению природопользованием должно предполагать переход от краткосрочных оперативных оценок состояния среды по ограниченному набору параметров на экосистемно ориентированные,

долгосрочные, учитывающие климатические изменения и их экологические следствия. При этом традиционно возникающие трудности в отношении необходимости многокомпонентного анализа различных биотических и абиотических процессов, происходящих в морской экосистеме, становится возможным преодолеть путем обоснования ключевых показателей-индикаторов.

Основными направлениями практического применения разработанного метода интегральной оценки устойчивости морских экосистем могут являться следующие:

- оптимизация выбора районов проведения дноуглубительных работ с целью прокладки подводной инфраструктуры — трубопроводов, подводно-подземных водоводов, энергетических линий и т. п. с учетом оценки устойчивости морских экосистем на локальном и региональном уровнях;
- оптимизация выбора районов размещения портов, рейдовых баз и причалов, направлений создания новых фарватеров и районов складирования грунта при дноуглубительных работах;
- оптимизация выбора районов промышленного рыболовства и интенсивности добычи гидробионтов на основе комплексного учета устойчивости конкретных экосистем различного пространственного масштаба;
- обоснование границ создаваемых особо охраняемых природных объектов — заповедников, имеющих в своем составе морские акватории применительно к выделению районов с устойчивостью выше средней;
- обоснование границ создаваемых особо охраняемых природных объектов — национальных парков, имеющих в своем составе морские акватории, применительно к выделению заповедного ядра с наиболее жестким режимом охраны;
- обоснование выбора районов размещения потенциально особо опасных для окружающей морской среды объектов морской техники и производств;
- совершенствование программ комплексного экологического мониторинга экосистем в зависимости от степени их устойчивости;





Рис. 5. Структурная методологическая схема осуществления управления морским природопользованием на основе применения методов диагностической оценки и устойчивости состояния морских экосистем  
 Fig. 5. The block methodological diagram for the implementation of marine environmental management based on the application of diagnostic assessment methods and the sustainability of the marine ecosystems state

с функционированием аквакультуры и обеспечением воспроизводства природных популяций промысловых рыб применительно к районам с интегральной оценкой устойчивости, соответствующей классам I — весьма высокая, III — значительная, V — умеренная и VII — весьма низкая.

На рис. 5 представлена структурная методологическая схема осуществления управления морским природопользованием с применением разработанного метода интегральной оценки устойчивости состояния морских экосистем шельфовых морей. Диагностическая оценка текущего состояния экосистем основывается на уже используемых методах регулярного экологического мониторинга (по гидробиологическим и гидрохимическим показателям). На рис. 6 представлены возможности практического использования разработанного метода интегральной оценки устойчивости морских экосистем для решения профильных задач различных министерств и ведомств Российской Федерации.

**Заключение**

Комплексное морское природопользование должно основываться на практической возможности решения двух основных задач: обеспечения стратегически сбалансированного взгляда на все виды морской хозяйственной деятельности при стремлении к реализации концепции устойчивого развития (баланс экономических, экологических и социальных целей) и использования экосистемного подхода к регулированию и управлению морской хозяйственной деятельностью путем сохранения у морских экосистем способности устойчиво противостоять антропогенному стрессу.

Защищенность морских экосистем при функционировании различных отраслей морского хозяйственного комплекса, в том числе в Арктике, можно повысить путем оценки и учета степени их устойчивости, оптимизируя пространственное расположение техногенных объектов и допустимую интенсивность техногенного воздействия. Использование в про-



Рис. 6. Возможности практического использования интегральной диагностической оценки текущего состояния морских экосистем и интегральной оценки их устойчивости для решения профильных задач различных министерств и ведомств Российской Федерации

Fig. 6. Possibilities of practical use of integrated diagnostic assessment of the current state of marine ecosystems and the integrated assessment of their sustainability to solve the relevant tasks of various ministries and departments of the Russian Federation

граммах экологического мониторинга обоснованных структурных биоценологических, динамических гидрологических и динамических океанологических индикаторов устойчивости морских экосистем, отражающих ход ключевых процессов, влияющих на их состояние, может способствовать формулировке более объективных выводов о состоянии природной среды.

Результаты интегральных оценок устойчивости морских экосистем на основе индикаторного подхода могут способствовать повышению эффективности принятия управленческих решений в области обеспечения экологической безопасности функционирования большинства отраслей морского хозяйственного комплекса. На основе этих оценок вырабатывается комплексное управленческое решение, суть которого состоит в том, что управление отраслями и предприятиями (проектами) осуществляется

с применением концепции комплексного управления прибрежными зонами и с учетом результатов морского территориального планирования функционального зонирования акваторий.

Территориальные противоречия в области природопользования должны разрешаться путем поиска механизма трансформации корпоративных интересов в общегосударственные в целях достижения компромисса и социально-экономического благополучия.

Практическое использование разработанного метода интегральной оценки устойчивости морских экосистем возможно для решения профильных задач Министерства природных ресурсов и экологии, Министерства транспорта, а также Федерального агентства по рыболовству при развитии и внедрении методов интегрированного управления экосистемными ресурсами.

Литература

1. Дмитриев В. В. Методика диагностики состояния и устойчивости водных экосистем // Эколого-географический анализ состояния природной среды: проблема устойчивости геозкосистем. — СПб., 1995. — С. 41—67.
2. Денисов В. В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). — Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. — 502 с.
3. Дженюк С. Л. К обоснованию комплексной системы мониторинга морей западной Арктики // Вестн. Кольского науч. центра РАН. — 2015. — № 2 (21). — С. 94—102.
4. Кондрин А. Т., Косарев А. Н., Полякова А. В. и др. Экологическое состояние и устойчивость к антропогенным нагрузкам морей европейской части России // Проблемы оценки экологической напряженности европейской территории России: факторы, районирование, последствия. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. — С. 107—117.
5. Дроздов В. В. Принципы оценки устойчивости экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей к климатическим изменениям // Уч. зап. РГГМУ. — 2011. — № 19. — С. 127—139.
6. Михайлов В. Н., Эдельштейн К. К. Оценка устойчивости и уязвимости водных экосистем с позиций гидроэкологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 1996. — № 3. — С. 28—34.
7. Комплексное управление природопользованием на шельфовых морях / WWF России. — Москва; Мурманск, 2011. — URL: [http://wwf.ru/upload/iblock/33d/complex\\_plan\\_web.pdf](http://wwf.ru/upload/iblock/33d/complex_plan_web.pdf).
8. Филатов Н. Н., Тержевик А. Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. — Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2007. — 349 с.
9. Филатов Н. Н., Меншуткин В. В. Проблемы оценки изменений экосистем крупных стратифицированных водоемов под влиянием климата и антропогенных факторов // Уч. зап. РГГМУ. — 2017. — № 48 (9). — С. 120—146.
10. Музалевский А. А., Карлин Л. Н. Экологические риски: теория и практика / РГГМУ. — СПб, 2011. — 448 с.
11. Гутман С. С., Басова А. А. Индикаторы устойчивого развития Арктической зоны Российской Федерации: проблема выбора и измерения // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 4 (28). — С. 32—48. — DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-32-48.
12. Шавыкин А. А. Методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Пример карт для Кольского залива // Вестн. Кольского науч. центра РАН. — 2015. — С. 113—123.
13. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies: Background Paper no. 3 / United Nation Commission on Sustainable Development. — New York, 2001. — 294 p.

14. Bell S., Morse S. Sustainable indicators: measuring the immeasurable? — Padstow, Cornwall, 2012. — 251 p.
15. World development Indicators 2017 / World Bank Group. — Washington DC, 2017. — URL: <http://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26447>.
16. The Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). — Oslo, 2018. — URL: <https://www.amap.no/documents/doc/AMAP-Assessment-2018-Biological-Effects-of-Contaminants-on-Arctic-Wildlife-and-Fish-Pre-print/1663>.
17. Дроздов В. В., Смирнов Н. П., Косенко А. В. Учение о гидросфере: Курс лекций / РГГМУ. — СПб., 2015. — 320 с.
18. Дроздов В. В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей: Монография / РГГМУ. — СПб., 2015. — 230 с.
19. Дроздов В. В., Смирнов Н. П. Влияние крупномасштабных циркуляционных процессов в атмосфере на температурный режим Беломорского региона // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2011. — № 3 (89). — С. 78—88.
20. Бабков А. А., Голиков А. Н. Гидробиокомплексы Белого моря / ЗИН РАН. — Л., 1984. — 103 с.
21. Голиков А. Н., Бабков А. И., Голиков А. А. и др. Экосистемы Онежского залива и сопредельных участков бассейна Белого моря // Исследование фауны морей. — 1985. — Т. 33 (41). — С. 20—37.
22. Бабков А. И. Гидрологическая характеристика Онежского залива Белого моря // Исследование фауны морей. — 1985. — Т. 33 (41). — С. 3—10.
23. Наумов А. Д., Бабков А. И., Луканин В. В., Федяков В. В. Гидрологическая и биоценотическая характеристика Мезенского залива Белого моря // Экологические исследования данных организмов Белого моря / ЗИН РАН. — Л., 1986. — С. 64—90.
24. Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. — Т. 2: Белое море. — Вып. 1: Гидрометеорологические условия. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 241 с.
25. Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. — Т. 2: Белое море. — Вып. 2: Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биопродуктивности. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 193 с.
26. Бабков А. И. Гидрология Белого моря / ЗИН РАН. — СПб., 1998. — 94 с.
27. Бергер В. Я. Продукционный потенциал Белого моря / ЗИН РАН. — СПб., 2007. — 292 с.
28. Sukhotin A., Berger V. Long-term monitoring studies as a powerful tool in marine ecosystem research // Hydrobiologia. — 2013. — Vol. 706. — P. 1—9.
29. Артемьев С. Н. К оценке современного состояния зообентосных сообществ Онежского залива Белого моря (по результатам исследований 2015—2016 гг.) // Материалы XIII Всероссийской конференции с международным участием «Изучение, рациональное использование и охрана природ-

- ных ресурсов Белого моря» / ЗИН РАН. — СПб., 2017. — С. 12—15.
30. Хорошев В. Г., Поляков Ю. Н., Дроздов В. В. Техногенные риски освоения российского арктического шельфа // V Международный форум «Арктика: настоящее и будущее»: Сборник докладов. — СПб.: Конгрессно-выставочный центр «Экспофорум», 2015. — С. 160—162.
31. Ильин Г. В., Усягина И. С., Касаткина Н. Е. Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестн. Кольского науч. центра РАН. — 2015. — № 2 (21). — С. 82—93.
32. Матишов Г. Г., Денисов В. В., Дженюк С. Л. Интегрированное управление природопользованием в шельфовых морях // Изв. РАН. Сер. географ. — 2007. — № 3. — С. 27—40.
33. Матишов Г. Г., Денисов В. В., Жичкин А. П. Морское природопользование в западном секторе Арктики: проблемы и решения // Вестн. Кольского науч. центра РАН. — 2015. — № 2 (21). — С. 103—112.

---

### Информация об авторе

Дроздов Владимир Владимирович, кандидат географических наук, доцент, начальник отдела, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44), e-mail: vladidrozдов@yandex.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

Дроздов В. В. Обеспечение экологической безопасности при освоении ресурсов шельфовых морей и управление природопользованием на основе оценки устойчивости морских экосистем к техногенному воздействию // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 4 (32). — С. 55—69. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-55-69.

---

## ENSURING ECOLOGICAL SAFETY IN THE DEVELOPMENT OF THE SHELF SEAS RESOURCES AND THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT ON THE BASIS OF THE SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF MARINE ECOSYSTEMS TO TECHNOGENIC IMPACT

Drozдов V. V.

Krylov State Research Centre (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on July 27, 2018

### Abstract

The article considers the method of integrated sustainability assessment of the shelf seas ecosystems, including the Arctic, to anthropogenic impact on the basis of sound structural biocenotic, dynamic hydrological and dynamic oceanological indicators with high informational content and relative ease of determination.

Three versions of the integrated index of the sustainability assessment — Integrated Assessment of Sustainable Existence (IASE) are developed using 6, 9 and 15 indicators based on their quantitative values and rationing. Using the White Sea as an example, zoning of its waters is carried out in relation to assessing the degree of their sustainability. It is shown that increasing the efficiency in ensuring ecological safety and environmental management while developing mineral and biological resources of the Barents and White seas is possible on the basis of establishing the degree of sustainability of their ecosystems with further optimization of the spatial location of man-made objects and the acceptable level of anthropogenic impact on the environment.

The compatibility matrices are built of technogenic activity on the sea shelf and coast with aquaculture functioning and ensuring reproduction of economically valuable populations of commercial fish in areas with integrated sustainability assessment corresponding to classes: I — very high, II — high, III — significant, V — moderate and VII — very low. Methodological principles for the implementation of marine environmental management based on the application of the developed integral method for assessing the sustainability of marine ecosystems are substantiated.

Practical use of the developed method of integrated assessment of the marine ecosystems sustainability based on the indicator approach can help to improve the effectiveness of management decisions in ensuring the environmental safety of most sectors of the marine economic complex.

**Keywords:** *The Barents sea, The White sea, the ecosystem sustainability, structural and dynamic indicators of ecosystem sustainability, anthropogenic activity.*

## References

1. Dmitriev V. V. Metodika diagnostiki sostoyaniya i ustoichivosti vodnykh ekosistem. [Metodika of diagnostics of a state and stability of water ecosystems]. Ekologo-geograficheskii analiz sostoyaniya prirodnoi sredy: problema ustoichivosti geoekosistem. St. Petersburg, 1995, pp. 41—67. (In Russian).
2. Denisov V. V. Ekologo-geograficheskie osnovy ustoichivogo prirodopol'zovaniya v shel'fovykh moryakh (ekologicheskaya geografiya morya). [Ekologo-geografichesky bases of steady environmental management in the shelf seas (ecological geography of the sea)]. Apatity, Izd. KNTs RAN, 2002, 502 p. (In Russian).
3. Dzhenyuk S. L. K obosnovaniyu kompleksnoi sistemy monitoringa morei Zapadnoi Arktiki. [To justification of complex system of monitoring of the seas of the Western Arctic]. Vestn. Kol'skogo nauch. tsentra RAN, 2015, no. 2 (21), pp. 94—102. (In Russian).
4. Kondrin A. T., Kosarev A. N., Polyakova A. V. et al. Ekologicheskoe sostoyanie i ustoichivost' k antropogennym nagruzkam morei evropeiskoi chasti Rossii. [Ecological condition and resistance to anthropogenic loadings of the seas of the European part of Russia]. Problemy otsenki ekologicheskoi napryazhennosti evropeiskoi territorii Rossii: faktory, raionirovanie, posledstviya. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1996, pp. 107—117. (In Russian).
5. Drozdov V. V. Printsipy otsenki ustoichivosti ekosistem Baltiiskogo, Belogo, Chernogo i Azovskogo morei k klimaticheskim izmeneniyam. [Principles of assessment of stability of ecosystems of the Baltic, White, Black and Azov seas to climatic changes]. Uch. zap. RGGMU, 2011, no. 19, pp. 127—139. (In Russian).
6. Mikhailov V. N., Edel'shtein K. K. Otsenka ustoichivosti i uyazvimosti vodnykh ekosistem s pozitsii gidroekologii. [Assessment of stability and vulnerability of water ecosystems from hydroecology positions]. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya, 1996, no. 3, pp. 28—34. (In Russian).
7. Kompleksnoe upravlenie prirodopol'zovaniem na shel'fovykh moryakh. [Integrated management of environmental management at the shelf seas]. WWF Rossii. Moscow; Murmansk, 2011. Available at: [http://wwf.ru/upload/iblock/33d/complex\\_plan\\_web.pdf](http://wwf.ru/upload/iblock/33d/complex_plan_web.pdf). (In Russian).
8. Filatov N. N., Terzhevik A. Yu. Beloe more i ego vododbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov. [The White Sea and its reservoir under the influence of climatic and anthropogenic factors]. Petrozavodsk, Karel. nauch. tsentr RAN, 2007, 349 p. (In Russian).
9. Filatov N. N., Menshutkin V. V. Problemy otsenki izmenenii ekosistem krupnykh stratifitsirovannykh vodotemov pod vliyaniem klimata i antropogennykh faktorov. [Problems of assessment of changes of ecosystems of the large stratified reservoirs under the influence of

- climate and anthropogenic factors]. Uch. zap. RGGMU, 2017, no. 48 (9), pp. 120—146. (In Russian).
10. Muzalevskii A. A., Karlin L. N. Ekologicheskie riski: teoriya i praktika. [Environmental risks: theory and practice]. RGGMU. St. Petersburg, 2011, 448 p. (In Russian).
11. Gutman S. S., Basova A. A. Indikatory ustoichivogo razvitiya Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii: problema vybora i izmereniya. [Indicators of sustainable development of the Arctic zone of the Russian Federation: problem of the choice and measurement]. Arktika: ekologiya i ekonomika. 2017, no. 4 (28), pp. 32—48. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-32-48. (In Russian).
12. Shavykin A. A. Metodika postroeniya kart uyazvimosti pribrezhnykh i morskikh zon ot nefti. Primer kart dlya Kol'skogo zaliva. [A technique of creation of cards of vulnerability of coastal and sea zones from oil. An example of cards for Kola Bay]. Vestn. Kol'skogo nauch. tsentra RAN, 2015, pp. 113—123. (In Russian).
13. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies: Background Paper no. 3. United Nation Commission on Sustainable Development. New York, 2001, 294 p.
14. Bell S., Morse S. Sustainable indicators: measuring the immeasurable? Padstow, Sornwall, 2012, 251 p.
15. World development Indicators 2017. World Bank Group. Washington DC, 2017. Available at: <http://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26447>.
16. The Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, 2018. Available at: <https://www.amap.no/documents/doc/AMAP-Assessment-2018-Biological-Effects-of-Contaminants-on-Arctic-Wildlife-and-Fish-Pre-print/1663>.
17. Drozdov V. V., Smirnov N. P., Kosenko A. V. Uchenie o gidrosfere: Kurs lektsii. [The doctrine about the hydrosphere. Course of lectures]. RGGMU. St. Petersburg, 2015, 320 p. (In Russian).
18. Drozdov V. V. Vliyanie kolebanii klimata na dinamiku ekosistem Baltiiskogo i Belogo morei: Monografiya. [Influence of fluctuations of climate on dynamics of ecosystems of the Baltic and White seas. Monograph]. RGGMU. St. Petersburg, 2015. 230 p. (In Russian).
19. Drozdov V. V., Smirnov N. P. Vliyanie krupnomasshtabnykh tsirkulyatsionnykh protsessov v atmosfere na temperaturnyi rezhim Belomorskogo regiona. [Influence of large-scale circulating processes in the atmosphere on temperature condition of the White Sea region]. Problemy Arktiki i Antarktiki, 2011, no. 3 (89), pp. 78—88. (In Russian).
20. Babkov A. A., Golikov A. N. Hidrobiokompleksy Belogo morya. [Gidrobiokompleks of the White Sea]. ZIN RAN. Leningrad, 1984, 103 p. (In Russian).
21. Golikov A. N., Babkov A. I., Golikov A. A., Novikov O. K., Sheremetevskii A. M. Ekosistemy Onezhskogo zaliva i sopredel'nykh uchastkov basseina Belogo morya. [Ecosystems of Onega Bay and adjacent sites of the Basin of the White Sea]. Issledovanie fauny morei, 1985, vol. 33 (41), pp. 20—37. (In Russian).

22. Babkov A. I. *Gidrologicheskaya kharakteristika Onezhskogo zaliva Belogo morya*. [Hydrological characteristic of Onega Bay of the White Sea]. *Issledovanie fauny morei*, 1985, vol. 33 (41), pp. 3—10. (In Russian).
23. Naumov A. D., Babkov A. I., Lukanin V. V., Fedyakov V. V. *Gidrologicheskaya i biotsenoticheskaya kharakteristika Mezenskogo zaliva Belogo morya*. [Gidrologicheskaya and biotsenoticheskaya kharakteristika of the Mezen Gulf White Sea]. *Ekologicheskie issledovaniya dannykh organizmov Belogo morya*. ZIN RAN. Leningrad, 1986, pp. 64—90. (In Russian).
24. Proekt "Morya". *Gidrometeorologiya i gidrokhiimiya morei SSSR*. Vol. 2. Beloe more. Iss. 1. *Gidrometeorologicheskie usloviya*. [Seas project. Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol. 2. White Sea. Iss. 1. Hydroweather conditions]. Leningrad, *Gidrometeoizdat*, 1991, 241 p. (In Russian).
25. Proekt "Morya". *Gidrometeorologiya i gidrokhiimiya morei SSSR*. Vol. 2: Beloe more. Iss. 2: *Gidrokhimicheskie usloviya i okeanologicheskie osnovy formirovaniya bioproduktivnosti*. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol. 2. White Sea. Iss. 2. Hydrochemical conditions and oceanologic bases of formation of bioproduktivnity]. Leningrad, *Gidrometeoizdat*, 1991, 193 p. (In Russian).
26. Babkov A. I. *Gidrologiya Belogo morya*. [Hydrology of the White Sea]. ZIN RAN. St. Petersburg, 1998, 94 p. (In Russian).
27. Berger V. Ya. *Produksionnyi potentsial Belogo morya*. [Productional capacity of the White Sea]. ZIN RAN. St. Petersburg, 2007, 292 p. (In Russian).
28. Sukhotin A., Berger V. Long-term monitoring studies as a powerful tool in marine ecosystem research. *Hydrobiologia*, 2013, vol. 706, pp. 1—9.
29. Artem'ev S. N. *K otsenke sovremennogo sostoyaniya zoobentosnykh soobshchestv Onezhskogo zaliva Belogo morya (po rezul'tatam issledovaniy 2015—2016 gg.)*. [To assessment of the current state of zoobentosny communities of Onega Bay of the White Sea (by results of researches 2015—2016)]. *Materialy XIII Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Izuchenie, ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov Belogo morya"*. ZIN RAN. St. Petersburg, 2017, pp. 12—15. (In Russian).
30. Khoroshev V. G., Polyakov Yu. N., Drozdov V. V. *Tekhnogennye riski osvoeniya rossiiskogo arkticheskogo shel'fa*. [Technological hazards of development of the Russian Arctic shelf]. V *Mezhdunarodnyi forum "Arktika: nastoyashchee i budushchee": Sbornik dokladov*. St. Petersburg, *Kongressno-vystavochnyi tsentr "Ekspoforum"*, 2015, pp. 160—162. (In Russian).
31. Il'in G. V., Usyagina I. S., Kasatkina N. E. *Geoekologicheskoe sostoyanie sredy morei rossiiskogo sektora Arktiki v usloviyakh sovremennykh tekhnogennykh nagruzok*. [A geoeological condition of the environment of the seas of the Russian sector of the Arctic in the conditions of modern technogenic loadings]. *Vestn. Kol'skogo nauch. tsentra RAN*, 2015, no. 2 (21), pp. 82—93. (In Russian).
32. Matishov G. G., Denisov V. V., Dzhenyuk S. L. *Integrirovannoe upravlenie prirodoopol'zovaniem v shel'fovykh moryakh*. [The integrated management of environmental management in the shelf seas]. *Izv. RAN. Ser. geograf.*, 2007, no. 3, pp. 27—40. (In Russian).
33. Matishov G. G., Denisov V. V., Zhichkin A. P. *Morskoe prirodoopol'zovanie v zapadnom sektore Arktiki: problemy i resheniya*. [Sea environmental management in the western sector of the Arctic: problems and decisions]. *Vestn. Kol'skogo nauch. tsentra RAN*, 2015, no. 2 (21), pp. 103—112. (In Russian).

---

### Information about the author

Drozdov Vladimir Vladimirovich, PhD, Associate Professor, Head of Department, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Russia, 196158), e-mail: vladidrozdov@yandex.ru.

### Bibliographic description of the article

Drozdov V. V. Ensuring ecological safety in the development of the shelf seas resources and the environmental management on the basis of the sustainability assessment of marine ecosystems to technogenic impact. *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 3 (31), pp. 55—69. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-55-69. (In Russian).