

УДК 551.46, 504.064.2.001.18

МЕТОДОЛОГИЯ НАПРАВЛЕННОГО РАЗВИТИЯ ЛОКАЛЬНЫХ БИОЦЕНОЗОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА И ОЗДОРОВЛЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ НА ШЕЛЬФАХ РОССИИ

В. Б. Ушивцев*, С. В. Востоков**, член-корреспондент РАН Л. И. Лобковский,
Н. Б. Водовский, М. Л. Галактионова

Поступило 24.04.2019 г.

Представлены результаты натурных экспериментов по направленному развитию локальных биоценозов на основе донных биостанций, установленных в районах с высокой антропогенной нагрузкой в Северном и Среднем Каспии. Изучены структурные и функциональные характеристики локальных сообществ в сравнении с фоновыми показателями, проведена оценка биоразнообразия и информативности сообществ, как объектов мониторинга и биоиндикации. Обсуждаются перспективы использования методологии направленного развития биоценозов на искусственных субстратах для оптимизации мониторинга и оздоровления морской среды в районах активного освоения углеводородных ресурсов на шельфах России.

Ключевые слова: охрана окружающей среды, донный биоценоз, Каспийское море, сообщество обрастаний, биоразнообразие, виды индикаторов.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488194-98>

Государственная программа освоения ресурсов российских шельфов предусматривает значительное расширение разработок морских нефтегазовых месторождений. При этом разработка систем и технологий оздоровления морской среды остаётся наименее развитой сферой природоохранной деятельности государства. В значительной степени это относится к Каспийскому морю. Возрастающее антропогенное воздействие за последние десятилетия значительно изменило экосистему Каспия, поставив на грань выживания его уникальную флору и фауну. В настоящий момент Каспийское море является своеобразной природной лабораторией, где можно всесторонне изучить влияние различных антропогенных факторов на морские экосистемы.

Использование искусственных подводных конструкций для увеличения продуктивности и повышения биоразнообразия морских биоценозов имеет большую предысторию [1, 8, 13]. В течение ряда лет в ИОРАН проводятся регулярные исследования и натурные эксперименты с биоценозами, сформированными на основе донных биостанций различной конструкции, установленных в Северном и Среднем Каспии (рис. 1). На современном этапе решается задача направленного развития донных

биоценозов, способных выполнять функции оздоровления морской среды и служить объектами мониторинга в районах с высокой антропогенной нагрузкой.

Цель проведённых исследований и экспериментов заключалась в реализации подходов к созданию природоподобной технологии оздоровления и мониторинга морской среды в районах активного освоения углеводородных ресурсов на шельфах России.

В натурных экспериментах в качестве искусственного субстрата были использованы донные биостанции. Биостанция — это специальное биотехническое сооружение, состоящее из сборного бетонного основания и пелагических модулей (рис. 2). Станция устанавливается на дне моря для формирования локального сообщества. Конструкция донной станции значительно увеличивает ёмкость естественного биотопа. На структурных элементах станции создаются благоприятные условия для бурного развития аборигенной флоры и фауны, что способствует формированию обильного локального сообщества (рис. 2), которое используется в качестве объекта мониторинга и биоиндикации. В основе мониторинга сообщества донной станции лежит контроль его структурных и функциональных характеристик, состояния индикаторных групп животных и растений, состава и количества накопленных ими токсикантов и др. [2–4, 11, 12]. По резуль-

Институт океанологии им. П.П. Шишова
Российской Академии наук, Москва

* E-mail: v_ushivtsev@mail.ru

** E-mail: vostokov_S@mail.ru

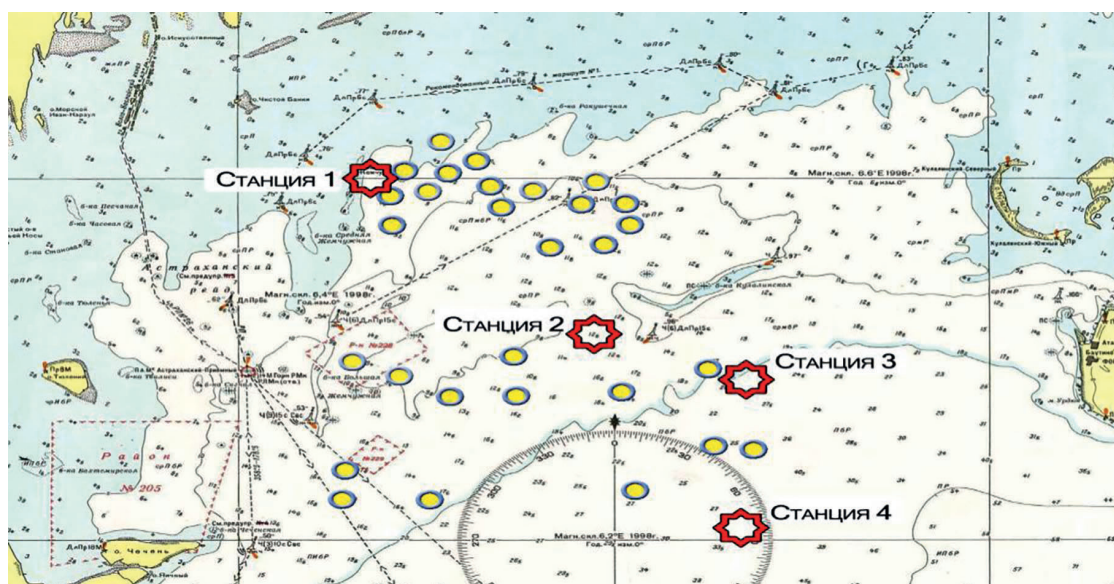


Рис. 1. Расположение экспериментальных биостанций в северной и средней частях Каспийского моря.



Рис. 2. Конструкция биостанции и вид локального сообщества донной станции на дне моря.

татам мониторинга оценивается функциональность биостанции для оздоровления морской среды. Состояние локальных сообществ и их компонентов свидетельствует о степени благополучия окружающей среды и биоты в точке наблюдений. При этом растительный компонент сообщества используется в целях экологического мониторинга как индикатор загрязнения и эвтрофикации [5]. Животный компонент сообщества, представленный различными фильтраторами (*M. Lineatus* и др.), является объектом накопления токсикантов, в том числе и нефтяных углеводородов [6, 10]. Усоногие раки *B. improvisus* реагирует на присутствие загрязнений, изменяя структуру популяции [12]. Бычки и другие представители ихтиофауны как объекты физиологических исследований содержат информацию о бла-

гополучии морской среды в своих внутренних органах [9].

На данном этапе исследований изучаются параметры развития сообществ 22 донных биостанций, установленных на акватории Северного и Среднего Каспия в пределах разных подводных ландшафтов в диапазоне глубин от 5 до 30 м. На основе числа видов флоры и фауны локальных сообществ предложена балльная система оценки информативности [11, 12]. В данной работе рассматриваются характеристики четырёх локальных сообществ, сформировавшихся на конструкциях донных станций, в пределах наиболее распространённых подводных ландшафтов Среднего и Северного Каспия в сравнении с сообществами прилежащих фоновых участков.

Таблица 1. Биоразнообразие, биомасса и показатели информативности сообщества донной станции, в центральном районе Северного Каспия (глубина 12 м)

Биоразнообразие	Биомасса г/м ²	Полезная площадь биотопа, м ²	Общая биомасса на станции, грамм	Информативность
<i>Polysiphonia</i>	320	29	9300	Индикатор эвтрофикации
<i>Enteromorpha</i>	14	29	400	Индикатор эвтрофикации
<i>Cladophora</i>	4	29		Индикатор эвтрофикации
<i>Laurensia</i>	180	29	5200	Индикатор эвтрофикации
<i>Balanus improvisus</i>	40	28,3	1100	Индикатор загрязнения
<i>Mytilaster lineatus</i>	36	28,3	1000	Индикатор загрязнения
<i>Theodoxus pallasii</i>	5	28,3	140	Индикатор загрязнения
<i>Neogobius melanostomus</i>	780	9,3	7200	Объект накопления токсикантов
<i>Niphargoides similis</i>	3	9,3	30	Индикатор загрязнения
<i>Niphargoides abbreviatus</i>				
<i>Palaemon elegans</i>	16	28,3	450	Индикатор загрязнения
<i>Palaemon adspersus</i>				
<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	0,8	5	4	Индикатор загрязнения
Всего	1400		25000	13 баллов

Мелководные районы Северного Каспия с глубинами 5–8 м (станция № 1) находятся в зоне активной динамики водных масс, вызываемой ветровым волнением, сгонно–нагонными и компенсационными течениями. Воды мелководий насыщены большим количеством разнородных взвесей. Грунты песчаные с примесью ила и битой ракушки. Прозрачность воды по диску Секки составляет 0,5–1,5 м. Солёность воды колеблется в пределах 2–6‰. Температура придонных слоёв воды летом 24–28 °С. В таких условиях при высокой освещённости, в составе сообщества обрастаний донной станции доминирует растительный комплекс, в частности макрофиты: зелёные — *Enteromorpha*, *Cladophora* и красные — *Polysiphonia*. В целом локальное сообщество биостанции № 1 представлено тремя видами макрофитов и 7 видами животных. Основу биомассы представляют макрофиты 63% и рыбы 32%. Моллюски преимущественно *Mytilaster lineatus* и ракообразные *Balanus improvisus* в составе сообщества занимают 4% и 1% соответственно. В целом информативность локального сообщества донной станции на глубине 6 м составляет 8 баллов, что вдвое выше, чем фоновые показатели. Биомасса на 1 м² донной станции составляет 890 г и превосходит фоновое значение в 67 раз.

Природные условия в районе изобаты 12 м (станция № 2) складываются под воздействием вод Среднего Каспия. Солёность воды 6–11‰. Волновая динамика на дне ниже, чем на мелководье. Прозрачность воды по диску Секки находится в пределах 3–8 м. В составе грунтов преобладают фракции крупного песка, битой и целой ракушки.

Структура сообщества на станции № 2 незначительно отличается от таковой на мелководье. При этом, биоразнообразие локального ценоза станции № 2 возрастает за счёт появления в сообществе крабов и креветок. Увеличение биоразнообразия и биомассы происходит также за счёт появления в растительном сообществе лауренсии (индикатор чистой воды) и существенного увеличения роли баянуса и митилистра (табл. 1). При этом биомасса на 1 м² донной станции составляет 1400 г, что выше фоновых показателей в 113 раз. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты оценки текущего состояния локального сообщества в центральном районе Северного Каспия.

Структура сообщества донной станции № 3 на глубине 20 м существенно изменилась по сравнению с мелководьем. Район характеризуется преимущественно как морской. Температура на глубине установки летом меняется от 9 до 20 °С. Солёность воды изменяется в пределах 12–2,5‰. Прозрачность по диску Секки 5–15 м. Грунты представлены ракушечником. В локальном сообществе появились длиннопалые каспийские раки, исчезли зелёные водоросли (кладофора и энтероморфа). На фоне ослабления роли ихтиофауны существенно возросла биомасса митилистра. В связи с уменьшением растительного компонента и освобождения полезных площадей субстрата в сообществе возросла биомасса баянуса. Специфика природных условий на глубине 20 м способствует увеличению роли фильтраторов, усиливающих функцию самоочищения морской среды. Информативность локальных ценозов на глубинах 18–20 м по сравнению с мелководными

Таблица 2. Видовое разнообразие, биомасса и биологическая информативность локальных сообществ донных биостанций в Северном и Среднем Каспии

Станции наблюдений	Число видов		Биомасса сообщества г/м ²		Информативность сообществ в баллах		Общая биомасса ценоза донной станции, граммы
	Донная станция	Фоновый участок	Донная станция	Фоновый участок	Донная станция	Фоновый участок	
Станция № 1 (глубина 6 м)	10	7	890	13,24	8	4	15200
Станция № 2 (глубина 12 м)	13	11	1400	12,35	13	9	25000
Станция № 3 (глубина 20 м)	13	8	750	163,8	13	5	18000
Станция № 4 (глубина 30 м)	17	13	950	150	13	4	20000

практически не меняется. Биомасса на 1 м² донной станции № 3 (750 г) выше фоновых показателей в 5,5 раза (табл. 2).

Район установки станции № 4 характеризуется как типично морской. Летом температура воды на дне находится в диапазоне 9–13 °С. Солёность воды в пределах 12–12,5‰. Прозрачность по диску Секки 5–14 м. Грунты преимущественно состоят из ракушечных фракций. Локальный ценоз станции представлен сообществом, состоящим из двух видов макрофитов и четырнадцати видов фауны. Биоразнообразие существенно увеличилось за счёт появления в сообществе крупных гаммарид, мизид и толстопалых касийских раков. Кроме того, у подножья вокруг станции в большом количестве расселились крупные двустворки дидакны и церастодермы, активные фильтраторы и аккумуляторы токсикантов. Общая биомасса сообщества станции № 4 составляет 20 кг (табл. 2). Увеличение биомассы произошло за счёт расширения спектра и количества фауны обрастаний. Большая часть фауны локального ценоза станции № 4 представлена активными фильтраторами. Биомасса сообщества на 1 м² станции составила 950 г, что выше фоновых показателей в 6,3 раза. Биологическая информативность локального сообщества в 3 раза выше фоновой.

Сравнительный анализ локальных сообществ четырёх биостанций и прилежащих фоновых участков показал, что в пределах наиболее распространённых подводных ландшафтов Северного и Среднего Каспия показатели биоразнообразия и информативности и биомассы сообществ донных биостанций существенно выше, чем на прилежащих фоновых участках (табл. 1, 2).

Большая часть фауны локальных ценозов представлена активными фильтраторами, что раскрывает функциональность биостанций, как естественного биофильтра моря. При этом биомасса ценоза био-

станций в расчёте на единицу площади в 5,5–113 раз превосходит соответствующие характеристики фоновых участков, что свидетельствует об исключительной продуктивности локальных сообществ донных биостанций в пределах подводных ландшафтов Северного и Среднего Каспия.

Проведённые исследования показали, что на основе донных биостанций можно обеспечивать направленное развитие локальных биоценозов, способных выполнять следующие функции:

- значительно усилить естественную фильтрацию, осаждение и разложение большинства загрязняющих веществ, содержащихся в морской воде;
- создавать благоприятные условия для восстановления и повышения продуктивности местной флоры фауны;
- обеспечивать обильный биологический материал для физиологических исследований и контроля состояния среды методами биоиндикации и биотестирования;
- способствовать адаптации в морской среде молоди рыб в рамках искусственного воспроизводства;
- создавать убежища и продуктивные зоны для нагула ценных видов рыб;
- создавать комфортные биотопы для развития марикультуры и интродукции ценных гидробионтов из других районов моря.

Развитие данного направления предусматривает разноплановые исследования индивидуальной биологии морских организмов с целью их эффективного использования в локальных биоценозах, нацеленных на оздоровление морской среды и воспроизводство биологических ресурсов в неблагоприятных районах моря. Необходимо более детальное исследование роли и возможностей микробной составляющей биостанции, обеспечивающей деструкцию органических загрязнений. Не

меньшее значение имеет продолжение натурных экспериментов с различными конструкциями и материалами для направленного развития локальных биоценозов и придания им заданных природоохранных характеристик. Донные биостанции, оснащённые автономной контрольной аппаратурой, могут играть роль удалённых пунктов мониторинга, входящих в базовую систему мониторинга, развёрнутую в проблемных акваториях моря. Удалённые пункты мониторинга позволят также оценивать эффективность функционирования донных биостанций, как природоохранных объектов.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема № 0149–2019–0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляева В.Н., Колмыков Е.В., Степанова Т.Г. // Тез. докл. Всесоюзной конф. «Научно-технические проблемы марикультуры в стране». Владивосток, 1989. С. 71–73.
2. Блинова Е.И. // Труды ВНИРО, 2005. Т. 144. С. 286–293.
3. Ушивцев В.Б., Водовский Н.Б., Ермаков Д.И., Галактионова М.Л., Ушивцев В.В., Востоков С.В., Курапов А.А., Котеньков С.А. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2009. № 9. С. 72–76.
4. Галактионова М.Л. Перекисное окисление липидов как индикатор уровня воздействия загрязнений морских вод на рыб // Вестник Атырауского института нефти и газа. 2016. № 2(38), С. 35–41.
5. Гасанджиева А.Г., Абдурахманов Г.М., Ушивцев В.Б., Ахмедова Г.А. // Мат. межд. научно-практ. Конф. «Сохранение биологических ресурсов Каспия». 18–19 сентября 2014 г. Астрахань. Изд-во АГТУ, 2014. С. 154–159.
6. Курапов А.А., Абдурахманов Г.М., Ушивцев В.Б., Ермаков Д.И., Водовский Н.Б., Ахмедова Г.А., Гасангаджиева А.Г. // Юг России: экология, развитие. 2012. № 1. С. 37–43.
7. Курапов А.А., Ушивцев В.Б., Водовский Н.Б., Колмыков Е.В. // Тр. Каспийского филиала ИО РАН. 2016. Вып. 1. С. 248–260.
8. Сокольский А.Ф., Папова Н.В., Курапов А.А., Колмыков Е.В. Биоэкологические основы и практические результаты разработки системы защиты биологического разнообразия Каспийского моря от нефтяного загрязнения. Астрахань. Изд-во АГТУ, 2005.
9. Ушивцев В.Б. // В кн. Подводные технологии и средства освоения мирового океана. М., Изд. Дом: Оружие и технологии. 2011. С. 772–779.
10. Ушивцев В.Б., Колмыков Е.В. // Тренды, события, рынки. 2015. № 4(99). С. 8.
11. Ушивцев В.Б., Колмыков Е.В., Водовский Н.Б., Галактионова М.Л. // Мат. межд. научно-практической конф. «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности» Астрахань. 2015. С. 92–94.
12. Ушивцев В.Б., Востоков С.В., Водовский Н.Б., Галактионова М.Л., Ахмедова Г.А. // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 14. № 3. С. 13–30.
13. Okamoto M., Kuroki T., Mural T. // Bull. Jap. Soc. Fish. 1979. V. 45. P. 1085–1090.

METHODOLOGY OF DIRECTIONAL DEVELOPMENT OF LOCAL BIOCENOSSES FOR OPTIMIZATION OF MONITORING AND IMPROVEMENT OF THE MARINE ENVIRONMENT ON SHELVES OF RUSSIA

V. B. Ushvtsev, S. V. Vostokov, Corresponding Member of the RAS L. I. Lobkovsky,
N. B. Vodovsky, M. L. Galaktionova

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Received April 24, 2019

The results of field experiments on the development of local biocenoses based on bottom bio-stations situated in areas with high anthropogenic influence in the Northern and Middle Caspian region are presented. Structural and functional parameters of local communities were studied in comparison with characteristics of background biocenoses. Biodiversity and informational content of local communities as objects of monitoring and bio indication was assessed. The application of the bottom biocenosis directed development on artificial substrates for monitoring and improvement of the marine environment are discussed.

Keywords: environmental protection, bottom biocenosis, Caspian Sea, fouling community, biodiversity, specious indicators.