

ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА ГОРБАЧЕВА

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории прикладной экологии и токсикологии, Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии имени Н. М. Книповича (Мурманск, Российская Федерация)  
gorbach@pinro.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Приведены результаты биотестирования вытяжек донных отложений, отобранных в южных районах Баренцева моря. В качестве тест-объектов использовали культуру одноклеточной водоросли *Phaeodactylum tricornerutum* Bohlin и личинок жаброногого рачка *Artemia salina* L. Эксперименты показали более высокую чувствительность к загрязняющим веществам, присутствующим в донных отложениях исследованных районов моря, личинок *A. salina*. По данным биотестирования, донные отложения южной части Баренцева моря характеризуются низким уровнем загрязнения. Токсичные донные отложения регистрировались преимущественно в Западном Прибрежном районе, что указывает на более высокую загрязненность среды на этом участке. Результаты биотестов согласуются с опубликованными данными химико-аналитических исследований. Отмечены отличия в оценках качества донных отложений Западного Прибрежного района, полученных методами биотестирования и биоиндикации. Проведенные исследования подтвердили перспективность использования методов биотестирования для оценки уровня загрязнения донных отложений морских акваторий с относительно низкими уровнями содержания поллютантов.

Ключевые слова: биотестирование, донные отложения, Баренцево море, токсичность, загрязнение, *Phaeodactylum tricornerutum*, *Artemia salina*

### ВВЕДЕНИЕ

Баренцево море характеризуется более высоким уровнем загрязнения, чем другие моря Российской Арктики [2], [4]. Это обусловлено его близостью к европейским промышленным центрам, свободным водообменом с северо-европейскими морями и активной хозяйственной деятельностью на акватории и побережье.

Загрязняющие вещества, поступающие в водоем, аккумулируются донными отложениями. Уровень накопления поллютантов в донных отложениях значительно выше, чем в водной толще. Донные отложения могут выступать в качестве источника вторичного загрязнения водоема при изменении физико-химических условий на границе «вода – донные отложения» и взмучивании, вследствие гидрологических процессов, деятельности водных животных, проведения дноуглубительных и других работ на водном объекте.

Биотестирование, наряду с химико-аналитическим методом и биоиндикацией, используется для оценки качества донных отложений. С помощью химического анализа определяют уровень содержания в донных отложениях отдельных загрязняющих веществ. Биоиндикация, изучая изменения видового состава, численности, биомассы донных организмов и накопление поллютантов индикаторными видами, позволяет оценить результаты воздействий на бентосные

сообщества. Биотестирование характеризует качество донных отложений по такому показателю, как токсичность, на основе унифицированной экспериментальной оценки реакции водных организмов (тест-объектов) на токсическое воздействие [11]. Токсичность – это интегральный показатель, учитывающий воздействие на организм всего комплекса загрязняющих веществ, присутствующих в среде, и их синергетические и антагонистические влияния.

Цель работы – оценка уровня загрязнения донных отложений южных районов Баренцева моря методом биотестирования и сравнение полученных результатов с опубликованными данными химико-аналитических исследований и биоиндикации.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы донных отложений были отобраны в рейсах научно-исследовательских судов в Баренцевом море в 2009–2014 годах (рис. 1). Отбор проб производили дночерпателем Ван-Вина с площадью захвата 0,1 м<sup>2</sup>. Донные отложения замораживали до минус 18 °С и хранили до начала тестирования не более 2 месяцев.

Для анализа гранулометрического состава донных отложений использовали водноситовой метод. Изучали содержание в донных отложениях мелкозернистой фракции (> 0,063 мм), песка (от 0,063 до 2 мм) и гравия (от 2 до 63 мм).

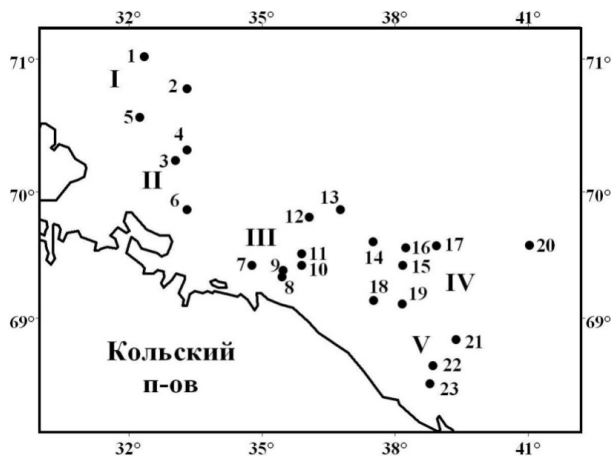


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб в Баренцевом море. I – Финмаркенская банка, II – Рыбачья банка, III – Западный Прибрежный район, IV – Мурманское мелководье, V – Восточный Прибрежный район

Токсичность донных отложений оценивали на основании биотестирования их водных вытяжек. Перед приготовлением вытяжки пробу донных отложений высушивали при температуре 20–25 °С до воздушно-сухого состояния. Затем каждую пробу донных отложений смешивали с водой из условно чистого района моря в соотношении 1:4 по объему и встряхивали в течение 2 ч. После перемешивания суспензии давали отстояться. Полученную надосадочную жидкость сливали и центрифугировали в течение 10 мин при скорости 4000 об./мин.

В качестве тест-объектов использовали культуру морской одноклеточной водоросли *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin и личинок солонатоводного жаброногого рачка *Artemia salina* L. Эти тест-организмы рекомендованы для определения токсичности морских вод и донных отложений, сточных вод разной степени солености и отработанных буровых растворов, сбрасываемых в морские воды<sup>1</sup>.

Водоросль *Ph. tricornutum* выращивали на питательной среде Гольдберга в модификации Кабановой, приготовленной на основе фильтрованной и пастеризованной морской воды соленостью 34 ‰. При постановке экспериментов руководствовались методическими рекомендациями<sup>2</sup>. В качестве регистрируемого показателя выбрали изменение численности водоросли. Количество клеток водоросли подсчитывали в камере Горяева, вычисляли процентное отношение числа клеток в вытяжке и числа клеток в контроле.

Воздействие водных вытяжек донных отложений на *A. salina* изучали по выживаемости личинок. Тестирование проводили в соответствии с методикой<sup>3</sup>. Выживаемость рачков оценивали как процентное отношение конечного количества выживших особей к их начальному количеству в каждом варианте опыта.

Длительность опытов составляла 96 ч. Результаты обрабатывали методами математической

статистики: рассчитывали среднее арифметическое и стандартное отклонение.

Водную вытяжку донных отложений считали нетоксичной для *Ph. tricornutum*, если в конце эксперимента численность клеток водоросли в ней составляла  $\geq 90$  %, слаботоксичной – 89–65 %, среднетоксичной – 64–50 %, высокотоксичной – 49–0 % от контроля. Для личинок *A. salina* вытяжка донных отложений являлась нетоксичной при выживаемости рачков в конце опыта 90–100 %, слаботоксичной – 89–65 %, среднетоксичной – 64–50 %, высокотоксичной – 49–0 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Район исследований был условно разделен на три участка: западный (юго-восточная часть Финмаркенской и северо-восточная часть Рыбачьей банок) – станции 1–6, центральный (Западный Прибрежный район) – станции 7–13 и восточный (Мурманское мелководье и центральная часть Восточного Прибрежного района) – станции 14–23.

**Западный участок.** По данным гранулометрического анализа содержание мелкодисперсной фракции (< 0,063 мм) в донных отложениях западного участка изменялось в диапазоне от 20,7 до 73,1 % (таблица). Мелкодисперсная фракция преобладала только в донных осадках, отобранных на станции 4. На остальных станциях преобладающей фракцией являлась песчаная, которая была представлена песком мелкой и средней крупности.

Гранулометрический состав донных отложений, %

№ станции	Фракции, мм			№ станции	Фракции, мм		
	< 0,063	0,063–2	2–63		< 0,063	0,063–2	2–63
1	20,7	78,8	0,5	13	21,4	78,5	0,1
2	49,6	49,5	0,9	14	6,9	91,5	1,6
3	48,4	51,6	0	15	2,8	97,1	0,1
4	73,1	26,8	0,1	16	17,6	82,3	0,1
5	39,1	60,6	0,3	17	5,2	94,7	0,1
6	28,4	71,0	0,6	18	21,4	78,5	0,1
7	11,8	87,8	0,4	19	28,4	70,6	1,0
8	6,6	92,2	1,2	20	19,5	79,7	0,8
9	15,8	81,3	2,9	21	0,6	84,6	15,0
10	38,4	61,6	0	22	–	–	–
11	25,3	70,0	4,7	23	0,3	96,6	3,1
12	28,8	70,6	0,6				

Результаты биотестирования показали, что вытяжки донных отложений станций 1–4 и 6 в течение всего эксперимента не оказывали негативного воздействия на рост водоросли *Ph. tricornutum* (рис. 2А). В них наблюдалась стимуляция размножения клеток водоросли (численность увеличивалась до 130–245 % по сравнению с контролем).

Особо следует остановиться на динамике численности водоросли *Ph. tricornutum* в вытяжке донных отложений станции 5. В 1-е сут эксперимента численность водоросли здесь снижалась до 87 %, но уже на 2-е сут возрастала до 114 %, на 3-и и 4-е сут – до 150 % по сравнению с контролем. Так как в конце опыта количество клеток

водоросли в вытяжке превышало контрольный уровень, то ее можно считать нетоксичной для водоросли. Вероятно, концентрации загрязняющих веществ в вытяжке донных отложений станции 5 уже чувствительны для *Ph. tricornutum*, но культура водоросли смогла приспособиться к изменившимся условиям среды.

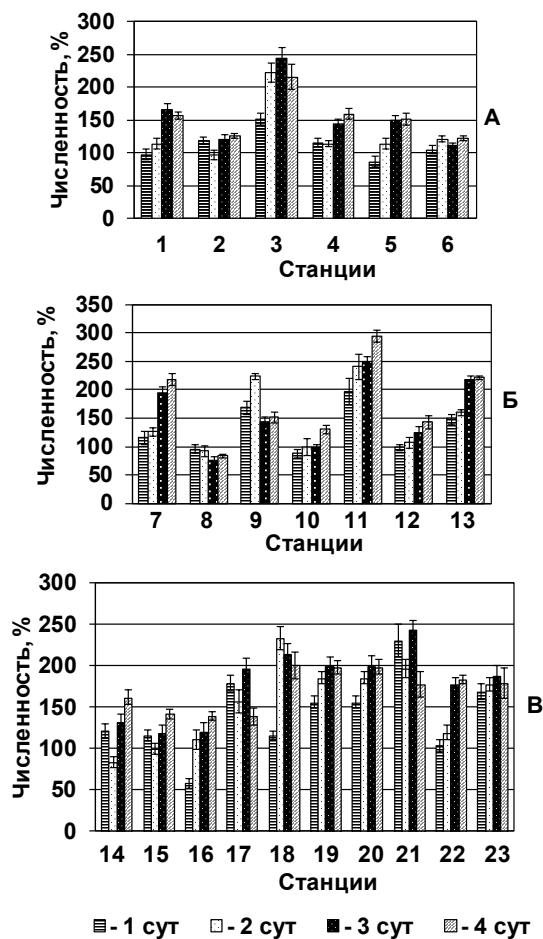


Рис. 2. Динамика численности водоросли *Ph. tricornutum* (% от контроля) в вытяжках донных отложений. А – западный, Б – центральный, В – восточный участки

Исследования на личинках *A. salina* показали слабую токсичность вытяжки донных отложений станции 4, на которой в конце эксперимента выживаемость рачков не превышала 80 % (рис. 3А). В вытяжках из донных отложений станций 1–3, 5 и 6 выживаемость рачков в течение всей экспозиции сохранялась на уровне 95–100 %, и их можно считать нетоксичными для личинок *A. salina*.

**Центральный участок.** В составе донных отложений центрального участка содержание мелкодисперсной фракции изменялось в диапазоне от 6,6 до 38,4 % (см. таблицу). Преобладающей фракцией на всех станциях являлся песок мелкой и средней крупности.

Результаты экспериментов на водоросли *Ph. tricornutum* (рис. 2Б) позволили характеризовать как слаботоксичную лишь вытяжку донных отложений станции 8 (количество клеток водо-

росли на 3-и и 4-е сутки опыта составляло 75 и 84 % по сравнению с контролем соответственно). В вытяжке донных отложений станции 10 в начале экспозиции отмечали кратковременное снижение численности *Ph. tricornutum* до 88 %, сменившееся в дальнейшем восстановлением и стимуляцией, ее следует рассматривать как нетоксичную для водоросли. Только стимуляцию размножения клеток *Ph. tricornutum* (численность увеличивалась до 140–290 % по сравнению с контролем) наблюдали в вытяжках донных отложений, отобранных на станциях 7, 9 и 11–13.

Для личинок *A. salina* токсичными оказались четыре из семи исследованных проб (рис. 3Б). В вытяжках донных отложений станций 11 и 12 выживаемость рачков составила 43 и 1 % соответственно, и их можно отнести к остроотоксичным. Слаботоксичными можно считать вытяжки донных отложений станций 8 и 13, в которых выживаемость личинок *A. salina* снижалась до 81 и 68 % соответственно. В вытяжках донных отложений станций 7, 9 и 10 выживаемость рачков была близка к контрольной – 97–100 %.

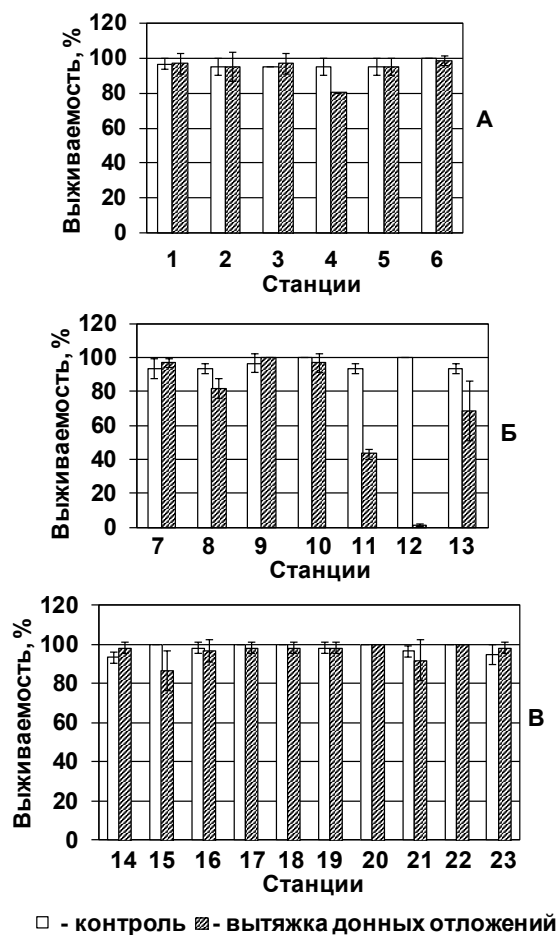


Рис. 3. Выживаемость личинок *A. salina* в вытяжках донных отложений. А – западный, Б – центральный, В – восточный участки

**Восточный участок.** В составе донных отложений, отобранных на восточном участке,

преобладала песчаная фракция – 70,1–97,1 % (см. таблицу). Она была представлена преимущественно песком мелкой и средней крупности. Содержание мелкодисперсной фракции варьировало в интервале от 0,3 до 28,4 %.

Результаты биотестирования на водоросли *Ph. tricornutum* представлены на рис. 2В. Снижение численности *Ph. tricornutum* наблюдали лишь в начале экспозиции в вытяжках донных отложений станций 14 и 16 до 83 и 58 % по сравнению с контролем соответственно. К концу эксперимента количество клеток *Ph. tricornutum* в вытяжках донных отложений станций 14 и 16 возрастало и превосходило контрольный уровень на 40–60 %, что позволяет считать их нетоксичными для водоросли. В вытяжках донных отложений станций 15 и 17–23 отмечали только стимуляцию роста культуры *Ph. tricornutum* (численность клеток водоросли достигала 140–240 % по сравнению с контролем).

Результаты экспериментов с личинками *A. salina* (рис. 3В) показали слабую токсичность для них вытяжки донных отложений станции 15 (выживаемость рачков снижалась до 87 %). В вытяжках из донных отложений остальных станций, располагавшихся на восточном участке, выживаемость рачков сохранялась на уровне 92–100 %, и их можно характеризовать как нетоксичные для личинок *A. salina*.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты биотестирования свидетельствуют об относительно низких уровнях загрязнения донных отложений исследованных районов Баренцева моря. Токсичными для тест-объектов являлись лишь 26 % изученных проб. Причем среди токсичных донных отложений преобладали слаботоксичные. Наиболее чувствительны к загрязняющим веществам, присутствующим в донных отложениях южных районов Баренцева моря, оказались личинки *A. salina*.

В подавляющем большинстве экспериментов в течение всей экспозиции регистрировали стимуляцию роста водоросли *Ph. tricornutum*, что может быть обусловлено увеличением содержания в вытяжках биогенных элементов. В донных отложениях происходит регенерация и накопление биогенов, и их повышенные концентрации могут наблюдаться в вытяжках и при отсутствии загрязнения. Эффект стимуляции роста одноклеточных водорослей из-за увеличения содержания в среде биогенных элементов отмечают при тестировании вытяжек из донных отложений, почв и отходов, а также сточных вод [9], [10], [12]. Благоприятное воздействие биогенов, вероятно, способствовало снижению чувствительности биотеста на водоросли *Ph. tricornutum* к действию токсикантов, содержащихся в вытяжках донных отложений.

В составе донных отложений исследованных районов Баренцева моря преобладала песчаная фракция. Содержание мелкодисперсной фракции снижалось в направлении с запада на восток.

Мелкодисперсные донные осадки (алевриты и пелиты) способны аккумулировать более значительные количества загрязняющих веществ, чем грубодисперсные (пески), обладающие пониженными адсорбционными характеристиками. Вместе с тем снижение доли токсичных проб на участках в направлении с запада на восток не наблюдалось. Токсичные донные отложения отмечали преимущественно в центральной части района исследований – Западном Прибрежном районе. Три пробы донных отложений, отобранных на этом участке, оказались токсичными для личинок *A. salina*, одна – для личинок *A. salina* и водоросли *Ph. tricornutum*. Причем две пробы донных отложений были отнесены к остроотоксичным для рачков.

С помощью биотестирования можно оценить лишь общую токсичность исследуемых проб, но невозможно выявить химические соединения, присутствие которых стало причиной негативно воздействия на тест-организмы. Поллютанты поступают в район исследований вместе с водами Мурманского Прибрежного течения в результате атмосферного переноса и хозяйственной деятельности на акватории и побережье. Мурманское Прибрежное течение является продолжением Норвежского Прибрежного течения, рассматриваемого в настоящее время в качестве одного из наиболее значимых источников загрязнения прибрежных районов Баренцева моря металлами, хлорорганическими соединениями, нефтяными углеводородами и др. [4]. Более высокий уровень накопления токсичных соединений в донных отложениях Западного Прибрежного района может быть обусловлен как дополнительным поступлением их из местных источников загрязнения, так и особенностями гидродинамических условий и рельефа дна, определяющих аккумуляцию поллютантов.

Результаты биотестирования указывают на относительно низкое накопление токсикантов в донных отложениях южных районов Баренцева моря в целом и более значительное загрязнение Западного Прибрежного района, что согласуется с опубликованными данными химического анализа. Исследование загрязненности донных отложений Баренцева моря в 1998–2014 годах показало, что в 2005–2014 годах в Западном Прибрежном районе регистрировали пробы с более высоким содержанием мышьяка, свинца, дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и его метаболитов, в Восточном Прибрежном районе единично отмечали повышенное накопление ртути [8]. В целом результаты химико-аналитических исследований указывают на низкий уровень загрязнения донных отложений открытых районов Баренцева моря. Средние концентрации тяжелых металлов, таких как медь, цинк, хром, кобальт, свинец, кадмий и ртуть, ниже, чем их кларки

в донных отложениях Мирового океана, и соответствуют региональным фоновым уровням [15]. Накопление нефтепродуктов в донных отложениях варьирует в интервале от следовых величин до 80 мгк/г сухой массы [4], что существенно ниже фонового уровня характерного Западно-Арктического шельфа – 340 мгк/г сухой массы [2]. Вместе с тем содержание никеля в донных отложениях изменяется в диапазоне от 7,7 до 56,7 мгк/г сухой массы и зачастую превышает фоновый уровень – 30 мгк/г сухой массы [15]. В открытых районах Баренцева моря повсеместно присутствуют полихлорированные бифенилы (ПХБ), гексахлорциклогексан (ГХЦГ), ДДТ и его метаболиты. Согласно классификации Норвежского государственного агентства по контролю загрязнения (Statens forurensningstilsyn, SFT) [14], по содержанию ГХЦГ и ПХБ донные отложения Баренцева моря можно считать незагрязненными, по уровню аккумуляции ДДТ – умеренно загрязненными [15].

Негативное воздействие вытяжек донных отложений на тест-организмы может быть обусловлено как повышенным содержанием в них какого-либо отдельного поллютанта, так и синергическим действием нескольких загрязняющих веществ. Использование методов биотестирования позволяет учитывать токсичность всех поллютантов, накопленных в среде, в том числе и тех загрязняющих веществ, химико-аналитическое определение которых не проводилось.

Несмотря на присутствие на ряде участков токсичных (по данным биотестирования) донных отложений, в это же время в бентосных сообществах Западного Прибрежного района не наблюдалось изменений, которые можно было бы связать с негативным воздействием антропогенного пресса. Результаты исследований указывают на благополучное состояние сообществ макрозообентоса в Западном Прибрежном районе [1]. Согласно этим данным, донные сообщества района отличаются высоким видовым разнообразием – средняя величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности, составляла 4,2–5,6 бит/особь (максимальные значения отмечены на прибрежных мелководьях и отражают многообразие условий обитания гидробионтов). В ненарушенных экосистемах информационное биоразнообразие, рассчитанное по численности видов, обычно находится в пределах 2–5 бит/особь [3]. На долю плотоядных в бентосных сообществах Западного Прибрежного района приходится 9–11 % биомассы [1], что также характерно для стабильных, ненарушенных сообществ Баренцева моря [6], [7]. Основу фауны сообществ составляют многощетинковые черви и моллюски, биомасса невысокая – 42–49 г/м<sup>2</sup> [1]. Состояние донных сообществ в открытых районах всей южной части Баренцева моря рассматривается как благополучное [13].

Отличия в оценках качества донных отложений Западного Прибрежного района, полученные разными методами, могут быть связаны с неравномерным распределением токсикантов в донных отложениях. Характерной особенностью является неоднородность в пространстве – так называемая пятнистость<sup>4</sup>. Неравномерное распределение поллютантов в донных отложениях обусловлено рядом факторов – локализацией и характером источников загрязнения, динамикой вод, гранулометрической дифференциацией осадка, геохимическими свойствами элементов и др. [5]. Несмотря на то что химико-аналитические исследования [8], изучение бентосных сообществ [1] и токсичности донных отложений проводились на одних и тех же участках Западного Прибрежного района, расстояние между станциями отбора проб могло достигать нескольких сотен метров и более. Результаты биотестирования лучше согласуются с данными химико-аналитических исследований, характеризующими загрязненность на большем количестве станций в течение длительного периода и позволяющими представить более полную картину накопления поллютантов в донных отложениях Западного Прибрежного района. Биотестирование и исследование донных сообществ проводились на значительно меньшем количестве станций, что, принимая во внимание неравномерное распределение поллютантов в донных осадках, могло стать одной из причин разной оценки экологической ситуации в Западном Прибрежном районе, полученной этими методами. Так, состояние донных сообществ исследовалось только на четырех станциях, которые исключительно сложны для проведения мониторинговых работ по причине высокой гетеротопности природной среды и пестроты состава и распределения донных сообществ [1]. Следует учитывать, что, по данным биотестов, чувствительными к загрязняющим веществам, аккумулярованным в донных отложениях исследованной акватории, оказались представители ракообразных (личинки жаброногого рачка *A. salina*). На долю ракообразных в исследованных бентосных сообществах Западного Прибрежного района приходится только 12–13 % видового состава и несколько процентов суммарной биомассы [1]. Кроме того, поллютанты могли накапливаться в донных отложениях постепенно, и гидробионты, возможно, успели адаптироваться к достигнутым уровням загрязнения среды.

## ВЫВОДЫ

По данным биотестирования, донные отложения южной части Баренцева моря характеризуются низким уровнем загрязнения. Токсичные донные отложения регистрировались преимущественно в Западном Прибрежном районе, что

указывает на более высокую загрязненность среды на этом участке. Результаты биотестирования согласуются с опубликованными данными химико-аналитических исследований. Вместе с тем в представленных в литературе сведениях о сообществах макрозообентоса Западного Прибрежного района и южных районов Баренцева моря в целом отмечено их благополучное и ненарушенное состояние. Основным фактором, определившим отличия в оценках качества дон-

ных отложений Западного Прибрежного района, полученных с использованием методов биотестирования и биоиндикации, вероятно, является неравномерное распределение поллютантов в донных отложениях. Результаты проведенных исследований еще раз подтвердили перспективность использования методов биотестирования для оценки уровня загрязнения донных отложений морских акваторий с относительно низкими уровнями содержания поллютантов.

#### ПРИМЕЧАНИЯ

- <sup>1</sup> Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА: НИА–Природа, 2002. 118 с.
- <sup>2</sup> ГОСТ Р 53910-2010 Вода. Методы определения токсичности по замедлению роста морских одноклеточных водорослей *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin и *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. М.: Стандартинформ, 2010. 41 с.
- <sup>3</sup> ГОСТ Р 53886-2010 Вода. Методы определения токсичности по выживаемости морских ракообразных. М.: Стандартинформ, 2010. 35 с.
- <sup>4</sup> РД 52.24.635–2002 Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 29 с.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Восточная часть Баренцева моря: экологические исследования района Штокмановского ГКМ и инфраструктурных объектов / Под. общ. ред. В. В. Миносяна, О. В. Титова. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2015. 282 с.
2. Гуревич В. И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М.: Научный мир, 2002. 134 с.
3. Денисенко С. Г. Информационная мера Шенона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса) // Исследование фауны морей. 2006. Вып. 56 (64). С. 35–46.
4. Ильин Г. В. Распространение загрязняющих веществ в шельфовых морях Российской Арктики // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 1. М.: ГЕОС, 2009. С. 124–163.
5. Котельянец Е. А., Овсяный Е. И., Орехова Н. А., Коновалов С. К. Влияние геохимических характеристик донных отложений шельфовой зоны Украины на распределение тяжелых металлов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2013. Т. 27. С. 312–317.
6. Кузнецов А. П. Закономерности распределения пищевых группировок донных беспозвоночных в Баренцевом море // Труды института океанологии АН СССР. 1970. Т. 88. С. 50–80.
7. Кузнецов А. П. Экология донных сообществ Мирового океана (трофическая структура морской донной фауны). М.: Наука, 1980. 244 с.
8. Новиков М. А., Жилин А. Ю. Динамика уровней загрязнения донных отложений Баренцева моря в последнее десятилетие // Природные опасности: связь науки и практики: Материалы II Междунар. научно-практ. конф., Саранск 23–24 апреля 2015 г. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. С. 319–325.
9. Олькова А. С. Биотестирование в научно-исследовательской и природоохранной практике России // Успехи современной биологии. 2014. Т. 43. № 6. С. 614–622.
10. Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. Т. 5. Эколого-токсикологические аспекты загрязнения морской среды / Под. ред. С. А. Пагина. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 116 с.
11. Соколова С. А., Старцева А. И. Экотоксикологические исследования в Двинском заливе Белого моря // Комплексные исследования экосистемы Белого моря: Сб. науч. тр. М.: Изд-во ВНИРО, 1984. С. 94–104.
12. Щеголькова Н. М., Козлов М. Н., Данилович Д. А., Канцерова Т. А. Сравнительная оценка методов биотестирования речных и очищенных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2001. № 2. С. 2–8.
13. Anisimova N. A., Jørgensen L. L., Lyubin P. A., Manushin I. E. Mapping and monitoring of benthos in the Barents Sea and Svalbard waters: Results from the joint Russian-Norwegian benthic programme 2006–2008 // IMR-PINRO Joint Report Series. 2010. № 1. P. 5–114.
14. Mølvær J., Knutzen J., Magnússon J., Rygg B., Skei J., Sørensen J. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning // SFT Veiledning. 1997. Vol. 97. No 3. P. 1–36.
15. The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation (T. Jakobsen, V. K. Ozhigin, Eds.). Trondheim, Tapir Acad. Press, 2011. 825 p.

Gorbacheva E. A., Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Murmansk, Russian Federation)

#### BIOASSAY FOR SEDIMENT POLLUTION ESTIMATION IN THE SOUTHERN AREAS OF THE BARENTS SEA

The results of an elutriate bioassay of sediment from the southern areas of the Barents Sea are presented. Unicellular *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin alga and brine shrimp *Artemia salina* L. larvae were used as test objects. Experiments revealed a higher sensitivity of *A. salina* larvae to pollutants present in the sediment from the studied sea areas. According to the bioassay data, sediments in the southern part of the Barents Sea show a low pollution level. Toxic sediments were mostly found in the western coastal area, which points to a highly polluted marine environment in this area. The bioassay results are consistent with the published data

of chemical analytical studies. Differences were noted in the quality estimations of the sediments in the western coastal area obtained by bioassay and bioindication methods. The research results confirmed the potential of bioassay for sediment pollution level estimation in sea areas with a relatively low level of pollutants.

Key words: bioassay, bottom sediments, the Barents Sea, toxicity, pollution, *Phaeodactylum tricornutum*, *Artemia salina*

## REFERENCES

1. Eastern part of the Barents Sea: ecological investigations of the Shtokman gas and condensate field area and infrastructure facilities. (V. V. Minosyan, O. V. Titov, Eds.). Murmansk, 2015. 282 p. (In Russ.)
2. Gurevich V. I. Recent sedimentogenesis and environment on the Arctic shelf of Western Eurasia. Moscow, 2002. 134 p. (In Russ.)
3. Denisenko S. G. Shannon's information measuring and its application to the estimation of biodiversity (by the example of marine zoobentos). *Explorations of the fauna of the seas*. 2006. Issue 56 (64). P. 35–46. (In Russ.)
4. Il'in G. V. Pollutants distribution in the Russian Arctic shelf seas. *Geology and geocology of Eurasian continental margins*. Issue 1. Moscow, 2009. P. 124–163. (In Russ.)
5. Kotel'yanec E. A., Ovsyanyj E. I., Orekhova N. A., Kononov S. K. Influence of the geochemical characteristics of bottom sediments in Ukraine's shelf zone on the distribution of heavy metals. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. 2013. Vol. 27. P. 312–317. (In Russ.)
6. Kuznetsov A. P. Patterns of the bottom invertebrate trophic group distribution in the Barents Sea. *Trudy instituta okeanologii AN SSSR*. 1970. Vol. 88. P. 50–80. (In Russ.)
7. Kuznetsov A. P. Ecology of the bottom communities in the World Ocean (trophic structure of the marine bottom fauna). Moscow, 1980. 244 p. (In Russ.)
8. Novikov M. A., Zhilin A. Yu. Dynamics of contamination levels of the Barents Sea bottom sediments over the last decade. *Proc. II Int. Conf. "Natural hazards: links between science and practice"*. Saransk, 2015. P. 319–325. (In Russ.)
9. Ol'kova A. S. Bioassay in Russian research and environmental practices. *Biology Bulletin Reviews*. 2014. Vol. 43. No 6. P. 614–622. (In Russ.)
10. Problems of the World Ocean chemical pollution. Vol. 5. Ecological and toxicological aspects of marine pollution. (S. A. Patin, Ed.). Leningrad, 1985. 116 p. (In Russ.)
11. Sokolova S. A., Startseva A. I. Ecotoxicological investigations in the Dvina Bay of the White Sea. *Complex studies of the White Sea ecosystem: collected papers*. Moscow, 1984. P. 94–104. (In Russ.)
12. Shegolkova N. M., Kozlov M. N., Danilovich D. A., Kancerova T. A. Comparative evaluation of bioassay methods for river and treated water studies. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2001. No 2. P. 2–8. (In Russ.)
13. Anisimova N. A., Jørgensen L. L., Lyubin P. A., Manushin I. E. Mapping and monitoring of benthos in the Barents Sea and Svalbard waters: Results from the joint Russian-Norwegian benthic programme 2006–2008. *IMR-PINRO Joint Report Series*. 2010. № 1. P. 5–114.
14. Mølvær J., Knutzen J., Magnusson J., Rygg B., Skei J., Sørensen J. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. *SFT Veiledning*. 1997. Vol. 97. No 3. P. 1–36.
15. The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation (T. Jakobsen, V. K. Ozhigin, Eds.). Trondheim, Tapir Acad. Press, 2011. 825 p.

Поступила в редакцию 21.06.2018