

Каспийский филиал
ФГБУН «Институт океанологии
им. П.П. Ширшова» РАН



Труды Каспийского филиала ИО РАН

Выпуск 1
«Окружающая среда и экосистема
Каспийского моря»

Астрахань 2016

**Каспийский филиал
ФГБУН «Институт океанологии
им. П.П. Ширшова» РАН**



**Труды
Каспийского филиала
ИО РАН
Выпуск 1
«Окружающая среда и экосистема
Каспийского моря»**

Ответственные редакторы:
Кандидат биологических наук **В.Б. Ушивцев**
Кандидат географических наук **С.К. Монахов**

Астрахань 2016

УДК 504.42

ББК 26.221:28.082

Т 78

Труды Каспийского филиала ИО РАН. Выпуск 1. Окружающая среда и экосистема Каспийского моря / Отв. ред. к.б.н. В.Б. Ушивцев, к.г.н. С.К. Монахов. – Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2016. – 278 с.

ISBN 978-5-91910-478-0

Первый выпуск Трудов Каспийского филиала ИО РАН включает материалы многолетних исследований состояния окружающей среды и биологических сообществ Каспийского моря. Рассматриваются вопросы геофизики, гидрологии, гидрохимии и геохимии, гидробиологии. Изложены подходы и методология мониторинга состояния и загрязнения морской среды и экосистемы Каспия. Предлагаются новые технологии морских подводных исследований.

В сборник также включены 2 работы по гидрологии и экологии Черного моря, имеющие интерес с точки зрения сравнения природных условий этих двух южных российских морей.

© Каспийский филиал ИО РАН, 2016

© Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2016

Оглавление

Предисловие.....	6
------------------	---

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

С. А. Ковачев

Микросейсмичность Среднего Каспия по результатам донных сейсмологических наблюдений.....	9
------------------------------------------------------------------------------------------	---

А.К. Амбросимов

Комплексные гидрофизические исследования системы течений Среднего Каспия	38
--------------------------------------------------------------------------------	----

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ю.Б. Елецкий, Б.Д. Елецкий, М.Ю. Кужель, И.Ю. Елецкий, В.Г. Крючков

Расчет штормоустойчивости гидробиотехнических сооружений для выращивания мидий	61
--------------------------------------------------------------------------------------	----

ХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

С.К. Монахов, Е.В. Колмыков, В.В. Ушивцев, К.И. Асаева, О.В. Енина

Динамика загрязнения морской среды при строительстве трубопровода внешнего транспорта на месторождении им. В. Филановского	72
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Е.В. Островская, К.В. Литвинов, Е.В. Колмыков, Н.В. Попова, Т.С. Пронина

Содержание и состав углеводов в донных отложениях фоновых районов Астраханского биосферного заповедника.....	83
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Е.В. Островская, М.В. Войнова, Т.С. Пронина

Содержание и состав углеводов в донных отложениях на устьевом взморье реки Волги	98
----------------------------------------------------------------------------------------	----

В.О. Татарников, С.К. Монахов, Г.А. Монахова

Загрязнение различных типов вод Северного Каспия.....	111
-------------------------------------------------------	-----

В.Б. Ушивцев, А.В. Кузин, О.И. Бакун, Г.А. Монахова, Р.И. Умербаева, Р.А. Рахимбирдиев

Состояние окружающей среды в районе месторождения им. Ю. Корчагина в 2015 году.....	128
-------------------------------------------------------------------------------------	-----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Т.В. Васильева, Е.В. Колмыков, К.И. Асаева, Г.А. Монахова, Д.В. Кашин*
Анализ распределения фитопланктона в западной части Северного Каспия в целях охраны окружающей среды..... **141**
- Н.Б. Водовский, Е.В. Колмыков, Р.И. Умербаева, М.В. Войнова*
Состояние макрозообентоса в районе месторождения им. Ю. Корчагина на Северном Каспии **155**
- Н.Б. Водовский*
Особенности бентофауны в районах ликвидированных поисково-оценочных скважин в Северном Каспии **167**
- К. В. Литвинов, С. А. Подоляко*
Анализ прохождения нерестовых миграций массовых видов рыб в западной части нижней зоны дельты Волги в 2013-2015 гг. **181**
- Р.И. Умербаева, Е.К. Курашова*
Наблюдения за развитием веслоногого рачка *Calanipeda aquaedulcis* в Северном Каспии **195**
- В.Б. Ушивцев, А.А. Курапов, Н.Б. Водовский, Е.В. Островская, М.Л. Галактионова*
Формирование локального сообщества в районе строительства поисково-оценочной скважины в северной части Каспийского моря **202**
- В.Б. Ушивцев, А.А. Курапов, Н.Б. Водовский, В.В. Ушивцев, Е. В. Островская, М.Л. Галактионова*
Влияние подводных трубопроводов на биоту Северного Каспия..... **213**

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Ю.Б. Елецкий, И.Ю.Елецкий, М.Ю. Кужель*
Экологические условия восточной части Черного моря для развития марикультуры моллюсков **228**
- А.А. Курапов, В.Б. Ушивцев, Н.Б. Водовский, Е.В. Колмыков*
Обоснование использования стационарных донных станций для мониторинга состояния и загрязнения морской среды и биоты Северного Каспия..... **248**

ТЕХНИКА ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.Г. Алексеев, И. Д. Ермаков, В.Г. Краснов, Д. И. Ермаков

Инструментарий для исследования термальных процессов в поверхностных слоях грунтов водоемов..... **260**

Б.Я. Розман, А.В. Ёлкин, А.С. Капцов, И.Д. Ермаков, Д.И. Ермаков, В.Г. Краснов, Л.С. Кондрашов

Модернизация телеуправляемого подводного аппарата «Супер Гном Про» для мониторинговых работ в Каспийском море..... **269**

ПРЕДИСЛОВИЕ

С целью развития научно-технической базы комплексных океанологических исследований Каспийского моря в 2005 году в г. Астрахани был создан Каспийский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Сегодня без такой базы невозможна реализации системного подхода, основанного на применении новых научных технологий, контактных и дистанционных методов зондирования, подводных обитаемых и необитаемых аппаратов, наблюдательных платформ, расположенных на морском дне, в водной толще, на поверхности моря, в атмосфере над ним и в космическом пространстве, которые осуществляют непрерывную регистрацию разнообразных океанологических параметров.

Основные направления деятельности Каспийского филиала были определены следующим образом:

- фундаментальные исследования по комплексному изучению Каспийского моря;
- исследование гидрофизических процессов, связанных с формированием водных масс, их структурой, взаимодействиями в системе «море-атмосфера-суша», мониторинг состояния вод океанов и морей, изучение оптических и акустических явлений;
- определение химического состава морских экосистем, определение роли органического вещества, его молекулярного и изотопного составов в процессах седименто- и литогенеза, в формировании химического состава морских вод;
- развитие биоокеанологических исследований в целях создания теории, объясняющей функционирование пелагических экосистем, определение баланса вещества и энергии в морских экосистемах, разработка принципов мониторинга;

– исследование геологического строения и эволюции морского дна, изучение процессов седиментогенеза, комплексные исследования нефтегазоносных бассейнов, изучение катастрофических процессов и георисков;

– инженерно-экологические изыскания, разработка научных основ геоэкологического мониторинга, разработка и создание новых технологий океанологических наблюдений.

Со времени создания Каспийского филиала прошло более 10 лет. Конечно, не все из перечисленных выше направлений океанологических исследований были реализованы в полной мере. Для этого необходимо, как минимум, на порядок увеличить его численность, что пока невозможно. Но небольшому творческому коллективу удалось решить главную задачу – поднять планку океанологических исследований Каспийского моря на новую высоту за счет применения новых научных технологий, в т.ч. водолазной техники и подводных управляемых аппаратов.

Особо следует отметить исследования, целью которых является научное обоснование использования искусственных рифов на Северном Каспии для решения различных прикладных задач. Важно, что специалисты Каспийского филиала рассматривают такие рифы как сооружения, функции которых можно разнообразить в зависимости от конструкции и материалов с учетом структурно-функциональной организации морских экосистем и природных условий в месте их установки. С этой точки зрения рифы можно рассматривать как объект, в котором фундаментальные исследования находят свое практическое воплощение. Конструкция искусственного рифа, предложенная специалистами филиала, запатентована. В различных модификациях она используется для оздоровления морской среды, защиты ее от загрязнения, экологического мониторинга и повышения биопродуктивности акватории.

Еще одним важным направлением исследований Каспийского филиала стали подводные обследования устьев ликвидированных скважин, число ко-

торых в российской части Каспийского моря постоянно растет по мере расширения масштабов нефтегазодобывающей деятельности.

Из двух названных выше направлений исследований выкристаллизовалось еще одно – биоокеанологическое. В рамках данного направления Каспийским филиалом ведутся исследования биологических сообществ перифитона и бентоса Каспийского моря, их динамики и эволюции под влиянием природных и антропогенных факторов.

Результаты исследований, проводимых филиалом, призван осветить первый выпуск научных трудов, который объективно показывает научную состоятельность Каспийского филиала ИО РАН. В подготовке этого выпуска приняли участие специалисты головного института, других научных организаций, предприятий морских отраслей экономики. Это придало выпуску дополнительное разнообразие, подчеркнув научный авторитет Каспийского филиала, всегда открытого для сотрудничества со всеми, кто ведет исследования Каспийского моря.

Член-корреспондент РАН

Л.И. Лобковский



ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МИКРОСЕЙСМИЧНОСТЬ СРЕДНЕГО КАСПИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДОННЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

С. А. Ковачев

ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», Москва, Нахимовский проспект, д. 36, kovachev@ocean.ru

Ключевые слова: донные сейсмологические наблюдения; Средний Каспий; микроземлетрясения; субдукция.

Keywords: marine seismological observations; Middle Caspian; microearthquake; subduction.

Abstract

Microearthquake data of the Middle Caspian region have been revised. These data were obtained as a result of OBS observations by P.P. Shirshov Institute of Oceanology in 2004 and 2006. A layer of the earthquake foci descending under the area of the Caspian Sea was detected. Also in this layer, there were found earthquake foci which occurred at the district of Grozny and in the area to the north of the Apsheron Ridge. Probably, the detected layer of earthquake foci is associated with a subduction or a pseudo-subduction of the Eastern Caucasus structures and the South Caspian lithosphere under the Scythian-Turan Plate.

Введение

Изучаемый район находится в зоне сочленения альпийской структуры Юго-Восточного Кавказа и Скифско-Туранской платформы. Он характеризуется сложным геологическим строением, многие аспекты которого все еще не расшифрованы или являются спорными. Сложность геологического строения отражается в строении земной коры и геофизических полей. Согласно имеющимся данным в направлении от Кавказского побережья в сторону Среднего Каспия наблюдается резкое сокращение мощности земной коры от 50-55 км до 40 км (градиент мощности составляет от 0,2 км/км до 0,6 км/км).

К югу от Аграханского побережья практически до Дербента прослеживается меридиональная гравитационная ступень отрицательных аномалий в редукции Буге, которая затем резко изгибается в юго-восточном направлении

и протягивается до Краснодарского залива [3]. Отрицательная гравитационная аномалия, по-видимому, связана с глубоким погружением фундамента и мощной толщей осадочного чехла. Эта аномалия совпадает с границей Скифско-Туранской платформы и альпийских структур Большого Кавказа и Южного Каспия или с передовым прогибом Большого Кавказа (Куринская депрессия).

Вдоль той же границы протягивается региональный магнитный линеамент [3]. Наличие магнитного линеамента, по-видимому, связано с особенностями земной коры района, поскольку температура вещества верхней мантии, подстилающей земную кору здесь, скорее всего, превышает точку Кюри, при которой происходит потеря магнитных свойств вещества.

Отмеченные геолого-геофизические особенности Яламо-Самурского района необходимо учитывать при обсуждении сейсмологических данных.

В акватории Среднего Каспия неоднократно происходили мантийные землетрясения с глубинами очагов 40-100 км. В этом районе фиксировались сильные землетрясения с магнитудами $M > 6$. Первое надежное сообщение относится к землетрясению 1911 г. (магнитуда $M=6,4$, глубина очага $h=30-70$ км, или более точно 46 км). Землетрясение произошло под южным бортом Дербентской впадины, к северо-востоку от Апшеронского п-ова. Согласно макросейсмическим данным сейсмический эффект на побережье Дагестана достигал 5 баллов шкалы MSK-64 [13].

Первое зарегистрированное сейсмическими станциями мантийное землетрясение произошло в 1935 г. ($M=6,3$, $h \sim 90$ км). Его очаг локализован под западным бортом Дербентской впадины примерно в 50 км к востоку от Дербента.

Кроме этих упомянутых сейсмических событий известны также следующие мантийные землетрясения: 1931 г. ($M=6,2$, $h \sim 70$ км), 1961 г. ($M=6,6$, $h \sim 64 \pm 10$ км) и 1963 г. ($M=6,2$, $h \sim 55$ км) [13].

Мантийные землетрясения к северу от Апшеронского порога и на Юго-Восточном Кавказе, по-видимому, провоцируются поддвигом в северном или северо-восточном направлении субокеанической литосферы Южно-Каспийской субплиты под Апшеронский порог [16, 17, 23-25].

Полученные в результате донных сейсмологических наблюдений данные заставляют предполагать, что соотношения крупных литосферных блоков – Кавказа, Скифской платформы и Южно-Каспийской субплиты – могут иметь более сложный, чем предполагалось ранее, характер, и что западнее Апшеронского порога может происходить противоположно направленное погружение глубинного материала под структуры Юго-Восточного Кавказа [9].

Локальные очаги мантийных землетрясений значительно большей интенсивности, чем в рассматриваемом регионе, известны в коллизионных поясах (зона Вранча в Карпатах, Гиндукуш). Такая "остаточная" сейсмичность связывалась с независимым погружением мантийной части континентальной литосферы в зонах континентальной коллизии [22].

Полученных данных было недостаточно для того чтобы решить, возможен ли в какой-то мере подобный процесс в зоне взаимодействия Скифской платформы и Большого Кавказа. Можно было говорить лишь о постановке проблемы.

Описание эксперимента 2004 г.

Летом 2004 г. в акватории Среднего Каспия были выполнены донные сейсмологические наблюдения с использованием донных сейсмографов Института океанологии РАН (ИО РАН).

Работы выполнялись по заказу ООО «ЛУКОЙЛ». Основной задачей детальных сейсмологических наблюдений 2004 г. было уточнение сейсмической опасности для объектов обустройства нефтегазовой структуры (месторождения) Яламо-Самур, расположенной приблизительно в 30 км от побере-

жья Дагестана в акватории Среднего Каспия. Сейсмологические наблюдения проводились с помощью донных сейсмографов ИО РАН и других организаций. Целью детальных сейсмологических исследований Яламо-Самурской структуры и ее окрестностей в радиусе 100 км было изучение сейсмичности для определения основных параметров сейсмических воздействий на проектируемые инженерные сооружения.

Для решения этой задачи была развернута сеть из 10 донных сейсмографов, 4 из которых были расставлены по углам «большого» прямоугольника со сторонами 15 и 20 км, образуя внешний контур регистрации. Столько же станций было установлено внутри, по углам «малого» прямоугольника, со сторонами 5 и 6 км. Наконец, одна станция располагалась в центре малого прямоугольника, и последняя, десятая, – вблизи центра площадки. Большинство донных станций были буйкового типа (6 ДС), и по ним получена основная сейсмологическая информация, так как 4 самовсплывающие ДС были утеряны.

Параметры донных станций неоднократно публиковались в печати (см., например, [14,15]). Не вдаваясь в подробности, отметим, что основные параметры регистрации следующие: полоса регистрируемых частот – 3-30 Гц, динамический диапазон записи – от 96 до 120 дБ, реализуемое увеличение сейсмометрических каналов – до 500000 и выше, автономность до 45 суток и более для отдельных типов приборов.

Такие характеристики приборов дают возможность регистрировать очень слабые толчки – микроземлетрясения с магнитудами M_L от 0 до 2,5 ($M \sim 0,5-3,0$), что позволяет получить достаточно представительную сейсмологическую информацию в течение коротких сроков наблюдений. Так, за 90 суток регистрации на Яламо-Самурском участке удалось получить записи порядка 150 микро- и слабых землетрясений с $M_L = 0,1-3,5$ ($M \sim 0,6-4,0$) в районе радиусом 180 км вокруг центра наблюдательной сети. Кроме того, донными

сейсмографами зарегистрировано свыше ста удаленных землетрясений на эпицентральных расстояниях от 200 до 2000 км.

Локализация гипоцентров производилась по программе НУРО-71 [27] на основе скоростного разреза для Предкавказского участка профиля Волгоград-Нахичевань [11], экстраполированного на район Среднего Каспия.

Вследствие больших размеров района и ограниченной апертуры наблюдательной сети ошибки определения эпицентров достигали ± 10 км, глубин гипоцентров до ± 20 км.

Результаты наблюдений 2004 г.

В результате интерпретации записей донных станций была построена карта эпицентров микро- и слабых землетрясений в радиусе 125 км вокруг центра наблюдательной сети (рис. 1). Общей особенностью сейсмичности по данным сети донных станций являлась повышенная сейсмическая активность прибрежной части акватории по сравнению с активностью побережья. Этот результат отличался от характеристики сейсмичности по наблюдениям региональных станций, расположенных на суше, согласно которым картина пространственного распределения обратная. Такое расхождение, по-видимому, являлось следствием различия в размещении и чувствительности сухопутных и донных станций. Первые, будучи расположенными с одной стороны по отношению к сейсмоактивной области в прибрежной части акватории и имея в десятки раз (примерно в 25-50 раз) меньшую чувствительность, практически не регистрировали землетрясения с магнитудами $M < 3,0$.

Кроме того, вследствие одностороннего расположения сухопутных станций по отношению к сейсмоактивной области возникал эффект «притяжения» эпицентров землетрясений сетью этих станций.

В расположении эпицентров микро- и слабых землетрясений вокруг Яламо-Самурского участка (рис. 1) прослеживались следующие тенденции. Более плотная группа в северо-западной части района была вытянута почти

перпендикулярно побережью, а, следовательно, и к простиранию структур. В восточной и юго-восточной частях района намечались линейные группы эпицентров, субпараллельные побережью. Более явно эта тенденция прослеживалась в расположении эпицентров землетрясений юго-восточной (прибрежной) части района.

Была отмечена еще одна особенность в распределении землетрясений по данным донных станций – это тенденция к заглублению гипоцентров микро- и слабых землетрясений в юго-западном направлении, в сторону структур Юго-Восточного Кавказа, до 100-150 км. Более четко она проявлялась при проецировании гипоцентров землетрясений на вертикальную плоскость, проходящую через центр Яламо-Самурского участка в направлении с северо-востока на юго-запад (азимут примерно 55°). На рис. 2 приведена проекция гипоцентров землетрясений из полосы шириной по 100 км по обе стороны от вертикальной плоскости А-А' (см. рис. 1). В этом случае на глубинах свыше 70-80 км просматривалась наклонная сейсмофокальная зона (зона Беньофа). Ее «мощность» составляла около 40 км, а угол наклона под структуры Юго-Восточного Кавказа – примерно 35° .

Следует отметить, что субвертикальная группа мантийных землетрясений под Яламо-Самурской площадкой на глубинах 55-95 км наблюдается и по данным региональных станций, но эти землетрясения малочисленны и не распространяются далее ± 25 км от проекции центра района. Все данные о гипоцентрах глубже 100 км соответствуют землетрясениям с $M_L \geq 1,6$.

Условный до известной степени характер обнаруженной сейсмофокальной зоны определяется значительным рассеянием мантийных микро- и слабых землетрясений. Размытое пространственное распределение очагов наблюдается как над верхней ее границей (в большей степени), так и под нижней и далее, в сторону акватории на расстояниях от 50 до 175 км от центра сети донных станций.

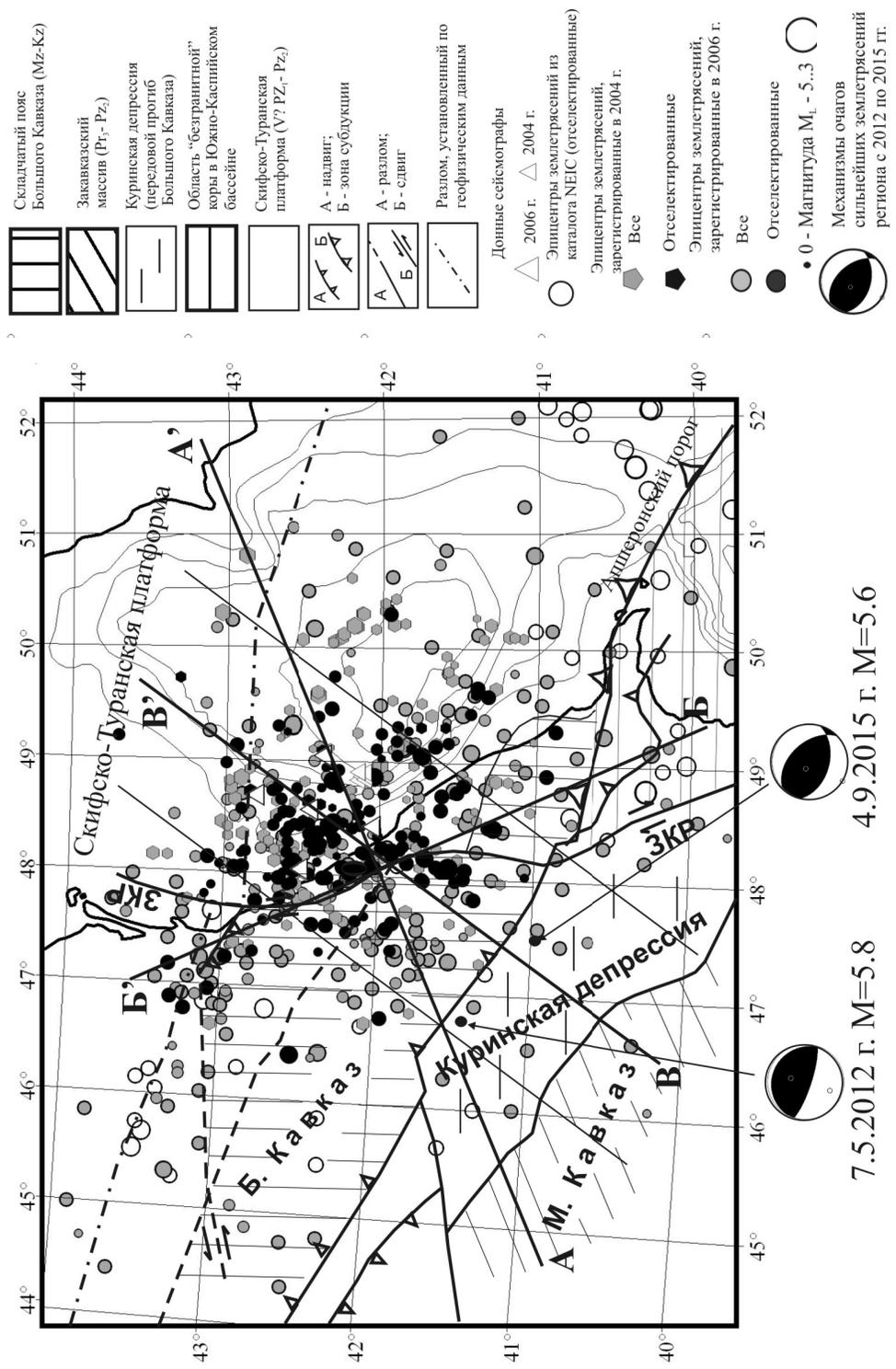


Рис. 1 Карта эпицентров микро- и слабых землетрясений Среднего Каспия, построенная в результате донных сейсмологических наблюдений 2004 и 2006 гг. с элементами тектоники из работы [8]

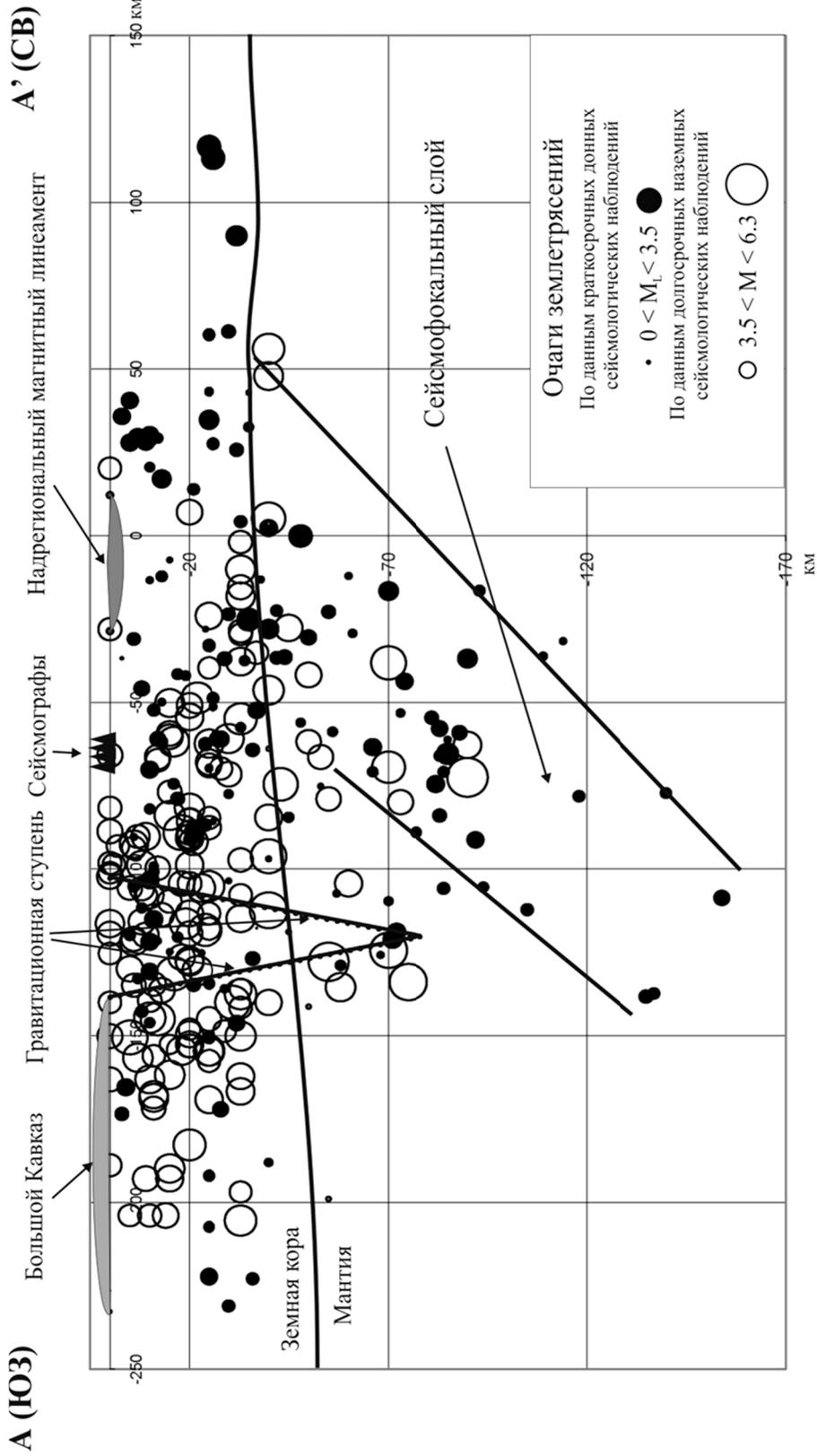


Рис. 2 Вертикальный разрез через очаговую зону вдоль линии А-А' (см. рис. 1)

Одной из возможных причин разброса гипоцентров в верхней мантии могут быть значительные ошибки их локализации (см. выше).

С учетом рассмотрения всех факторов, определяющих распределение мантийных землетрясений, было сделано предположение о существовании своеобразной сейсмофокальной зоны, наклоненной под структуры Большого Кавказа [9]. Более определенное суждение об этом феномене мантийной сейсмичности трудно было высказать. Одной из причин неопределенности такого заключения являлся тот факт, что полученное пространственное распределение мантийных землетрясений было построено по данным сети наблюдений с малой апертурой.

Более уверенное суждение по этому поводу можно было бы сформулировать на основе результатов наблюдений сетью с достаточно широкой расстановкой донных сейсмографов (до 50-100 км). В случае подтверждения описываемого результата, потребовался бы пересмотр существующих представлений о взаимодействии альпийских структур Юго-Восточного Кавказа и Туранской плиты.

Описание эксперимента 2006 г.

Заключение о наличии и параметрах сейсмофокального слоя в мантии района Среднего Каспия можно было бы сформулировать на основе результатов повторных наблюдений с использованием расстановки донных сейсмографов с достаточно широкой базой (расстояния между пунктами регистрации на дне должны быть не менее 50 км). Надежная сейсмологическая информация о параметрах мантийной сейсмичности Среднего Каспия позволила бы подтвердить или опровергнуть тектоническую интерпретацию, сделанную по результатам наблюдений 2004 г., которые подверглись справедливой критике [21], хотя авторы работы отмечали предположительный характер сделанных выводов [9].

Повторный сейсмологический эксперимент был спланирован и проведен в апреле–июле 2006 г. с учетом недостатков наблюдений 2004 г.

Наблюдения 2006 г. проводились с помощью сети донных сейсмографов, имеющей форму конверта и состоящей из 5 станций, установленных в виде правильного квадрата со стороной 50 км с центральной точкой (см. рис. 1).

Сейсмографы были установлены с борта НИС РИФТ 26 апреля 2006 г. и подняты 16 июля 2006 г., таким образом, суммарная продолжительность регистрации составила 80 суток.

Все донные станции устанавливались с использованием притопленных буюв. В эксперименте использовались цифровые станции конструкции ИО РАН, описание которых приводится в работе [7].

Характеристики приборов и условия работы сейсмографов на морском дне дают возможность регистрировать очень слабые толчки – микроземлетрясения с магнитудами M_L , начиная от 0 ($M_S \geq 0,5$), что позволяет получить достаточно представительную сейсмологическую информацию в течение коротких сроков наблюдений. Так, за 90 суток регистрации на Яламо-Самурской структуре в 2004 г. удалось определить параметры очагов 150 микро- и слабых землетрясений с $M_L = 0,1-3,5$ ($M_S=0,6-4,1$), а в 2006 г. за 75 суток записи было локализовано более 400 гипоцентров таких же землетрясений в районе радиусом 180 км вокруг центра наблюдательной сети.

По данным геофизической службы РАН, сеть наземных сейсмических станций Дагестана за этот же промежуток времени зарегистрировала только 21 землетрясение, включая как местные, так и удаленные, причем энергетический класс этих сейсмических событий попадал в диапазон от 7,1 до 10,6 ($M_S=1,7-3,7$).

Наибольшее количество сейсмических событий зарегистрировано донным сейсмографом, установленным в самой северной точке (глубина моря 390 м), здесь амплитуда фонового сейсмического шума была минимальной.

Интенсивные шумы появлялись на записях станций, установленных вблизи берега, – западная и южная точки (особенно в южной точке). Здесь, по-видимому, проявлялся прибойный эффект.

К обработке принимались землетрясения, зарегистрированные не менее чем 3 сейсмическими станциями, на записях которых достоверно определялись времена вступлений продольных (P) и поперечных (S) волн.

Локализация гипоцентров так же, как и в 2004 г. производилась по программе НУРО-71 [27] на основе скоростного разреза для Терско-Каспийского прогиба участка профиля Волгоград–Нахичевань [11], экстраполированного по простиранию на район Среднего Каспия. Параметры разреза приведены в табл. 1.

Таблица 1

Скоростная модель среды для района Среднего Каспия, использованная для определения координат местных землетрясений

№	Слой	Мощность слоя	Скорость V_p , км/с
1	Осадки	6 км	3.15
2	"грано-диориты"	7 км	5.55
3	"граниты"	7 км	6.05
4	"базальты-1"	11 км	6.5
5	"базальты-2"	11 км	7.05
6	Верхняя мантия	-//-	8.1

Вследствие больших размеров района, превосходящих апертуру наблюдательной сети станций, ошибки определения эпицентров в 2004 г. достигали ± 10 км, глубин гипоцентров до ± 20 км. Увеличение расстояний между станциями в 2006 г. уменьшили ошибки локализации в радиусе до 100 км до ± 3 км для эпицентров и до ± 7 км по глубине. Однако на периферии района в радиусе 100–180 км вокруг центра ошибки имели величину, сопоставимую с данными для 2004 г.

Карта очагов слабых и микроземлетрясений, полученная в результате кратковременных донных сейсмологических наблюдений (80 суток в 2006 г.), также представлена на рис. 1.

Рассматриваемое эпицентральное поле характеризовалось наличием линейных элементов и кластеров. Основная наиболее плотная группа эпицентров землетрясений наблюдалась вдоль Дагестанского побережья на суше (глубины очагов 10–40 км) и в акватории Каспия (глубины очагов 10–80 км) вдоль круто падающего к северо-востоку борта Дербентской впадины. Эта группа прослеживается с северо-запада на юго-восток примерно от $42,6$ до $41,3^\circ$ С.Ш. При этом в состав последней группы наряду с коровыми вошли мантийные землетрясения с очагами на глубинах от 100–150 до 200 км.

На северо-западе района выделялась изометричная группа поверхностных (0–60 км) землетрясений, концентрировавшихся к западу от Махачкалы. В центральной части акватории Каспия и под Большим Кавказом к западу от Апшеронского полуострова наблюдалась рассеянная сейсмичность.

На рис. 3 и 4 приведены вертикальные разрезы вдоль плоскостей АА', ориентированной в направлении ЮЗ-СВ, и ББ', имеющей субмеридиональное направление. На разрезы нанесены гипоцентры землетрясений по донным наблюдениям в 2004 и 2006 гг., а также многолетним наземным наблюдениям из полос ± 100 км от осевой плоскости.

На рис. 3 показано положение Западно-Каспийского разлома. Из рис. 3 следует, что наиболее глубокие очаги (50–200 км) выделяются под разломом в области от 60 км к юго-западу от его линии до 90 км к северо-востоку, образуя рассеянную группу.

Сейсмоактивная зона резко обрывается на юго-западном фланге разреза в 100 км от плоскости разлома под структурами Большого Кавказа, где сейсмичность представлена плотной группой коровых землетрясений.

В северо-восточном направлении высокая плотность очагов наблюдается на расстоянии до 100 км от зоны разлома, причем, вблизи разлома (0–50

км) преобладает скопление корово-мантийных землетрясений (глубины очагов до 60 км), а на участке от 50 до 100 км глубины очагов возрастают до 100 км. В результате наблюдается тенденция к наклону группы очагов в этом интервале расстояний к СВ. На северо-восточном фланге разреза (100-250 км) отмечается рассеянная сейсмичность с постепенным уменьшением глубины гипоцентров от 90 до 40–50 км.

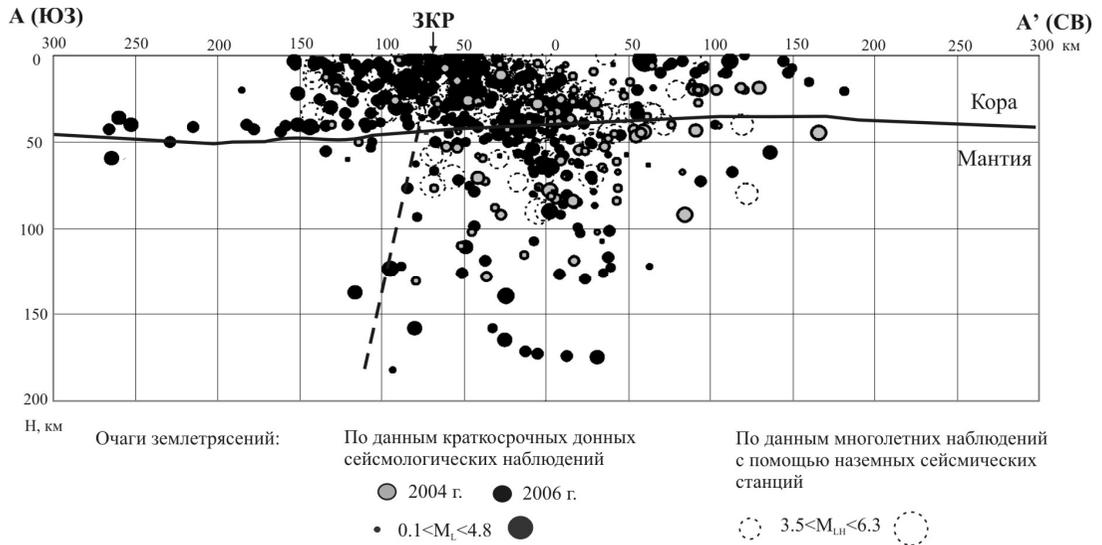


Рис. 3 Проекция очагов землетрясений на вертикальную плоскость вдоль линии AA' (см. рис. 1) [8]

На рис. 4 показан разрез по линии ББ', перпендикулярный предыдущему, в субмеридиональном направлении с центром в точке пересечения осей разрезов. На этом сечении гипоцентры мантийных землетрясений на глубинах до 100 км сосредоточены на удалениях до ± 170 км от плоскости разреза вдоль линии AA' к юго-востоку (Апшеронский порог) и северо-западу (Махачкала).

Наиболее плотное скопление очагов коровых землетрясений наблюдается в полосе шириной около 90 км (от 20 км к ЮВ от линии AA' до 70 км к СЗ от нее). Менее плотные группы гипоцентров выделяются на участках раз-

реза от 20 до 100 км к ЮВ и 70–120 км к СЗ от линии АА'. На концах разреза отмечается рассеянная сейсмичность.

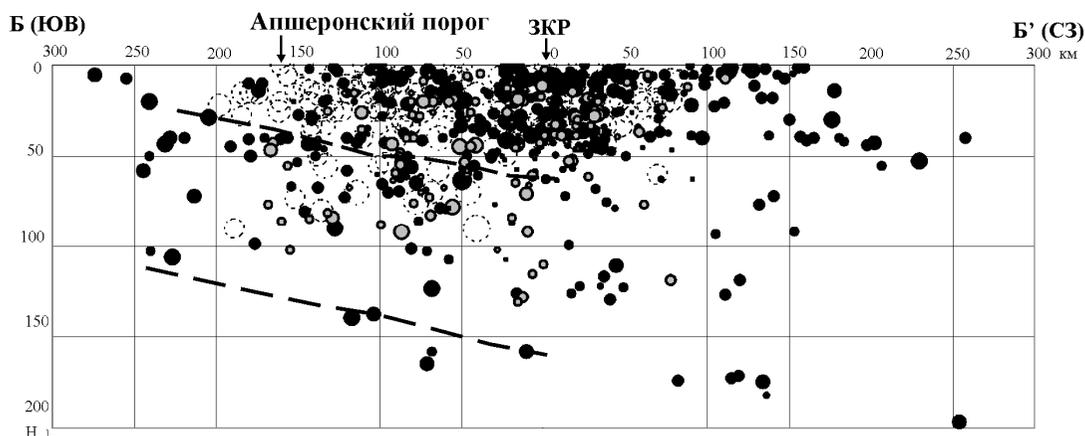


Рис. 4 Проекция очагов землетрясений на вертикальную плоскость вдоль линии ББ' (см. рис. 1) [8]. Условные обозначения приведены на рис. 3

Резюмируя описание сейсмичности на карте и разрезах, необходимо отметить, что более высокий уровень сейсмической активности коромантийных землетрясений (глубины до 60 км) наблюдается в центральной части Среднего Каспия. Распределение мантийных землетрясений на глубинах 50–200 км имеет рассеянный характер в виде субвертикального облака на поперечном разрезе (АА') со слабым наклоном к СЗ на продольном разрезе (ББ').

Интерпретация данных первого этапа наблюдений в 2004 г. предполагала существование в пределах центральной части Каспийского моря глубинной сейсмофокальной зоны, погружавшейся с северо-востока на юго-запад в сторону Дагестанского побережья Каспия. Хотя расположение гипоцентров зарегистрированных землетрясений допускало такую интерпретацию (рис. 2), природа подобной зоны оставалась непонятной и не увязывалась с известными геологическими и геофизическими данными. Неудивительно, что публикация предварительных результатов подверглась серьезной критике [21].

Прежде всего, возникал вопрос, с какой структурой могла быть связана глубинная сейсмофокальная зона, выделенная в пределах Среднего Каспия?

Обычно подобные зоны образуются на конвергентных границах плит в результате поддвига океанической или, реже, континентальной литосферы. В пределах Среднего Каспия никакой конвергентной границы нет. Предполагалось [9], что в данном случае речь может идти о независимом проскальзывании мантийной части литосферы в результате коллизии Скифской плиты и Кавказа вдоль дагестанского побережья. Однако и здесь коллизионная зона отсутствует. Вдоль дагестанского побережья протягивается Западно-Каспийская система разломов сдвигового или взбросо-сдвигового характера (см. ниже), но признаков значительного поддвига каспийских структур под Кавказ здесь нет. Даже если бы такой подвиг существовал, выделенная сейсмофокальная зона должна была бы проследиваться под Большой Кавказ, чего на самом деле не наблюдалось (см. [9]).

Работы 2006 г. выявили большое количество (более 400) новых гипоцентров землетрясений, в результате чего выделение сейсмофокальной зоны стало далеко не очевидным. Стало ясно, что проблема мантийной сейсмичности в пограничном районе Кавказа и Среднего Каспия нуждается в более глубоком анализе с учетом сейсмологических и структурных факторов, не принимавшихся во внимание в предварительном варианте.

После обработки данных 2006 г. оказалось, что область распространения мантийных землетрясений отчетливо разделяется на западный (кавказский) и восточный (каспийский) секторы, разделенные Западно-Каспийской системой субмеридиональных разломов (см. рис. 3). Эта система прослеживается от Аграханского полуострова на севере, через разломы восточного ограничения Дагестанского клина и продолжается к югу разломами, отделяющими Южно-Каспийский бассейн от Куринской депрессии и Талышского выступа [5]. Для разломов характерны большие (несколько километров) вертикальные смещения с опущенным восточным крылом, а также правосдвиговые смещения.

Доминирующим современным тектоническим процессом в Западном секторе является поддвиг Закавказского массива (ЗМ) под альпийский складчатый пояс Кавказа. Складчатый пояс Большого Кавказа (БК) образовался в результате замыкания и инверсии раннемезозойского–палеогенового эпиконтинентального бассейна рифтового типа. Лишь в конце ранней юры в осевой зоне рифта, возможно, произошло формирование узкой (десятки километров?) зоны с корой океанического типа [1, 6].

Складчатый пояс Большого Кавказа характеризуется южновергентными надвигами, образовавшимися в результате поддвига Закавказского Массива под Кавказ [20]. Активное надвигание большекавказских структур на Туапсинский прогиб и Куринскую депрессию (передовые прогибы) продолжается до настоящего времени. Горизонтальное сжатие, реализующееся за счет хрупкой деформации (смещений по разломам), обуславливает довольно высокую сейсмичность Большого Кавказа, сосредоточенную в слое мощностью около 50 км [19].

Немногочисленные определения фокальных механизмов говорят о взбросовых или надвиговых смещениях вдоль плоскостей разломов, падающих на север [26] (см. рис. 1). Горизонтальное сокращение в пределах Кавказа, вычисленное по сумме сейсмических моментов крупных землетрясений, составляет 3–4 мм/г.

В складчатом поясе Большого Кавказа шириной около 100 км нет мантийных землетрясений. Они появляются в пограничной зоне Большого Кавказа и Скифской платформы в районе г. Грозный. Здесь за период с 1973 по 1987 гг. по записям станции Белый уголь было выделено 30 землетрясений с глубинами гипоцентров 80–120 км [4]. Эпицентры этих землетрясений образуют цепочку большекавказского простирания протяженностью около 150 км. С учетом нескольких землетрясений с глубинами от 60 до 150 км, выявленных в ходе исследований донными станциями, зона мантийных землетрясений может быть продолжена до Махачкалы, так что её общая протяжен-

ность достигает 250 км. В 2006 г. в 50 км к северу от Грозного было зарегистрировано землетрясение с $M=5,1$ и глубиной гипоцентра 145 км.

На продольном профиле вдоль кавказского побережья (см. рис. 4) хотя и не четко, намечается постепенное заглубление гипоцентров в северо-западном направлении, что согласуется с представлением о субдукции с юга. Здесь ориентировочно может быть выделена полого погружающаяся плита мощностью 70–80 км. В северном направлении плита может быть прослежена на 150 км до пересечения линии профиля с Западно-Каспийским разломом.

Однако проблематичной оставалась природа мантийных землетрясений к востоку от Махачкалы. Очаги слишком удалены от зоны субдукции, чтобы их можно было с уверенностью отнести за счет поддвига Южно-Каспийской литосферы.

В работе [20] В.Е. Хаин пишет: «И не случайно в современную эпоху начиная с меридиана Грозного и далее к востоку наблюдаются мантийные землетрясения, свидетельствуя о достаточно масштабном проявлении субдукции, вернее псевдо-субдукции. И нет необходимости искать другие механизмы, порождающие эти землетрясения для сектора к западу от Западно-Каспийской зоны разломов, как это делают авторы работы [8]».

Пересмотр данных по землетрясениям Среднего Каспия

Основные выводы, полученные в результате анализа данных о микросейсмичности Среднего Каспия, следующие:

1. С тектонической точки зрения изученный регион делится на 2 сектора – западный и восточный. В западном секторе происходит подвиг континентальной литосферы Закавказского массива под складчатый пояс Большого Кавказа. С учетом независимого проскальзывания литосферы Закавказского массива по модели Л.И. Лобковского [12], возможна связь глубокофокусных землетрясений района Грозного с этим поддвигом.

2. В восточном секторе доминирующим процессом является, по-видимому, поддвиг литосферы Южно-Каспийского бассейна под южную окраину Скифской платформы. Согласно новым данным, поддвиг может иметь значительно больший (до 200–250 км) масштаб, чем это предполагалось ранее. Об этом свидетельствует широкое распространение весьма глубокой (до 200 км) сейсмичности в районе детальной съемки с донными сейсмографами.

3. Упомянутые секторы разделены зоной глубинного Западно-Каспийского разлома, контролирующей расположение очагов нескольких глубоких землетрясений. Судя по профилю ЮЗ-СВ (см. рис. 3) зона разлома субвертикальна или слабо наклонена к западу, что исключает предполагавшийся ранее поддвиг каспийских структур под Кавказ. В процессе поддвига Южно-Каспийской литосферы Западно-Каспийский разлом выполняет трансформную функцию.

4. Полого наклоненное на юго-запад ограничение области мантийных землетрясений, видное на диагональном профиле (см. рис. 4), может быть отчасти связано с неравномерной изученностью сейсмичности вдоль зоны Апшеронского порога. Возможно также, что возрастание сейсмической активности при приближении к Западно-Каспийскому разлому связано с увеличением линейной скорости поддвига по мере удаления от полюса вращения Южно-Каспийской микроплиты относительно Евразии.

Было сделано предположение, что полученные «размытые» картины пространственного распределения микроземлетрясений в плане и на разрезах связаны со значительными ошибками в определениях координат эпицентров и глубин очагов микро- и слабых землетрясений, зарегистрированных в результате донных сейсмологических наблюдений в 2004 и 2006 гг.

Поэтому сейсмические события с ненадежной локализацией были удалены из каталогов микроземлетрясений 2004 и 2006 гг. При этом использовались следующие критерии:

1. Среднеквадратичные отклонения (RMS) расчетных и наблюдаемых времен прихода продольных и поперечных волн на донные сейсмографы не должны быть более 0,1 с.

2. Количество вступлений объемных сейсмических волн, использованных для расчета координат и глубин очагов, должно быть не менее 6.

3. Точность определения плановых координат эпицентров микроземлетрясений должна быть не хуже 1 км.

4. Точность определения глубин очагов микроземлетрясений должна быть не хуже 2 км.

После выполненной с помощью этих критериев селекции в каталоге микроземлетрясений 2004 г. осталось только 21 сейсмическое событие из 144, а в каталоге 2006 г. осталось 154 микроземлетрясения из 416.

Кроме того, для построения уточненных разрезов были использованы данные о землетрясениях района Каспийского моря и Восточного Кавказа из каталога Геологической службы США (NEIC) [28] за период наблюдений с начала 2000 г. по конец 2015 г. Эти данные были также отселектированы с использованием критерия $RMS < 0,8$ сек. После селекции из 706 землетрясений осталось только 49. Для них ошибки определения плановых координат эпицентров не превышали 7 км, а ошибки определения глубин очагов - 10 км.

На рис. 5 представлен вертикальный разрез с проекциями очагов микроземлетрясений, построенной вдоль линии ВВ', показанной на рис. 1. Разрез построен по азимуту 25°.

На него нанесены очаги, попавшие в полосу ± 75 км от линии разреза (см. рис. 1). Азимут 25° соответствует ортогональному направлению к структурам Апшеронского порога.

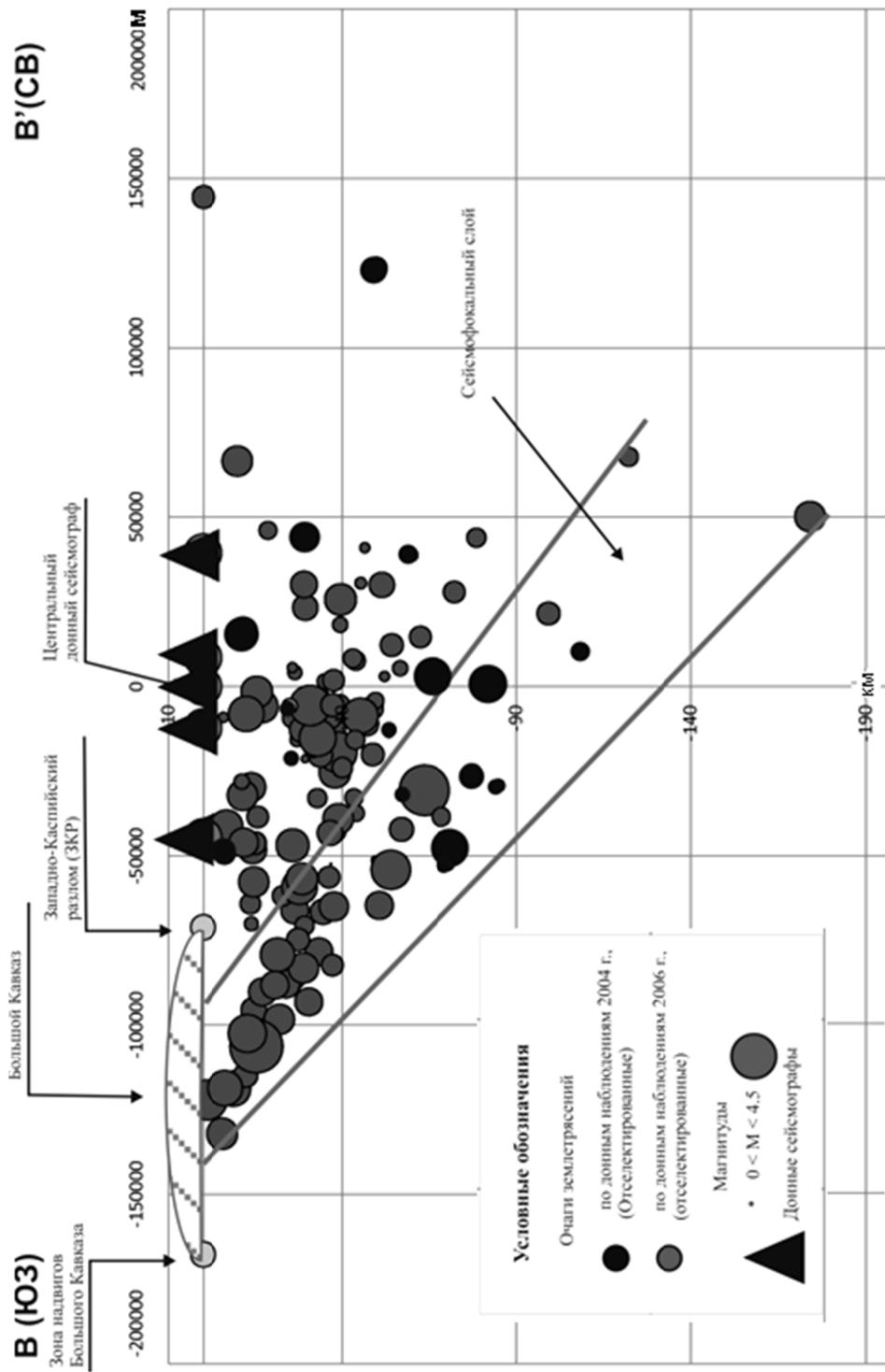


Рис. 5 Вертикальный разрез с проекциями очагов микроземлетрясений, построенной вдоль линии ВВ', показанной на рис. 1, в коридоре ± 75 км

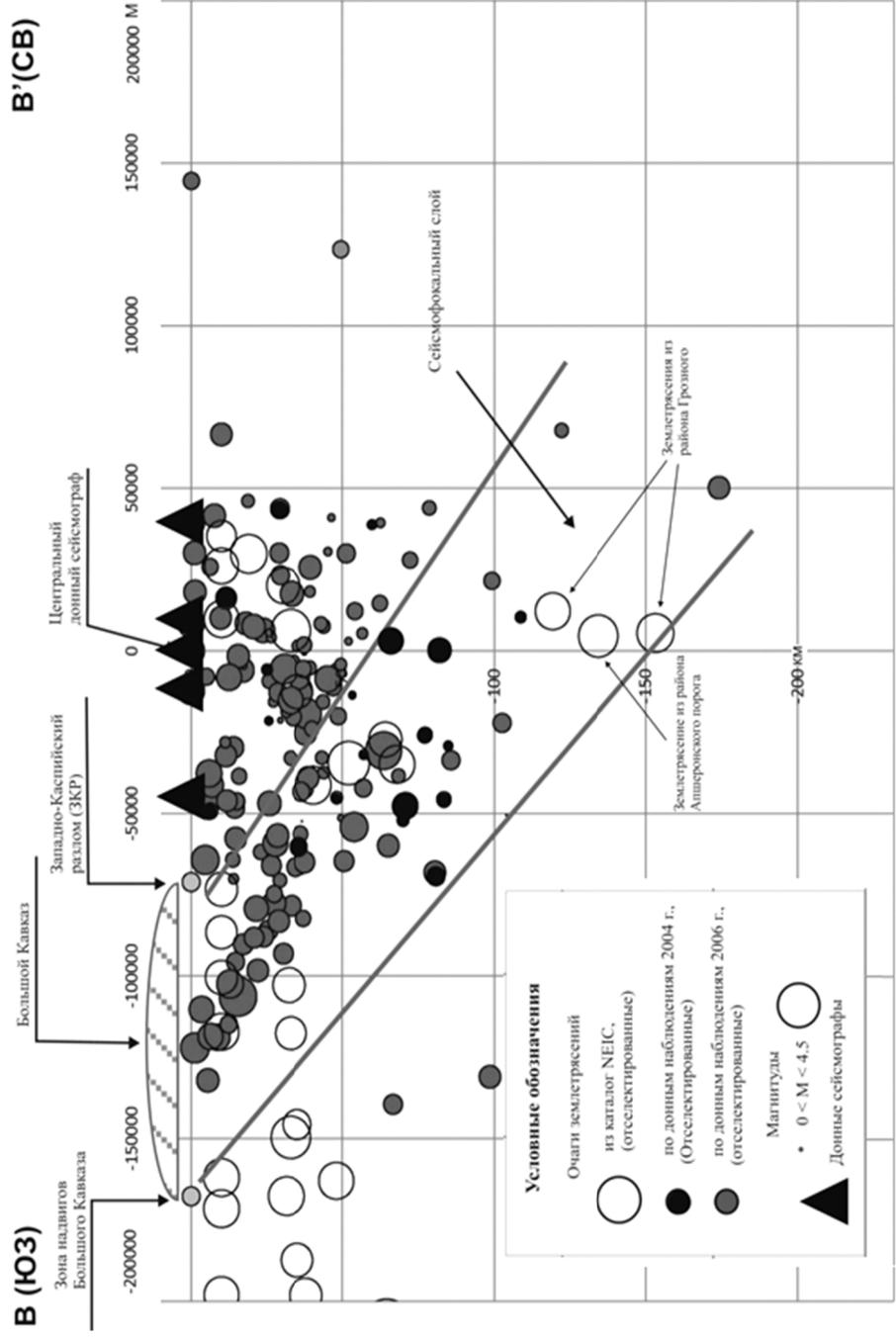


Рис. 6 Вертикальный разрез с проекциями очагов микроземлетрясений, построенной вдоль линии **ВВ'**, показанной на рис. 1, в коридоре ± 300 км

На разрезе выделяется сейсмофокальный слой мощностью до 50 км, падающий от структур Большого Кавказа под акваторию Каспийского моря до глубины 180 км. На этот разрез очаги землетрясений из каталога NEIC не попали. Кроме того, здесь отмечается полное отсутствие очагов землетрясений под нижней границей сейсмофокального слоя, как коровых, так и мантийных.

На другом разрезе (рис. 6) показаны очаги землетрясений, попавшие в полосу ± 300 км от осевой линии ВВ' на рис. 1. Здесь мощность сейсмофокального слоя составляет 70 км, и присутствуют очаги землетрясений из каталога NEIC. Причем, часть из них произошла в районе Грозного, а часть – к северу от Апшеронского порога.

Полученные разрезы показывают, что, скорее всего, происходит погружение структур Восточного Кавказа под Скифско-Туранскую литосферную плиту. Кроме того, необходимо отметить, что сейсмические процессы в мантии, происходящие в районе Апшеронского порога, в районе Среднего Каспия и Грозного, генетически связаны и определяются поддвигом структур Восточного Кавказа и литосферы Южного Каспия под Скифско-Туранскую плиту ортогонально структурам Апшеронского порога.

Обсуждение результатов

В работе [18] исследуется пространственно-временное и энергетическое развитие сейсмических процессов вдоль основных линеаментных сейсмогенных структур: Иран-Кавказ-Анатолийской структуры, Центрально-Азиатского региона и области перехода от орогена к Скифской и Туранской платформам. Одной из главных задач этих исследований является экстраполяция сейсмогеодинамических процессов на сопредельные равнинные территории и выявление мест потенциальных очагов крупных землетрясений.

В данной работе выделяется сейсмогенная линеаментная структура - профиль Крым-Копетдаг. Согласно [18] этот профиль является поперечным к

направлению действующих геодинамических сил со стороны Аравийской плиты, и включает в себя два морских участка – прибрежную северо-восточную область Черного моря и центральную часть Каспия.

Профиль можно разделить на четыре части. Участок профиля от Крыма до середины Большого Кавказа характеризуется небольшим количеством слабых и умеренных землетрясений, однако по палеосейсмологическим данным здесь обнаруживаются очень крупные древние сейсмические события.

Следующей частью профиля является сейсмически активная восточная половина Большого Кавказа. Центральная часть Каспийского моря отнесена к третьему участку профиля, а четвертый - относится к Копетдагу.

Очаги местных землетрясений, приуроченные к профилю Крым-Копетдаг, обнаруживаются преимущественно в земной коре, и лишь отдельные возникают на глубинах до 50 и даже 100 км в акватории Каспийского моря, в Копетдаге и в восточной части Большого Кавказа.

Согласно [18] самые крупные землетрясения вдоль этого профиля произошли на Азербайджанском и Туркменском берегах Каспийского моря. Это землетрясение 1668 г. ($M=7,8$) - в районе г. Шемаха, в юго-восточных отрогах Большого Кавказа, и землетрясение 1895 г. на западе Туркмении, южнее города Красноводск ($M=7,9$). В XX - начале XXI вв. возникли землетрясения с $M=7,0-7,5 (\pm 0,2)$ в прибрежной зоне Крыма (1927 г., $M=6,8$), на Кавказе - Шемахинское (1902 г., $M=6,9$), Рачинское (1991 г., $M=6,9$), в Туркмении - Казанджикское (1946 г., $M=7,0$) и Балханское (2000 г., $M=7,3$). В настоящее время сейсмически активен участок акватории Каспийского моря, соединяющий полуострова Челекен и Апшерон (Апшеронский порог). Здесь в 1911, 1931, 1935, 1986 и 1989 гг. произошли землетрясения с $M=6,0-6,5 (\pm 0,2)$. Имеются сведения о сейсмических событиях 1100 и 1750 гг. с $M=7,0 \pm 0,2$, случившихся на северо-западе Большого Кавказа. В XX в. здесь произошли Тебердинское землетрясение 1905 г. ($M=6,4$), Чхалтинское 1963 г. ($M=6,4$) и Рачинское 1991 г. ($M=6,9$) в местах, где ранее землетрясений подобной вели-

чины не было отмечено. Для северо-западного окончания профиля наряду с Ялтинским землетрясением 1927 г. с $M=6,8$ известны менее крупные сейсмические события, в том числе Анапское землетрясение 800 г. до н.э. ($M=6,5$), Керченские: Понтикапейское - 63 г. до н.э. ($M=6,4$) и 275 г. ($M=6,4$), Нижнекубанское 1879 г. ($M=6,0$).

Профиль Крым-Копетдаг вытянут поперек направления действия геодинамических сил со стороны Аравийской плиты. Это свидетельствует о том, что геологические структуры вдоль профиля Крым-Копетдаг, ортогональные действующему давлению Аравийской плиты, как бы испытывают горизонтальное «расплющивание», обуславливающее разнонаправленную миграцию вдоль них сейсмической активизации [18].

Отсюда можно сделать вывод, что сеймотектонические процессы, происходящие вдоль всего профиля Крым-Копетдаг, должны быть однотипные, как на его восточном фланге (Апшеронский порог), так и на западном фланге (Крым – Западный Кавказ).

То, что авторы называют «расплющиванием» геологических структур, проявляется в числе прочих эффектов в виде наклонных сейсмофокальных слоев в мантии к северу от Апшеронского порога, в средней части Каспийского моря и в районе г. Грозный. Сейсмофокальные слои трассируются микроземлетрясениями, слабыми землетрясениями и землетрясениями умеренной силы. Согласно работе [20] их наличие связано с процессом субдукции или псевдосубдукции литосферы Восточного Кавказа и Южного Каспия под Скифско-Туранскую плиту (см. рис. 5, 6). Причем этот процесс, как в районе Апшеронского порога, так и в районах Среднего Каспия и г. Грозного происходит ортогонально структурам Апшеронского порога по азимуту порядка 25° .

Для двух районов Западного Кавказа (побережье Черного моря в районе Джубги и Анапы) были построены аналогичные разрезы (рис. 7 и 8). Для этого использовались данные морских сейсмологических наблюдений ИО РАН,

проводившихся в 1998 г. в районе Джубги по проекту Голубой поток [10], и в 2011 г. в районе Анапы по проекту Южный поток.

Разрез с проекциями очагов слабых землетрясений и микроземлетрясений для района Джубги представлен на рис. 7.

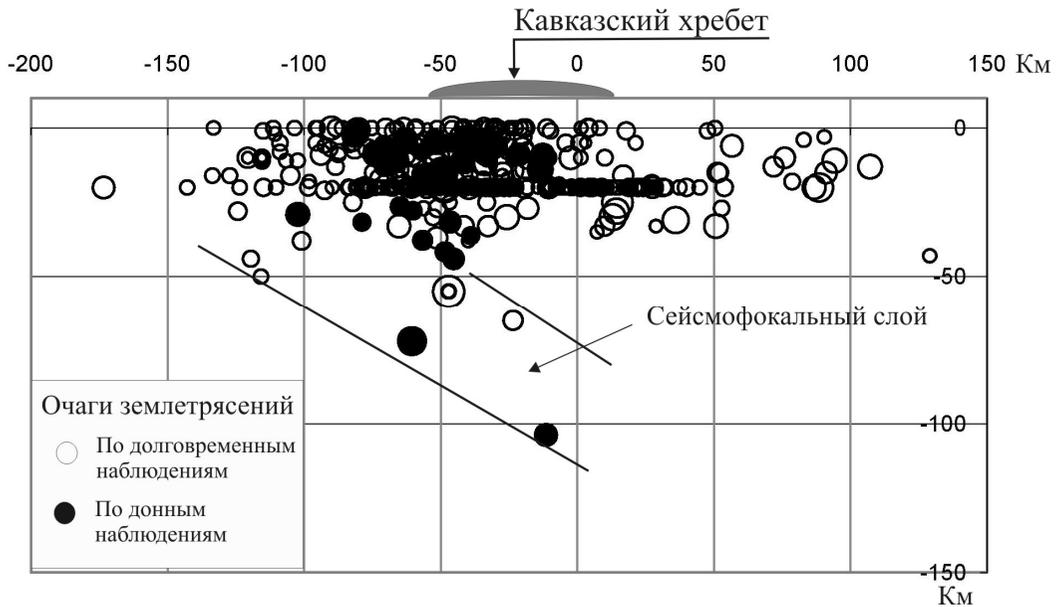


Рис. 7 Вертикальный разрез с проекцией очагов слабых и микроземлетрясений, полученный в результате донных сейсмологических наблюдений в Черном море в районе Джубги

Эти данные получены в результате донного сейсмологического эксперимента продолжительностью 1 месяц. На разрезе выделяется сейсмофокальный слой, погружающийся под структуры Западного Кавказа под углом порядка 33° по азимуту порядка 30° . Здесь мантийные очаги, как по донным наблюдениям, так и по долговременным наземным наблюдениям, немногочисленны, но сейсмофокальный слой, мощностью порядка 40 км выделяется достаточно уверенно.

Разрез для района Анапы получен в результате донных сейсмологических наблюдений ИО РАН продолжительностью 1 месяц (рис. 8). В эксперименте использовалось 6 донных сейсмических станций конструкции ИО РАН.

По их записям рассчитаны координаты эпицентров и глубины очагов 74 слабых и микроземлетрясений.

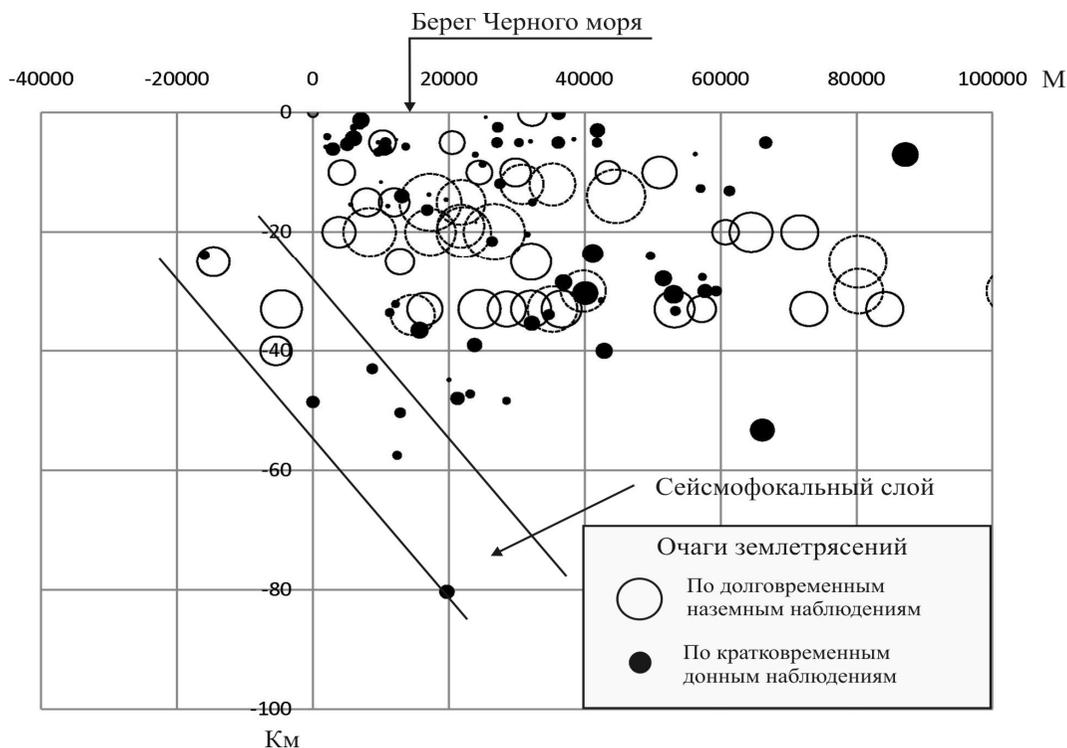


Рис. 8 Вертикальный разрез с проекцией очагов слабых и микроземлетрясений, полученный в результате донных сейсмологических наблюдений в Черном море в районе Анапы

На разрезе (рис. 8) выделяется несколько очагов микроземлетрясений, образующий условный сейсмофокальный слой, круто падающий под Западный Кавказ под углом порядка 51° по азимуту 33° .

Необходимо отметить подобие этих разрезов тем, что представлены на рис. 5-8. Они построены по близким азимутам от 25° до 33° . Микроземлетрясения происходят в мантии на глубинах от 80 км (район Анапы) до 180 км (Средний Каспий). Погружение сейсмофокальных слоев происходит под углами от 30° до 51° .

Выводы

1. В результате выполнения настоящей работы можно сделать вывод, что вдоль системы сейсмических линеаментов, которая в работе [18] обозначена как профиль Крым-Копетдаг, наблюдается мантийная сейсмичность на максимальных глубинах от 80 (район Анапы) до 180 км (Средний Каспий).

2. Мантийная сейсмичность представлена слабыми и микроземлетрясениями, обнаруженными с помощью высокочувствительных донных сейсмографов ИО РАН.

3. Наличие сейсмофокальных слоев на восточном фланге профиля Крым-Копетдаг [18] согласно работе [20] можно объяснить процессом субдукции (псевдосубдукции) структур земной коры под Скифско-Туранскую литосферную плиту. По-видимому, такой же процесс происходит и на западном фланге профиля Крым-Копетдаг (район Анапы и Джубги), т.е. погружение Черноморской литосферы под структуры Западного Кавказа.

4. Сейсмические процессы в мантии, происходящие в районе Апшеронского порога, в районе Среднего Каспия и Грозного генетически связаны и определяются поддвигом структур Восточного Кавказа и литосферы Южного Каспия под Скифско-Туранскую плиту.

5. Процесс субдукции (псевдосубдукции) по профилю Крым-Копетдаг, видимо, в основном определяется давлением Аравийской плиты на Евразийскую плиту.

Благодарности

Работа выполнена по Государственному заданию №0149-2014-0025 и при поддержке Российского Научного Фонда (Грант № 14-50-00095 «Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамия Ш.А., Беридзе М.А., Кипиани Я.Р. и др. Проблема альпийской геодинамики Большого Кавказа // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. - М.: Наука, 1987. - 215 с.
2. Геология Азербайджана Т. IV. Тектоника Азербайджана / Ред. В.Е. Хаин, Ак. А. Ализаде. - Баку: Nafta-Press, 2005. - 506 с.
3. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. - М.: Недра, 2004. - 342 с.
4. Годзиковская А.А. Мантийные землетрясения Кавказа в районе Терско-Сунженского прогиба // Физика Земли. - 1988. - № 7. - С. 102-106.
5. Казьмин В.Г., Буш В.А., Лобковский Л.И. Роль поперечных сдвигов в структуре кряжа Карпинского и проблема кинематики Аграханского разлома // Геотектоника. - 2008. - № 3. - С.1-11.
6. Казьмин В.Г., Тихонова Н.Ф. Позднемезозойские–эоценовые окраинные моря в Черноморско-Каспийском регионе: палеотектонические реконструкции // Геотектоника. - 2006. - №3. - С. 9-22.
7. Ковачев С.А. Результаты сейсмологических наблюдений на западе Калининградской области и в акватории Балтийского моря // Физика Земли. - 2008. - № 9. - С. 1-12.
8. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные о мантийной сейсмичности Каспийского региона и их геологическая интерпретация // Геотектоника. - 2009. - №3. - С. 30-44.
9. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные по сейсмичности Среднего Каспия и их возможная тектоническая интерпретация // Геотектоника. - 2006. - № 5. - С. 50-60.
10. Ковачев С.А., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Детальные сейсмологические наблюдения на центральном участке шельфа и континентального склона северо-восточной части Черного моря с помощью донных станций // Физика Земли. - 2003. - №1. - С. 21-27.
11. Краснопевцева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. - М.: Наука, 1984. - 109 с.
12. Лобковский Л.И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. - М.: Наука, 1988. - 252 с.
13. Новый каталог сильнейших землетрясений на территории СССР / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. - М.: Наука, 1977. - 535 с.
14. Соловьев С.Л. Достижения и проблемы морской сейсмологии. - М.: Наука, 1997. - 336 с.
15. Соловьев, С.Л. Ковачев С.А., Кузин И.П., Воронина Е.В. Микросейсмичность Эгейского и Тирренского морей по наблюдениям донных сейсмографов. - М.: Наука, 1993. - 160 с.
16. Уломов В.И, Полякова Т.П. Динамика сейсмичности бассейна Каспийского моря // Физика Земли. - 1999. - № 12. - С. 76-82.

17. Уломов В.И. Объемная модель динамики литосферы, структуры сейсмичности и изменений уровня Каспийского моря // Физика Земли. - 2003. - № 5. - С. 5-17.
18. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П. О сейсмогеодинамике линейных структур горного обрамления Скифско-Туранской плиты // Физика Земли. - 2006. - №7. - С. 17-33.
19. Уломов В.И., Полякова Т.П., Медведева Н.С. Динамика сейсмичности бассейна Каспийского моря // Физика Земли. - 1999. - № 12. - С. 76-82.
20. Хаин В. Е. О роли Транскавказского поперечного поднятия в доорогенном альпийском развитии Большого Кавказа // Доклады Академии наук. - 2009. - Т. 426. - № 1. - С. 81-83.
21. Хаин В.Е. О статье С.А. Ковачева, В.Г. Казьмина, И.П.Кузина, Л.И. Лобковского "Новые данные по сейсмичности Среднего Каспия и их возможная интерпретация" // Геотектоника. - 2006. - № 6. - С. 90-91.
22. Хаин В.Е., Лобковский Л.И. Условия проявления остаточной мантийной сейсмичности Альпийского пояса Евразии // Геотектоника. - 1994. - №6. - С. 12-20.
23. Халилов Э.Н., Мехтиев Ш.Ф., Хаин В.Е. О некоторых геофизических данных, подтверждающих коллизионное происхождение Большого Кавказа // Геотектоника. - 1987. - №2. - С. 54-60,
24. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. - Екатеринбург: Ур. отд. РАН, 2003. - 320 с.
25. Granath J. W., Bagganz O. W. A review of Neogene subsidence mechanism for the South Caspian basin. IGCP Project. "Comparative evolution of Peri-Tethyan rift basins". 3-d Ann. Meeting. Cairo. Abstract book. 1996, no. 369, pp. 24-25.
26. Jackson F., Priestley K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian basin. Geophys. J. Intern. 2002, v. 148, pp. 214-245.
27. Lee W.H.K., Lahr J.C. HYPO-71 (Revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquake. US. Wash (D.C.) Geol. Serv. (Open-file rep. 75-311). 1985, pp. 114.
28. Search Earthquake Archives: официальный сайт Геологической службы США (USGS). [Электронный ресурс]. URL: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата обращения: 05.01.2016).

КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕЧЕНИЙ СРЕДНЕГО КАСПИЯ

А.К. Амбросимов

ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», Москва, Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: ambrosimov@ocean.ru

Ключевые слова: Средний Каспий; Дербентская котловина; глубоководные течения; циклонический круговорот; меандры; вихри; противотечение; палеоканал; приотопленная буйковая станция (ПБС).

Keywords: Middle Caspian; Derbent depression; deep sea currents; cyclonic circle; meander; whirl; countercurrent; paleochannel; moored buoy.

Abstract

The paper summarizes results of two-year hydrophysical studies in the Middle Caspian. Analysis of the data on its deepwater currents obtained through the system of moored buoys showed that the central part of it is occupied by the south-western section of the cyclonic water circle. In winter, the currents intensified in the whole water column from its surface to the bottom and had south-westerly flow. In summer, the currents slowed down, started meandering and switched their directions. Most probably, this resulted from the seasonal changes in wind fields, baroclinicity, evaporation, as well as enormous river inflow entering the sea during springtime.

Введение

Изучению течений Каспийского моря посвящено много работ теоретического характера, однако натурные наблюдения плохо коррелируют с теоретическими выводами. Недостаточно исследованы пространственно-временная изменчивость и характеристики циклонического круговорота (ЦК) Среднего Каспия, слабо изучены придонные течения, нет объяснения многим аномальным явлениям, в том числе термогидродинамической природы [4, 17].

Аномальное поведение течений на западном шельфе Среднего Каспия ранее было описано теоретически, поэтому проверка теорий экспериментальными результатами и получение новых данных также представляет несомненный научный интерес. Помимо этого, такие работы имеют и практическое приложение, принимая во внимание интенсивную разведку и освоение

морских нефтегазовых месторождений на шельфе западной части Среднего Каспия в последние годы, поскольку аномалии течений могут представлять опасность для мореплавания и морской нефтегазовой инфраструктуры.

Основу знаний до настоящего времени о динамике течений Каспийского моря составляли теоретические модели и результаты немногих натуральных исследований [17-25]. Большую часть натуральных наблюдений, в основном, составляли данные, полученные в прибрежной зоне. На недостаточную изученность течений в глубоководной части Каспийского моря влияло отсутствие соответствующих судовых средств и современных приборов. Однако, после утверждения программы РАН по изучению системы Каспийского моря, перевода всепогодного НИС «Рифт» из Черного в Каспийское море, применения современной измерительной техники и новых методик были получены новые научные результаты, которые во многом изменили наше представление о гидродинамике Каспийского моря [1-14].

Расчеты геострофической циркуляции Среднего Каспия впервые сделал А.Н. Косарев [24]. Они показали, что зимой в Среднем Каспии над котловиной должен быть циклонический круговорот, что совпадает с результатами экспериментальных наблюдений А.К. Амбросимова с соавторами [3, 6, 14]. В.Н. Зырянов показал, что в Среднем Каспии ветер, бароклинность вод и испарение формируют и поддерживают циклоническую циркуляцию вод над котловиной. Циклонический круговорот вод над котловиной Среднего Каспия носит постоянный характер, а кажущаяся остановка потока в поверхностном Экмановском слое может быть маскировкой при наложении ветровой дрейфовой составляющей [16].

Однако эти теоретические расчеты часто не совпадают с данными натуральных наблюдений [14]. Расчеты, выполненные Р.А. Ибраевым с соавторами в Институте вычислительной математики РАН, показали, что циклонический круговорот в Среднем Каспии носит временный характер и теоретически определен только для осредненного верхнего слоя толщиной 50-100 м

[17, 18]. Авторами показаны условно три временных режима изменчивости течений. Д.Г. Курдюмов и Э. Оздой [19] сделали вывод о том, что течения в глубинных слоях (ниже 20–50 м) носят стабильный циклонический характер в течение всего года, что не совпадает с данными натурных наблюдений.

С.А. Лебедев с соавторами [22] указали на возможность изучения течений и наблюдения за апвеллингами с помощью космических аппаратов, но, к сожалению, слабое аппаратное разрешение изменений уровня моря не позволяет провести точных расчетов бароклинных течений.

Из этого краткого анализа видно, что теоретические расчеты не дают однозначной картины течений в Среднем Каспии. В свете вышесказанного особый интерес представляет экспериментальное изучение аномальных явлений в течении ЦК у западного побережья при проведении рейсов научно-исследовательских судов, которые к тому же позволяют сделать привязку космических данных.

Приборы и методы исследований

Для изучения характеристик течений и их пространственно-временной изменчивости в экспедициях применялись следующие приборы:

– измерение течений в фиксированных точках моря проводилось с помощью измерителей течений (ИТ) «Поток-М» и доплеровских измерителей Argonaut-MD (Sontek) и DVS (RDInstruments) на стационарных притопленных буйковых станциях (ПБС), которые устанавливались на срок от шести месяцев до одного года;

– вертикальные профили течений измерялись с помощью зондирования водной толщи профилографом ADCPWH-150 (ADCP-150) с борта судна в дрейфе до глубин 1000 м;

– разрезы течений выполнялись при буксировках под поверхностью доплеровских профилографов ADCP-150 и ADCPWH-300 (ADCP -300);

– вертикальное распределение температуры, солености и других океанологических параметров на станциях измерялось с помощью STD-зондирований зондами SBE19+ и Idronaut Ocean 316 [2, 3, 6].

Зондирование водной толщи акустическими профилографами осуществлялось в автономном режиме. Прибор подвешивали на трос и погружали на необходимый горизонт, где он удерживался 10-20 минут для накопления информации и последующего усреднения. Отметим, что акустический профилограф ADCP-150 пробивает водную толщу до ~280 м, а ADCP-300 до ~120 м. Горизонты измерений выбирались таким образом, чтобы было полное перекрытие водной толщи. Дискретность по глубине обычно выбиралась по 5 или 10 м.

Для получения профилей скоростей течений при буксировках профилографы закреплялись на специальной штанге так, чтобы измерительная головка прибора находилась ниже дна судна на 0,5 м. Штанга размещалась у борта в средней части судна, для уменьшения влияния качки.

Прибор посредством штатного кабеля подключался к персональному компьютеру, где отображалась информация. С помощью программы WinRiver 1 (Teledyne RDI) проводилась запись данных на жёсткий диск. Программное обеспечение доплеровских акустических измерителей течений было дополнено собственными разработками А.О. Коржа [5], которые позволили существенно увеличить качество получаемой информации. Вокруг ADCP был смонтирован металлический обтекатель для снижения вибраций и уровня шума при обтекании водой, что улучшает качество получаемой информации и увеличивает глубину зондирования прибора. Для обеспечения надежности скорость судна не поднимали выше 7 узлов.

Обработка данных измерителей течений, установленных на ПБС, проводилась следующим образом. По данным регистраторов течений строились диаграммы прогрессивных скоростей течений, которые позволяют проследить динамику течений в точке наблюдений, а также вычислялись статисти-

ческие и спектральные оценки пространственно-временной изменчивости течений. Вертикальные разрезы течений по данным буксировок позволяют увидеть картину течений на больших пространствах моря и оценить характер траекторий течений на различных масштабах изменчивости.

Результаты исследований и их обсуждение

Для изучения изменчивости течений у западного побережья над шельфом и континентальным склоном, в экспедициях на НИС «Тантал» и «Никифор Шуреков» в 2014-2015 гг. были выполнены три эксперимента: 1) постановка на материковом склоне на глубине 395 м (ст. 1401) ПБС с доплеровскими измерителями течений в холодный период с 15 декабря 2014 года по 01 мая 2015 года; 2) постановка ПБС на бровке склона, на глубине 83,2 м (ст.1527) в теплый период с 19 мая по 7 октября 2015 года; 3) субмгновенный разрез течений из центра моря до 10-метровой глубины на шельфе и обратно, выполненный с помощью профилографа ADCP-150 17-18-го октября 2015 г.

1. Наблюдения на глубоководной станции 1401 период с 15 декабря 2014 по 1 мая 2015 г.

На рис. 1 показаны записи прогрессивных скоростей течений на различных горизонтах водной толщи на ст. 1401 (координаты: $42^{\circ}07,751'$ с.ш., $48^{\circ}52,136'$ в.д.; глубина 395 м). Измерители течений, установленные на ПБС, имели различную дискретность измерений, от 2 сек до 1 часа, что было сделано, в том числе, и для оценки пространственно-временной изменчивости скорости и направления течений в центре потока. Поэтому траектории прогрессивных диаграмм на рисунке имеют различные длины записей, поскольку зависят от объема памяти и ресурса автономного электропитания приборов.

Наблюдения, выполненные на глубоководной станции ст. 1401 на четырех горизонтах от термоклина до дна, показали, что над свалом глубин в по-

токе регистрировалось однонаправленное течение Ю-В направления под углом $\sim 170^\circ$. Средние скорости течений были немногим более 20 см/с. В центре потока на глубинах склона 200-300 м скорости были выше и, в среднем, составляли около 24 см/с. Максимальные скорости при этом достигали 72 см/с. В 20 м от дна величины максимальных скоростей составили ~ 37 см/с.

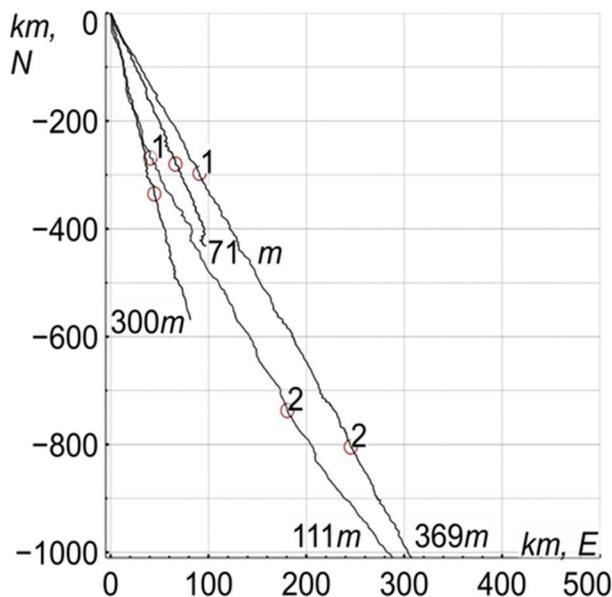


Рис. 1 Траектории движения воды в центре струи циклонического круговорота у западного побережья Среднего Каспия на различных горизонтах по данным доплеровских измерителей течений на ст. 1401. Цифрами у кривых показаны горизонты наблюдений, а цифрами 1 и 2 у точек – продолжительность измерений в месяцах

Средняя скорость и направление течения на разных горизонтах в течение всего холодного периода наблюдений изменялись незначительно, и только в придонном слое в весенний период средняя скорость уменьшилась в два раза и составила 13,6 см/с, что, тем не менее, является значительной величиной для придонного слоя. Высокая изменчивость течений наблюдалась в придонном слое, что связано с генерацией возмущений при обтекании неровностей рельефа дна.

При этом максимальный относительный вклад высокочастотной энергии возмущений приходился на придонный слой, где он достигал 55 % от общей энергии возмущений, по сравнению с вкладами энергий вышележащих слоев. Относительные и абсолютные вклады энергии возмущения течений на различных масштабах в различные сезоны года описаны в [14].

Временную изменчивость скорости и направления течения в центральной части ЦК демонстрирует хронограмма параметров придонного течения, представленная на рис. 2. Хронограмма построена по данным доплеровского измерителя DVS-19195 на придонном горизонте 370 м.

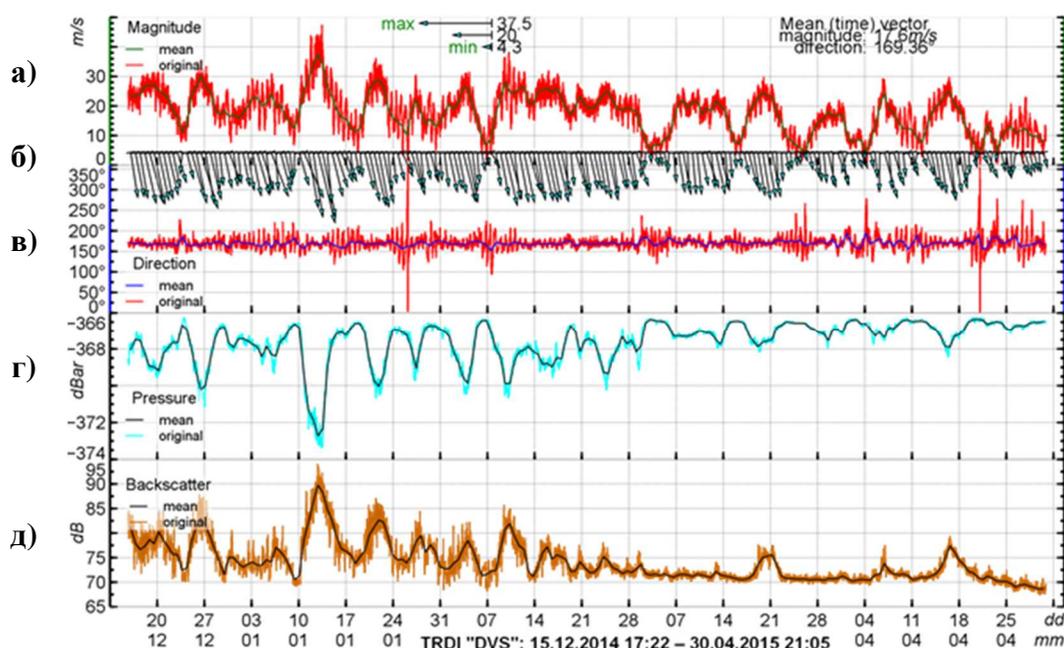


Рис. 2 Данные измерения течений доплеровским измерителем DVS-19195 за время наблюдений на ПБС на ст. 1401, горизонте 370 м: а) модуль скорости; б) вектор скорости (стрелки соответствуют географическому направлению, а длины стрелок – величине скорости); в) направление – горизонтальной составляющей скорости; г) давление; д) концентрация рассеивающих частиц в морской среде

В табл. 1 представлены статистические характеристики скоростей, которые дают представление о временной изменчивости течения в центре потока ЦК. В зимне-весенний период штормовые усиления обычно имеют мезомасштабные размеры со средним периодом штормов и окон погоды около 8 суток, при этом продолжительность окон погоды в этот период составляет не более одной трети.

Таблица 1

Характеристики течений на придонном горизонте 370 м в зимний и весенний периоды (ст. 1401)

Сезон наблюдений	Зима	Весна
Число измерений	125900	103000
Период	15.12.2014 – 01.03.2015 г.	01.03.2015 – 01.05.2015 г.
Дискретность (мин)	2	2
Глубина/горизонт (м)	395/370	395/370
Температура ср. (°C)	5,5	5,5
V _{ср} (см/с)	20,6	13,6
V _{макс} (см/с)	49,9	33,8
φ (гр.)	173-175	173-175
V _{зон.ср.} (см/с)	5,9	3,3
V _{зон.макс.} (см/с)	21,2	16,4
V _{зон.мин.} (см/с)	-11,0	-9,4
Умер.ср. (см/с)	-19,8	-13,2
Умер.макс. (см/с)	3,2	1,2
Умер.мин. (см/с)	-45,2	-29,6
$\sigma(V)$	4,5	3,5
$\sigma(U)$	6,2	6,0

Как показано в [14], мезомасштабные колебания течений, вызванные синоптическими процессами над морем передаются от поверхности до дна, вызывая перемешивание и аэрацию вод в придонной области моря.

Течения во всей толще на ст. 1401 (рис. 2) в холодный период направлены вдоль склона под углом $\sim 170^\circ$. При усилении течений значительно возрастает концентрация рассеянных форм взвешенного вещества в водной сре-

де [1]. Наиболее интенсивные штормы приходятся на середину января, к весне интенсивность штормов уменьшается.

Опираясь на результаты наших многочисленных исследований у западного склона Дербентской котловины в предыдущие годы можно утверждать, что основная струя западной ветви ЦК проходит над глубинами приблизительно 400 м, т.е. это контурное течение [8, 14].

Среднюю скорость контурного течения для зимне-весеннего сезона для горизонта 370 м (табл. 2) можно охарактеризовать как относительно стабильную со средней величиной около 20 см/с, однако при усилениях скорость достигала ~50 см/с.

Таблица 2

Характеристики течений на горизонте 56 м на ст. 1401 в декабре-январе 2014-2015 гг. по данным доплеровского измерителя течений Sontek-D810

Сезон наблюдений	Декабрь (15.12.2014 – 22.12.2014)	Декабрь (22.12.2014 – 30.12.2014)	Январь (30.12.2014 – 07.01.2015)	Январь (07.01.2015 – 10.01.2015)
Число измерений	65 000	65 000	65 000	33 000
Дискретность (с)	10	10	10	10
Глубина/горизонт (м)	56-113	56-113	56-113	56-113
Температура ср. (гр.)	7,9	7,7	7,7	7,6
$ V _{\text{ср}}$ (см/с)	21,2	20,8	21,1	17,9
$ V _{\text{макс}}$ (см/с)	43	49	49	44
φ (гр.)	165	170	166	175
$V_{\text{зон.ср.}}$ (см/с)	5,2	3,83	4,9	2,0
$V_{\text{зон.макс.}}$ (см/с)	23,6	25,7	28,6	24,7
$V_{\text{зон.мин.}}$ (см/с)	-14,0	-18,2	-13,1	-24,4
$U_{\text{мер.ср.}}$ (см/с)	-19,9	-19,2	-19,7	-15,2
$U_{\text{мер.макс.}}$ (см/с)	7,2	4,5	-0,9	8,6
$U_{\text{мер.мин.}}$ (см/с)	-36,3	-41,7	-39,6	-36,2
$\sigma(V)$	4,94	6,53	5,74	8,45
$\sigma(U)$	4,42	5,91	5,07	7,20

Значения вертикальных скоростей течения на ст. 1401 в расчеты не принимались, из-за сильного наклона несущей линии ПБС, на которую крепились измерители течений, и которая при усилении течений заглублялась с 56 до 113 м.

Оценки периодов колебаний водного потока (рис. 3) дают значения близкие к 17 часам, т.е. близкие к периоду инерционных колебаний. Это дает основание предполагать, что инерционные колебания на границе шельфа и склона инициируют петли меандров.

Поскольку сила Кориолиса прижимает течение к склону, то за счет возникновения вертикальной составляющей течение выталкивается вверх по склону, где сталкивается с более спокойными водами шельфа. Здесь от потока отрываются антициклонические вихри с масштабами, подобными периоду инерционных колебаний, которые затем и выходят на шельф.

Данные наблюдений за течением на верхнем горизонте (56-113 м) (рис. 3) показывают, что при ослаблении скорости среднего течения с 21 см/с зимой до 17 см/с весной (рис. 3в) в потоке воды возникают биения (рис. 3б и в), которые затем переходят в меандрирование потока (цифры 56-113 м показывают, в каких пределах заглублялся прибор под действием усиления набегающего потока ЦК). Высокочастотных колебаний течений на ст. 1401 не отмечалось на данных измерителей течений, что связано с различной дискретностью наблюдений.

Сравнивая данные течений ст. 1401 (2014 – 2015 гг.) на горизонте 370 м (дискретность наблюдений 2 мин), с данными измерений с помощью «Потока-М» на горизонте 395 м (дискретность наблюдений 1 час) на ст. 05-05, поставленной на глубине 405 м в координатах 42° 07,670' с.ш., 48° 52,720' в.д. в этом же районе моря в период 01.02-24.04.2005 г. (рис. 4), следует отметить, что межгодовая изменчивость средних скоростей контурного течения невелика и составляет около 6%.

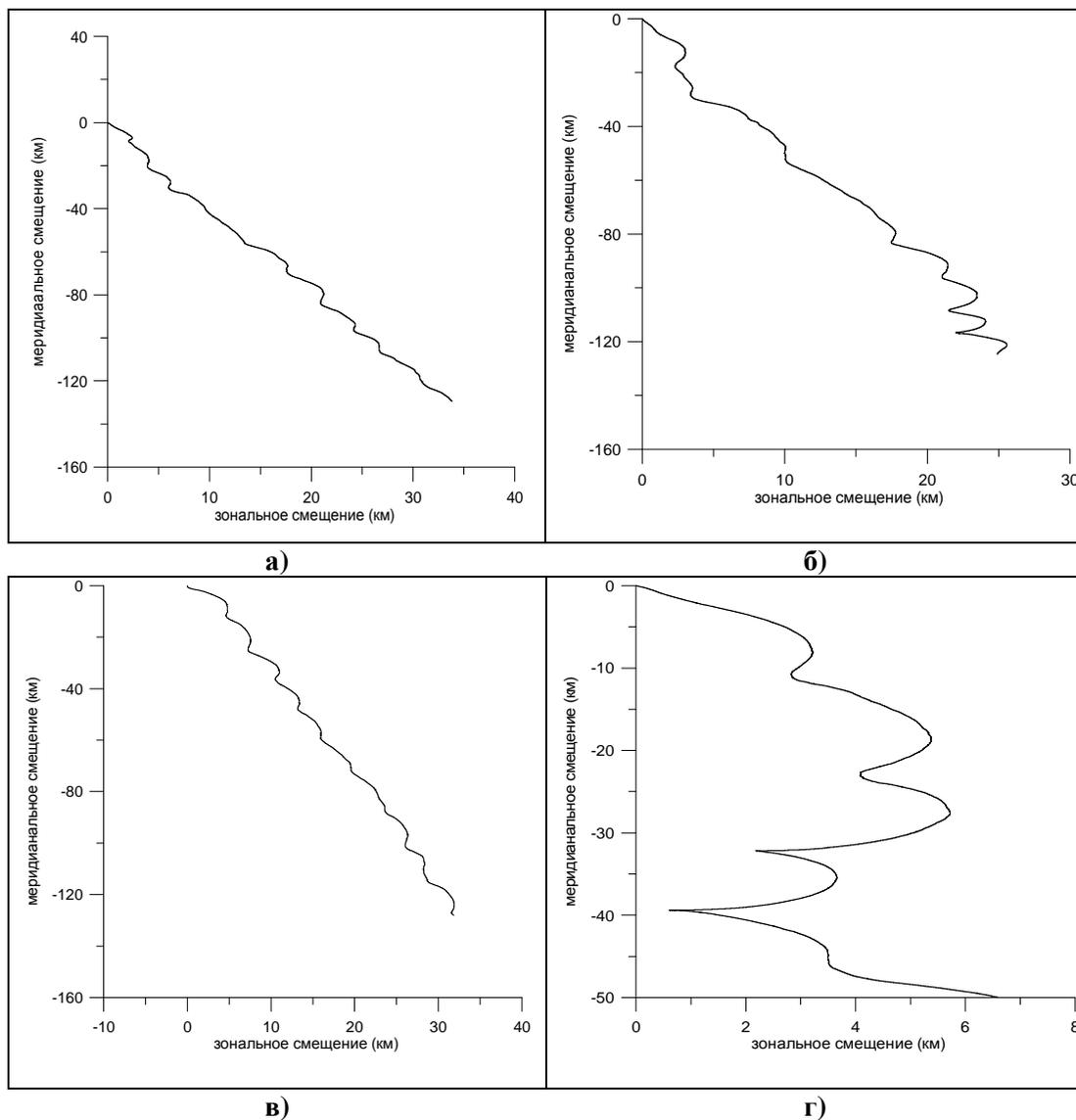


Рис. 3 Диаграммы прогрессивных скоростей течения на горизонте 56-113м по данным Sontek-D810 в рейсе «Тантал-15» в периоды: а) 15.12. – 22.12.2014 г.; б) 22.12 – 30.12.2014 г.; в) 30.12.2014 – 07.01.2015 г.; г) 07.01 – 10.01.2015 г. (дискретность 10 сек)

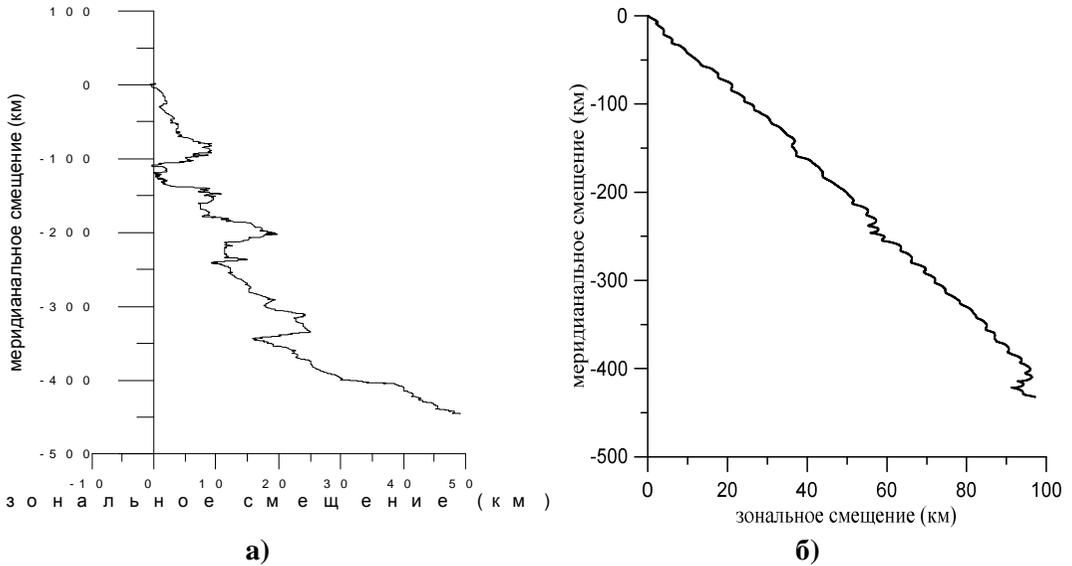


Рис. 4 Сравнение прогрессивных диаграмм течений в зимний период на западном склоне на горизонтах: а) 395 м (глубина 405 м, координаты $42^{\circ} 07,670'$ с.ш., $48^{\circ} 52,720'$ в.д., период наблюдений 01.02-24.04.2005 г., дискретность – 1 ч.; б) горизонт 370 м (глубина 395 м, координаты $42^{\circ} 07,751'$ с.ш., $48^{\circ} 52,136'$ в.д., период наблюдений 15.12.2014 – 01.05.2015 гг., дискретность 2 мин.)

2. Наблюдения на ст. 1527 на шельфе у бровки склона Дербентской котловины

В летний период 2015 г. на бровке шельфа (глубина 83,2 м) на границе соприкосновения течения ЦК с шельфовыми водами была поставлена ПБС-1527 (координаты: $41^{\circ} 57,518'$ с.ш., $48^{\circ} 37,129'$ в.д.), которая простояла с 19 мая по 7 октября. На ПБС-1527 на горизонте 36 м нами был установлен доплеровский измеритель Sontek. Данные показали, что на границе соприкосновения течений (рис. 5) происходит генерация вихревых образований.

Здесь, на фронтальной границе взаимодействия склоновых вод циклонического круговорота с шельфовыми водам за счет неустойчивости возникают меандры и генерируются внутренние волны и вихри. Прохождение последовательной цепочки вихрей мимо прибора хорошо видно по траекториям движения воды на рис. 5, на котором показано, что ослабление скорости по-

тока в С-З направлении, меандрирование и отрыв вихрей начались прежде, чем станция была установлена в точку.

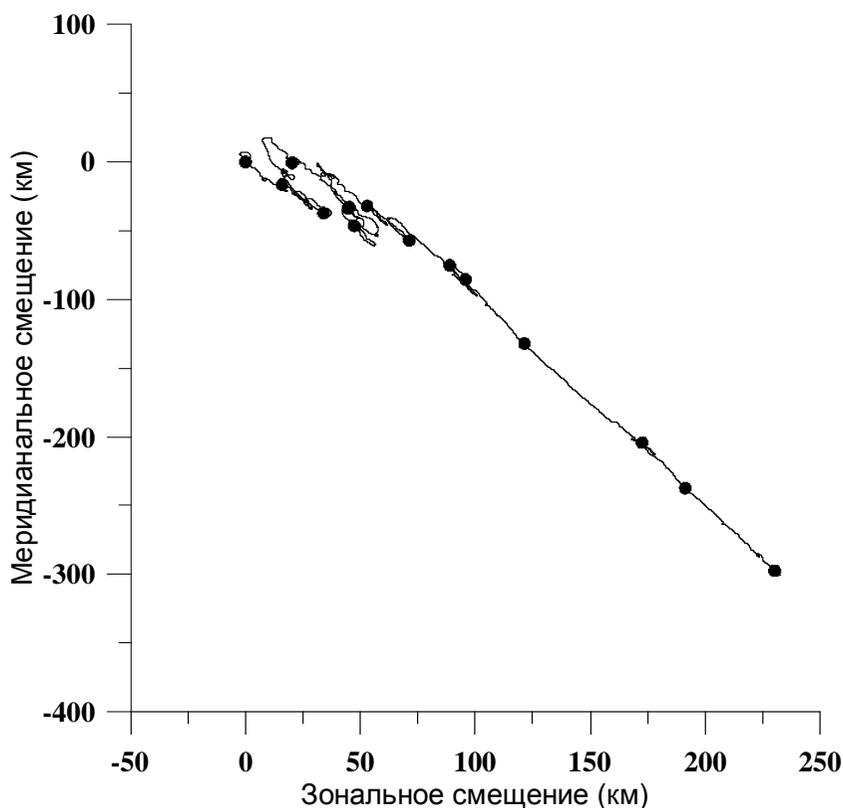


Рис. 5 Траектория движения воды над кромкой склона глубин в западной части Среднего Каспия на траверзе Дербента на ст. Т-1527 (горизонт 36 м) с 19 мая по 07 октября 2015 г., точками отмечены 10-дневные смещения воды

Из рис. 5 также видно, что в теплый период года от потока оторвался вихрь, вытянутый в С-З направлении, который двигался в западном направлении со средней скоростью $\sim 2,5$ см/с в течение двух месяцев. При этом в самом вихре максимальные скорости достигали почти 30 см/с, а средние менялись от 3,7 см/с в мае до 0,2 см/с в июне и 7,8 см/с в сентябре-октябре. Таким образом, минимальные скорости в вихре были характерны для июня. Вихри имели антициклональную закрученность, средний масштаб наблюдаемых петель цепочки вихрей составлял от 20 до 50 км. В начале августа цепочка вы-

тянулась в практически прямую линию в Ю-В направлении со средней скоростью ~7 см/с.

Как показали более ранние исследования [3, 5], во второй половине августа в Среднем Каспии начинается перестройка системы течений с летней на зимнюю схему [5, 18], при этом скорости течений возрастают, циклонический круговорот принимает форму кольцевого течения, а генерация вихрей уменьшается.

В результате трения вод циклонического круговорота со склоном на границе шельф-склон возникает неустойчивость потока, которая хорошо видна на записях течений на рис. 3.

Здесь важно отметить два момента, во-первых, в потоке прослеживаются инерционные колебания, и, во-вторых, при уменьшении скорости потока увеличивается амплитуда колебаний меандров. Скорее всего инерционные колебания на границе шельфа и склона (рис. 2г) провоцируют образование вихрей у бровки склона. При этом необходимо учитывать, что вытолкнутые на шельф воды ЦК за счет его огромной энергии и рельефа дна ускоряются, и образовавшиеся вихри получают высокую скорость вращения. Кинетическая энергия вытолкнутой на шельф воды никуда не исчезает – она переходит в энергию вращения вихря, которая затем преобразуется в скорость прямолинейного движения. Траектория движения воды в точке наблюдений на ст. 1524 показывает, что после летнего ослабления течений на шельфе (петли на графике) примерно с начала августа начинается усиление течения и относительно прямолинейное в С-З направлении.

3. Гидрофизический разрез из центра Дербентской котловины до берега и обратно

В мае 2015 г. в экспедиции «Гантал-15» от центра Дербентской котловины до устья р. Самур был выполнен разрез из 19 станций (рис. ба), цель которого – субмгновенное изучение структуры течений и других

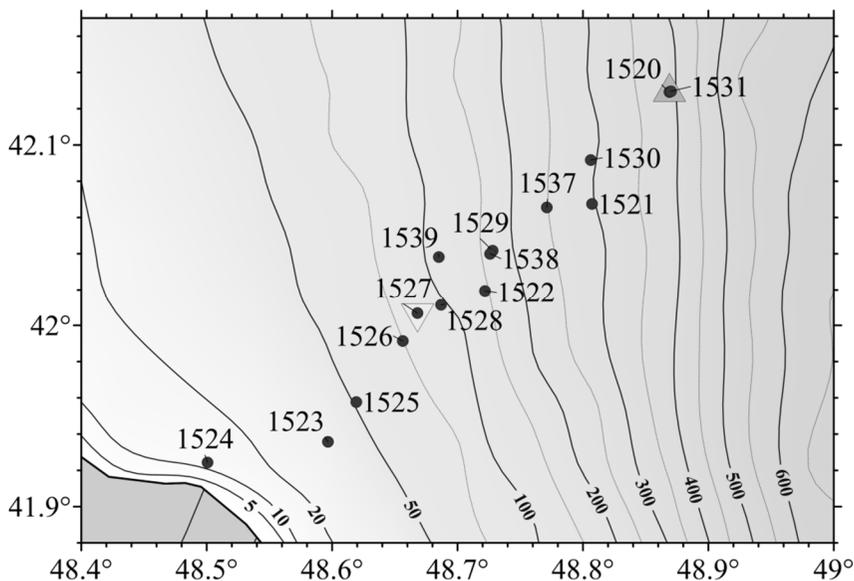
параметров от глубоководной части моря до мелководной (на шельфе), для подтверждения существования здесь противотечения основному потоку циклонического круговорота, которое было обнаружено ранее [8, 13].

Вертикальные разрезы профилей скоростей и направлений течений, выполненные зондированием ADCP-150, показали (рис. 6б), что вдоль шельфа от его бровки до самой мелководной части происходит общий перенос водных масс в северо-западном направлении. Таким образом, были подтверждены данные, полученные в начале августа 2008 г. в этом же районе (29-й рейс НИС «Рифт»), где на глубине ~ 100 м наблюдалось придонное течение С-З направления, а в 1,5 км восточнее – движение вод происходило в Ю-В направлении.

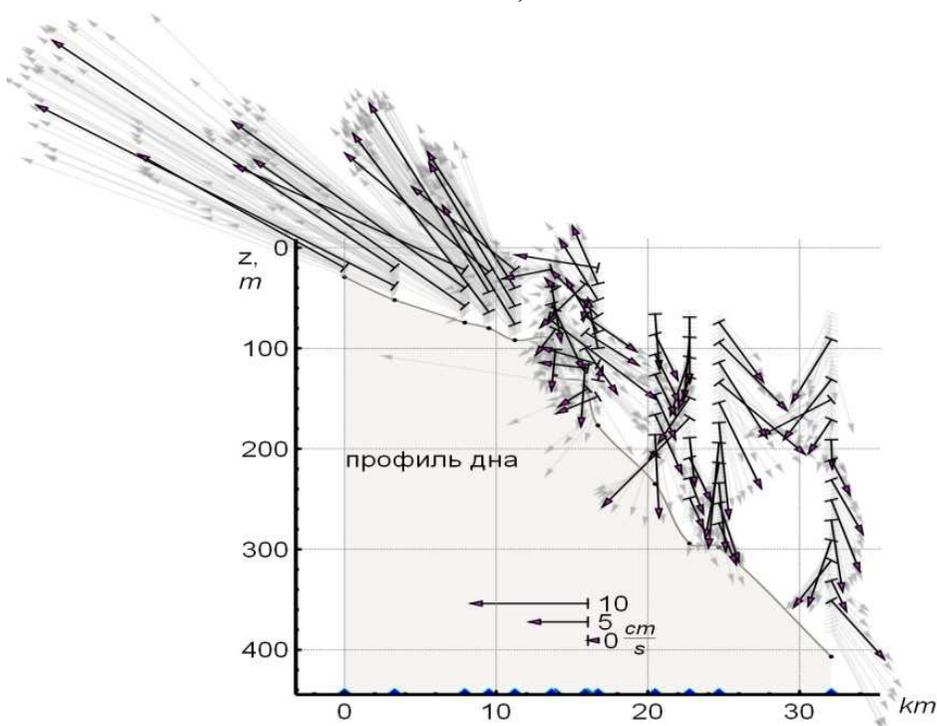
Вихрь на рис. 6б раскручивался в антициклоническом направлении на глубинах от 200 до 100 м и далее (при выходе на шельф) распрямлялся и двигался в противоположном потоку ЦК направлении. На глубинах около 50 м скорости выхода склоновых вод на шельф составляли около 50 см/с. Из рис. 6б видно, что над склоном на глубинах ~150 м поток, идущий вдоль склона, начинает изменять направление на западное и уже на 100-метровой глубине поворачивает на северо-запад и усиливается.

Температура воды на всех станциях с глубинами от 150 до 30 м (в придонном слое) была равна 7°C, что подтверждает их происхождение как склоновых. Здесь следует отметить, что разрез выполнялся в мае 2015 г., когда термоклин только формировался, и температура склоновых вод отличалась от температуры подповерхностных вод, поэтому апвеллинг не очень выделялся по температуре. Движение вытолкнутой на шельф воды осуществлялось в С-З направлении.

Исследования на разрезе показали, что на глубине 150 м и более течение ЦК над свалом начинает изменять свое направление с юго-восточного на южное и западное и уже на шельфе течет в северо-западном направлении.



а)



б)

Рис. 6 а) Станции разреза 18-19 мая 2015 г. в экспедиции на НИС «Тантал»; б) Динамика скоростей и направлений течений на склоне и шельфе у западного побережья в районе Дербента по данным зондирования ADCP-150 (направление стрелок указывает географическое направление течения, расположение стрелки по глубине – горизонт наблюдения, длина стрелки – модуль скорости)

Из рис. 6б также видно, что скорость течения при выходе на шельф значительно увеличивается, а его направление противоположно движению вод в ЦК. Это увеличение скорости происходит за счет выталкивания водных масс потоком на мелководье и рельефа дна шельфа.

Остается лишь ответить на вопрос о причине возвратного течения. Вызвано ли оно влиянием бароклинности, возникающей под действием силы Кориолиса, или воздействием стационарного меандра-генератора, забрасывающего антициклонические вихри на шельф, или это результат наложения синоптики, силы Кориолиса и взаимодействия ЦК со склоновыми водами? Дело в том, что склоновые воды по своему составу и температуре отличаются от вод ЦК, являясь, по сути, стоковыми водами рек Северного Кавказа.

Фактически в мае 2015 г. было выполнено два разреза в котловине Среднего Каспия – один с глубины 700 м (ст. 1520) и до мелководья, где глубина ~10 м (ст. 1524) м и обратно – до глубины 720 м (ст. 1531) за 31 час. Отличительной особенностью этих двух субмгновенных разрезов является также заметное расхождение в структурах верхнего перемешанного слоя и термоклина, показывающее прохождение за время наблюдений внутренних волн различных пространственно-временных масштабов.

В результате торможения потока ЦК на границе шельф-склон, на крае свала глубин образуются ступеньки осадочного материала (или осадочные волны) высотой около 20 м под фронтальными зонами, характерными как для западной, так и для восточной частей моря. Такие валы отслеживаются и на Мангышлакском пороге, на Песчаномысском поднятии и на свале глубин в восточной части моря. При транзите наносов в виде суспензионно-мутьевых потоков взвеси легкие фракции силой Кориолиса отклоняются вправо и вверх, формируя в переходной зоне от шельфа к склону прирусловый вал контурного течения ЦК.

Иногда на левых склонах наблюдаются аккумулятивные террасы, которые могут быть связаны с замедлением скорости течения, которое вызывает

отложение и более тяжелых фракций переносимого вещества. При этом, чем ближе к склону, тем это взаимодействие выше и торможение вод ЦК сильнее. Следовательно, и отложение взвешенного материала значительно выше.

В экспедициях 27-го (2008 г.), 29-го (2008 г.), 30-го (2009 г.), 35-го (2010) и 39-го (2012 г.) рейсов НИС «Рифт» были выполнены сейсмоакустические наблюдения за системой осадочных волн, расположенных на западном склоне южнее Дербента с примерными координатами галса промера 42.057⁰с.ш., 48.6854⁰в.д. – 42.0585⁰с.ш., 48.7575⁰в.д. Высоты осадочных волн составляли около 45-55 м с расстояниями между гребнями около 1,0-1,3 км. Эти волны расположены параллельно линии бровки склона. С глубиной высоты осадочных волн уменьшаются, а расстояния между их гребнями увеличиваются.

Здесь просматривается некоторая закономерность с данными гидрофизических наблюдений. Там, где течение потока относительно сильное и однонаправленное, а изменчивость скоростей течений слабая, осадочные волны отсутствуют, а в областях свала глубин, где изменчивость течений более высокая и средние скорости уменьшаются, там и осадочные волны более высокие. Можно предположить, что при взаимодействии потока ЦК со склоном происходит генерация внутренних волн с длинами волн около 1 км, в узлах которых происходит выпадение осадочного материала из взвеси, за счет локального замедления скорости потока [8, 9].

В транзите вод в глубоководную часть Дербентской котловины важную роль играют палеоканалы, связывающие с ней северо-западную часть моря. При проведении экспедиций Институтом океанологии в 2007-2014 гг. в районе северо-западного свала глубин Дербентской котловины на дне моря была обнаружена и исследована сеть палеорусел рек [11]. Акустическая съемка одного из палеоканалов и измерения течений, выполненные в нем в 35-м рейсе НИС «Рифт» показали, что глубина каньона достигает 60-90 м относительно дна моря, а ширина – около 2 км.

Палеоруло является действующим, по нему осуществляется перенос воды в глубоководную часть моря, минуя транзит вдоль западного побережья. Съемка палеорула длиной 45 км была выполнена с глубины моря от 80 м до глубины 420 м, где палеоруло широким конусом выноса выходит в глубоководную часть котловины.

Почти повсеместно в осадочной толще наблюдаются погребенные каньоны в основном V-образной формы (рис. 7), крупные и мелкие по мощности и простиранию погребенные конусы выноса. Последние, чаще всего, представлены осадочными телами линзовидной (сигмовидной) формы с акустически прозрачными и хаотично отражающими границами. Реликтовые эрозионные врезы – погребенные каньоны чаще приурочены к современным каньонам.

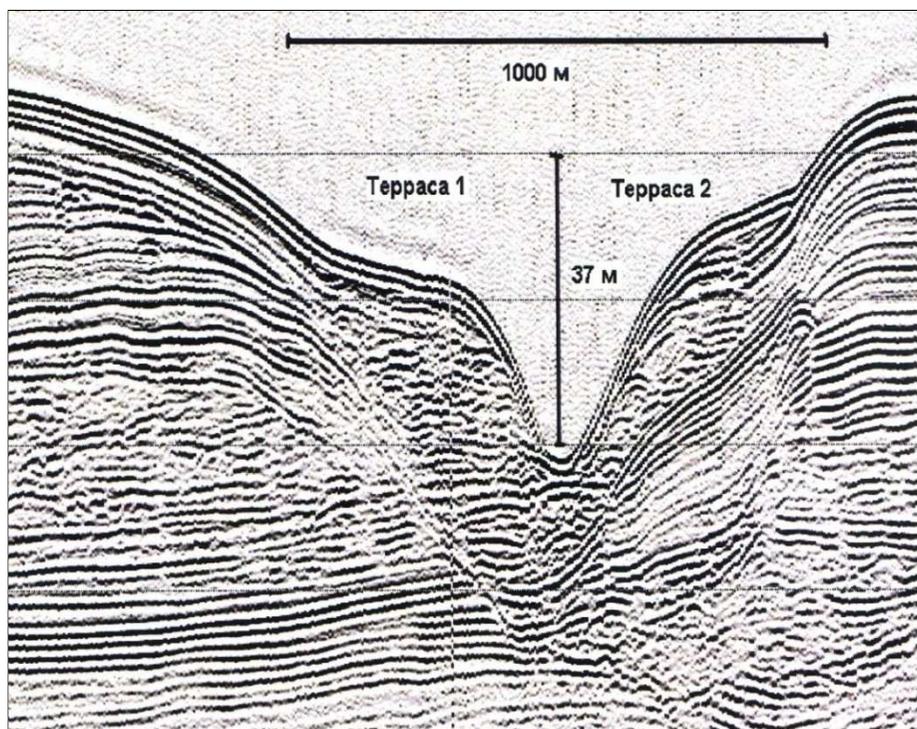


Рис. 7 Сейсмоакустический разрез палеоканала Волги на северо-западном склоне Дербентской котловины (галс северо-восток - юго-запад)

На акустических разрезах современного каньона можно выделить погребенные эрозионные врезы, по которым можно проследить динамику развития каньона. Вместе с процессами денудации отмечается и образование аккумулятивных форм рельефа. Прирусловые террасы – это результат осаждения взвешенного вещества при замедлении скорости потока наносов в каньоне.

На разрезах наблюдались переходы каньонов классической V-образной формы в каньоны с плоским широким дном. Почти на всех разрезах правый борт каньонов выше левого. При транзите наносов по каньонам в виде суспензионно-мутевых потоков легкие фракции силой Кориолиса отклоняются вправо и вверх, формируя местами прирусловой вал.

Зондирование профилографом ADCP-150 до дна палеорула показало, что скорость у течения у дна палеорула выше по сравнению со скоростями течений на дне окружающего моря. В летний сезон максимальная скорость течения в палеоруле достигала 13, а в зимний – 32 см/с. Отличительной особенностью движения водных масс по дну каньона в течение 6-ти месяцев наблюдений с сентября по март 2009-2010 гг. была его постоянная направленность под углом $\sim 201^\circ$ со средней скоростью 2,7 см/с. Оценки показывают, что по палеоканалу ежегодно, в среднем, сбрасывается около 12 км³ воды в глубину моря, минуя транзит вдоль западного побережья.

Заключение

Анализ данных гидрофизических исследований с постановками ПБС в центральной части Среднего Каспия показал, что здесь присутствует юго-западная ветвь ЦК, течения которого в зимнюю половину года интенсифицируются по всей глубине и направлены в юго-западном направлении. Летом течения ослабевают, начинают меандрировать и изменяют направления вплоть до противоположных. Предположительно это связано с синоптиче-

ской перестройкой полей ветра над морем, бароклинностью, испарением, а также с поступлением в начале лета огромных масс паводковых речных вод.

Водные массы в западной ветви ЦК движутся в юго-восточном направлении в течение всего года, но при этом также наблюдается сезонное ослабление и усиление потока. Ветвь ЦК, протекающая над западным склоном Дербентской котловины, является наиболее интенсивной и однонаправленной с высокими скоростями течения от поверхности до дна. Экспериментальные данные показали, что центр потока ЦК у западного побережья проходит над глубинами около 200-500 м у западного склона.

На западном склоне на глубинах от ~150 м и до дна течение ЦК направлено вдоль склона в юго-восточном направлении, а выше 150 м происходит возмущение потока, и уже на глубине ~100 м течение направлено на запад. При выходе на шельф движение вод становится экмановским и разворачивается в северо-восточном направлении.

В результате ослабления скорости течения в западной части ЦК в конце весеннего сезона на бровке шельфа скорость потока падает. При этом возникает возмущение потока, его меандрирование, и в итоге происходит отрыв антициклонических вихрей, которые выносят на шельф холодные воды. Воздействие бароклинного течения и вихрей разворачивают течение на границе шельф-свал глубин в северо-западном направлении. Над бровкой вдоль верхней части склона происходит замедление потока, из него осаждается взвешенное вещество, которое образует на дне валы высотой до 20-25 м.

Обработка материалов выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-27-00114 “Седименто-биогеохимические исследования морей европейской части России (рассеянное осадочное вещество, донные осадки, диагенез). Взаимодействие геосфер, потоки вещества и энергии”.

Интерпретация данных частично проведена в рамках Государственного задания ИО РАН на 2015–2017 гг. по теме № 0149-2014-0026.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбросимов А.К. Пространственно-временная изменчивость течений в юго-западной части Каспийского моря // Экологические системы и приборы. – 2008. - № 12. - С.53-61.
2. Амбросимов А.К. Пространственно-временная изменчивость характеристик течения в глубоководной части Среднего Каспия // Метеорология и гидрология. – 2016. - № 1. - С. 60-77.
3. Амбросимов А.К. Сезонная изменчивость и аномалии температуры в Каспийском море // Материалы XIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2013). – 2013. - Т. I. - С. 102-106.
4. Амбросимов А.К., Амбросимов Е.С., Либина Н.В. Динамическая структура течений в районе западного свала Дербентской котловины Каспийского моря // Инженерная физика. – 2010. - №10. - С.31-46.
5. Амбросимов А.К., Амбросимов Е.С., Либина Н.В. Пространственно-временная изменчивость течений в районе западного свала глубин Дербентской котловины Каспийского моря / Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. - М.: Научный мир, 2010. - С.176-200.
6. Амбросимов А.К., Ананьев Р.А., Росляков А.Г. Каналы на дне Каспийского моря // Экологические системы и приборы. – 2011. - №5. - С.52-54.
7. Амбросимов А.К., Голубов Б.Н. Металлоносность вод и донных отложений Северного Каспия как показатель субмаринной разгрузки флюидов из его недр // Экологические системы и приборы. – 2013. - № 5. - С.50-63.
8. Амбросимов А.К., Ключиткин А.А., Гольдин Ю.А. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 39-м рейсе научно-исследовательского судна «Рифт» // Океанология. – 2014. – Т. 54. - №3. – С. 428-432.
9. Амбросимов А.К., Корж А.О., Либина Н.В. Придонные течения Среднего Каспия // Экологические системы и приборы. – 2010. - №6. - С.24-40.
10. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Буренков В.И. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 32-м рейсе научно-исследовательского судна «Рифт» // Океанология. – 2011. – Т.51. - №4. - С.751-757.
11. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Либина Н.В.и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-ом рейсе научно-исследовательского судна «Рифт» // Океанология. – 2012. - Т.52. - №1. - С.1-6.
12. Амбросимов С.А., Амбросимов Е.С. Методика проведения гидрофизических наблюдений с притопленных буйковых станций в глубоководной части Каспийского моря // Экологические системы и приборы. – 2007. - № 7. - С.48-51.

13. Амбросимов А.К., Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря во 2-м рейсе научно-исследовательского судна «Никифор Шуреков» летом 2013 г. // *Океанология*. – 2015. - Т.55. - №2. - С.344-347.
14. Бруевич С.В. Гидрохимия среднего и южного Каспия. - М.: Изд. АН СССР, 1934. - 350 с.
15. Зырянов В. Н. Гидродинамические основы формирования крупномасштабной циркуляции вод Каспийского моря. Т.1. Асимптотическая теория // *Водные ресурсы*. – 2015. –Т. 42. - № 6. - С. 600–612.
16. Ибраев Р.А. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. - М.: ГЕОС, 2008. - 128 с.
17. Ибраев Р.А., Озкой Э., Шрум К. Сезонная изменчивость циркуляции и уровня вод Каспийского моря: анализ результатов моделирования и данных наблюдений / Тр. Междунар. семинара “Изменение экосистемы Каспийского моря в условиях активизации ресурсной деятельности”. - Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2002. - № 3. - С. 8–19.
18. Клевцова Н.Д. Течения у западного побережья Среднего и Южного Каспия (от о. Чечень до устья р. Куры) // *Сб. работ Бакинской ГМО*. – 1968. - Вып. 4. – С. 153-159.
19. Ключиткин А.А., Амбросимов А.К., Кравчишина М.Д и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря во 2-м рейсе научно-исследовательского судна «Никифор Шуреков» летом 2013 г. // *Океанология*. – 2015.- Т.55. - №2. - С.344-347.
20. Курдюмов Д.Г., Озкой Э. Среднемесячные характеристики внутригодовой изменчивости циркуляции вод Каспийского моря, полученные по вихререзающей термогидродинамической модели // *Океанология*. - 2004. - Т 44. - № 6. - С. 843–853.
21. Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. - М.: Море, 2005. - 366 с.
22. Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Новигатский А.Н. и др. Глубоководные обсерватории на транскаспийском разрезе – непрерывные исследования потоков рассеянного осадочного вещества // *Доклады Академии Наук*. – 2014. - Т. 456. - №4. - С. 485-489.
23. Монин А.С., Озмидов Р.В. Океанская турбулентность. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 320 с.
24. Тужилкин В.С., Косарев А.Н., Трухчев Д.И., Иванова Д.П. Сезонные особенности общей циркуляции вод глубоководной части Каспийского моря // *Метеорология и гидрология*. – 1997. - № 1. - С. 91-99.
25. Штокман В.Б. Исследования кинематики течений у западного берега в средней части Каспийского моря // *Изв. Азерб. НИИрыбхоз*. – 1937. - Вып. 1. – 64 с.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

РАСЧЕТ ШТОРМОУСТОЙЧИВОСТИ ГИДРОБИОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ

Ю.Б. Елецкий¹, Б.Д. Елецкий², М.Ю. Кужель³, И.Ю. Елецкий³,

В.Г. Крючков⁴

¹Учреждение Российской академии наук «Южный научный центр РАН», г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: elezkiy@pn.kubannet.ru

²ООО «НК «Приазовнефть», г. Краснодар, ул. Кирова, 99

³ООО НИЦ «Морские Технологии», г. Краснодар, ул. Красных партизан, 413

⁴ФГБНУ «ЮгНИРО», Республика Крым, г. Керчь, ул. Свердлова, 2

Ключевые слова: гидробиотехническое сооружение; искусственные рифы; доочистка морской среды; штормоустойчивость; Черное море.

Key words: hydraulic structure; artificial reefs; advanced clean-up of the marine environment; storm resistance; Black Sea.

Abstract

The paper presents the analysis and estimation of storm resistance parameters of the hydraulic structures, designed for advanced clean-up of the marine environment in the eastern part of the Black Sea. The paper focuses on flexible structures with the horizontal or vertical (layered) location of the floating elements supported by inclined or vertical guiding rails with the load being on the ground. The estimation accounts for the minimal working lifespan of the structure (4,5 years) and the storm load with the occurrence of 1 in a 10 years' time. The calculated data revealed that the structure under study requires 7 gravity anchors weighing 2 tons each. Double anchors shall be installed on the edges, and a drag anchor shall be set in the middle. In this case the structure will have the required storm resistance for at least three exploitation cycles (18 months each).

В условиях интенсивной хозяйственной деятельности на морских акваториях, в том числе разведки и разработки нефтегазовых месторождений, остро стоит вопрос о мерах не только по предотвращению негативного воздействия, но и доочистке морской среды от привнесенных загрязнений, повышению устойчивости и биопродуктивности нарушенных экосистем [6, 13]. Одним из возможных способов является искусственное формирование благоприятных условий для обитания видов-эндемиков и строительство искус-

ственных рифов для создания новых мест обитания морских организмов, особенно тех, что активно влияют на процессы самоочищения [11, 12]. Мидии, например, широко распространенные и культивируемые в восточной части Черного моря [1], фильтруя воду, связывают эмульгированную нефть и способствуют ее осаждению на дно, где процессы микробного разложения идут намного более интенсивно, чем в водной толще [6].

Многолетние экспедиционные и натурные исследования, проведенные авторами с 1990 года [3-5], показывают, что гидрологические условия восточной части Черного моря позволяют успешно использовать гидробиотехнические сооружения как для выращивания мидий в промышленных масштабах, так и для активизации процессов самоочищения морских вод [6-9]. Определено достаточное количество прибрежных районов, подходящих для размещения подобных сооружений [1, 2], чему способствуют морфологические особенности шельфа, глубины (до 25 м), соответствующие течения, а также отсутствие ледостава зимой.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность освоения прибрежной зоны марикультурой, является штормоустойчивость гидробиотехнических сооружений, используемых для доочистки морской среды. Она определяет особые требования к прочностным характеристикам материалов, используемых в гидробиотехнических сооружениях (ГБТС). Приведенный ниже расчет штормоустойчивости ГБТС относится к гибкому типу сооружений с горизонтальным или вертикальным (ярусным) расположением несущих плавучих элементов, удерживаемых наклонными или вертикальными оттугами с грузами на грунте (рис.1).

Сооружение должно эксплуатироваться в течение нескольких (минимум трех) циклов выращивания длительностью полтора года, поэтому за расчетные принимают нагрузки от шторма возможного раз в 10 лет. Средние параметры такого шторма для восточной части Черного моря следующие: высота волны $h = 2,5$ м, длина волны $\lambda = 75$ м, период $\tau = 8$ с [2].

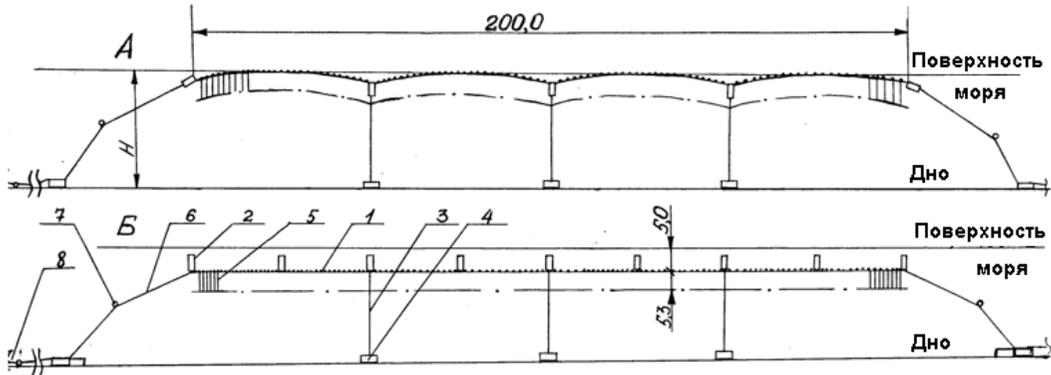


Рис. 1 Сооружение для выращивания мидий (10 шт. за цикл выращивания)

А – сооружение в период сбора личинок мидий;

Б – сооружение в период подращивания мидий до товарных размеров.

- | | | |
|------------------------------------|--------------------------|-----------|
| 1 - несущая хребтина с поплавками; | 5 - коллектор | H=15-30 м |
| 2 - поплавок-«карандаш»; | 6 - оттяжка | |
| 3 - оттуга; | 7 – поплавок-компенсатор | |
| 4 - бетонный груз | 8 – якорь-кошка | |

В случае движения волны перпендикулярно несущей хребтине горизонтальную составляющую скорости движения воды вычисляют по формуле:

$$U_r = \frac{g^{kh}}{2\sigma} * \frac{\sin(kx + \sigma t)}{ChkH} * Chk(z + H)$$

где U горизонтальная составляющая скорости движения частиц жидкости;

$$\sigma = \frac{2 * \pi}{\tau}, \quad k = \frac{2 * \pi}{\lambda} \quad \text{- волновые числа } (\pi = 3,14);$$

xг – горизонтальная координата точки в воде,

z = H – xв, xв – вертикальная координата;

H – глубина места.

Практически с достаточной точностью скорость движения воды на поверхности определяют по упрощенной формуле:

$$U_o = \frac{\pi * h}{\tau}, \text{ м/с,}$$

а скорость движения воды на глубине $U_n = U_o * e^{\frac{-2\pi z}{\lambda}}$.

В результате вычислений получены значения вертикальной составляющей скоростей на соответствующих индексам глубинах:

$U_0 = 0,98$ м/с, $U_1 = 0,90$ м/с, $U_2 = 0,82$ м/с, $U_3 = 0,76$ м/с, $U_5 = 0,64$ м/с, $U_{10} = 0,36$ м/с, $U_{15} = 0,27$ м/с, $U_{20} = 0,12$ м/с.

Для определения горизонтальной составляющей скорости воды необходимо к вычисленным значениям добавлять скорость постоянного течения, которая в среднем как составляющая попутного штормового движения воды, не превышает значения 0,5 м/с, например, $U_{Г5} = 0,64 + 0,5 = 1,14$ м/с.

Таким образом, внешние повторяющиеся нагрузки на элементы ГБТС ВМ, в зависимости от глубины их расположения, от штормового воздействия, определяют соответственно расчетных значений скорости движения воды:

$U_0 = 1,48$ м/с, $U_1 = 1,40$ м/с, $U_2 = 1,32$ м/с, $U_3 = 1,26$ м/с, $U_5 = 1,14$ м/с,
 $U_{10} = 0,86$ м/с, $U_{15} = 0,77$ м/с, $U_{20} = 0,62$ м/с,

В море сооружение подвергается долговременному многократному волновому воздействию. Длительность экспозиции и изменяющаяся биомасса обрастателей осложняют возможность эксплуатации сооружения без поломок.

Все части сооружения оказывают сопротивление потоку воды, причем направление скорости периодически изменяется в пространстве и во времени. В сооружении, при его размерах сопоставимых с длиной волны, внешние нагрузки складываются или взаимно уничтожаются, и точный динамический расчет с определением нагрузок в каждый момент в любых точках затруднен.

Для обеспечения штормоустойчивости такого сооружения при предполагаемом урожае и оптимальном расположении плавов (возможное заглубление и распределение по длине несущих элементов), достаточно правильно рассчитать массу удерживающих якорей и ответственно отнестись к узлам соединений элементов сооружения. В расчетах массы якорей делают допу-

щения и определяют нагрузки при расчетных скоростях потока воды от полной плавучести (некомпенсированной биомассой моллюсков) и суммарного сопротивления коллекторов с обрастателями и основных элементов сооружения.

Расчет массы якорей проводят по формуле:

$$Q = \left(\frac{P_{\Gamma}}{K_{\text{я}}} + 1,7 * P_{\text{в}} \right) * \frac{1}{g}, \text{ кг,}$$

где Q – масса якоря на воздухе,

P_{Γ} – горизонтальная составляющая нагрузки на якорь;

$P_{\text{в}}$ – вертикальная составляющая;

g – 9,8 кг/с,

$K_{\text{я}}$ – коэффициент держащей силы якоря с углублением в днище и песчаного грунта $K_{\text{я}} = 1,5$.

Определение массы крайних грузов проводится по приведенной на рис. 2 схеме.

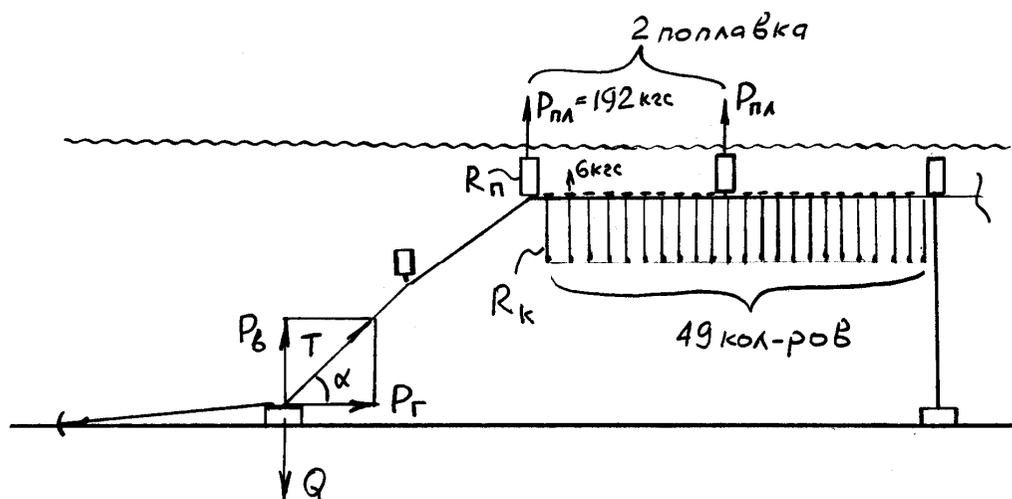


Рис. 2 Схема определения массы крайних грузов

Усилие в оттяжке (T) определяется как результирующая суммарных сил плавучести края сооружения и суммарного сопротивления 49 коллекторов:

$$T = \sqrt{\sum P_{пл}^2 + \sum R_c^2}$$

Необходимая плавучесть для поддержания сооружения в толще воды определяется на основе следующих данных:

- биомассы мидий с обрастателями на один погонный метр коллектора, составляющей 10 кг/пог. м (на воздухе);
- длины одного коллектора $l = 5,35$ м, количества погонных метров на 49 коллекторах $5,35 \cdot 49 = 262,15$ (м).

На этом субстрате может разместиться биомасса

$$P_M = 10 \cdot 262,15 = 2621,5 \text{ кг.}$$

Такую биомассу моллюсков в толще воды может удержать суммарная плавучесть

$$\sum P_{пл} = \frac{2621,5}{4} = 655,4 \text{ (кгс),}$$

где 4 – коэффициент учитывающий потерю веса мидий в воде и наличие неорганических отложений.

Эта плавучесть распределена на части сооружения следующим образом:

- основной поплавков-карандаш, плавучесть – 192 кгс, количество – 2,0, их плавучесть $192 \cdot 2,5 = 480$ (кгс);
- плавучесть поплавок отяжки – 36 кгс;
- плавучесть хребтины, на которой размещены 96 наплавов по 3 кгс плавучести, - $3 \cdot 96 = 288$ (кгс).

Итого суммарная плавучесть всех поплавков составляет:

$$\sum P_{пл} = 480 + 36 + 288 = 804 \text{ (кгс).}$$

Плавучесть сооружения (804 кгс) больше расчетной плавучести (655,4 кгс) на 22,8%, что соответствует рекомендациям специалистов-практиков, согласно которым суммарная плавучесть плавов должна в любой период времени превышать биомассу на 20-30%. Поэтому плавучесть 804 кгс может быть принята для расчета массы якоря.

Сопротивление поплавок потоку жидкости определяем по формуле:

$$R_{II} = c * \frac{\rho}{2} * F * U_p^2,$$

где c – коэффициент сопротивления,

ρ – плотность воды,

U – скорость движения воды,

F – площадь сопротивления.

Коэффициент сопротивления (c) зависит от числа Рейнольдса (Re) и определяется по таблицам [10].

$$Re = \frac{d * U_p}{\nu},$$

где d – диаметр поплавок,

U_p – расчетная скорость движения воды на соответствующей глубине;

ν – кинематический коэффициент вязкости воды, при солености 20% и температуре 10°C $\nu = 1,36 * 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = \frac{0,49 * 1,2}{1,36 * 10^{-6}} = 0,43 * 10^6$$

по таблице $c = 0,71$ [10];

$\rho = 1028$ т/м³ – плотность морской воды,

$F = 1,9 * 0,49 = 0,95$ (м²),

$$R_{II} = 0,71 * \frac{1028}{2} * 0,95 * 1,2^2 = 499,2$$

Результирующая нагрузка, воздействующая на поплавок от плавучести (192 кгс) и сопротивления (50,9 кгс), составляет:

$$\sqrt{50,9^2 + 192^2} = 198,6 \text{ (кгс)}$$

Сопротивление коллектора с мидиями ($d = 0,18$, $l = 5,35$) потоку скорости ($U_p = 0,75$), $c = 0,7$

$$R_K = 0,7 * \frac{1028}{2} * 0,96 * 0,75^2 = 194,3$$

Сопротивление одного коллектора $RК = 19,4$ кгс

Результирующая нагрузка, действующая на коллектор с учетом дополнительных плавов (6 кгс) и сопротивления (19,4 кгс):

$$\sqrt{19,4^2 + 6^2} = 20,3 \text{ (кгс)}$$

Сопротивление 49 штук коллекторов составляет $20,3 * 49 = 995$ (кгс).

Суммарное сопротивление края сооружения равно усилию (Т) якорной оттяжки:

$$\sum R = T = (2 * 198,6) + 995 = 1392,2 \text{ (кгс)}$$

Вертикальная составляющая Т:

$$P_B = T * \cos \alpha = 1392,2 * 0,454 = 632 \text{ (кгс)}$$

Горизонтальная составляющая Т:

$$P_T = T * \sin \alpha = 1392,2 * 0,9 = 1253 \text{ (кгс)}$$

Масса крайнего якоря в воде:

$$Q = \frac{1253}{1,5} + 1,7 * 632 = 1909,7 \text{ (кгс)}$$

С учетом этих величин груз из бетона на воздухе будет весить:

$$Qб = \frac{1909,7}{0,48} = 3978 \text{ (кг)},$$

а груз из чугуна:

$$Qч = \frac{1909,7}{0,82} = 2329 \text{ 9(кг.)}$$

Принимаем массу якоря величиной 4,0 т и увеличиваем держащую силу якоря якорем-кошкой массой 27 кг с оттяжкой длиной 30 м, что обеспечивает необходимый запас при эксплуатации якоря без перемещений по дну во время штормов.

Для определения массы промежуточных якорей (3 шт.) рассчитаем усилие в вертикальной оттуге, как результирующую нагрузку от двух поплавков (один на оттуге и по 1/2 на краях) и 49 коллекторов (рис. 3).

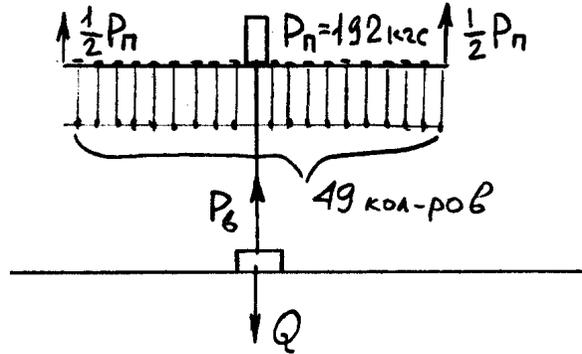


Рис. 3 Схема определения массы промежуточных якорей

$$P_B = \sqrt{(2 * 198,6)^2 + 995^2} = 1071,35 \text{ (кгс)}$$

Масса бетонного якоря на воздухе:

$$Q_{\text{ПР}} = \frac{P_B}{q_b},$$

где q_b – удельная потопляемость бетона

$$q_b = \frac{\rho_b - \rho_u}{\rho_b} = \frac{2,2 - 1,028}{2,2} = 0,53$$

$$Q_{\text{ПР}} = \frac{1071,35}{0,53} = 2021,4 \text{ (кг)}.$$

Принимаем массу промежуточных грузов величиной 2,0 т, учитывая, что первоначально СВМ устанавливают без промежуточных поплавков, а «пустые» коллекторы оказывают меньшее сопротивление при расчетных скоростях движения воды как минимум в два раза, и тогда масса якоря $Q_{\text{ПР}}$ равна:

$$P_B^1 = \sqrt{198,6^2 + \left(\frac{995}{2}\right)^2} = 535,6 \text{ (кгс)}$$

$$Q_{\text{ПР}}^1 = \frac{535,6}{0,53} = 1010,5 \text{ (кг).}$$

Таким образом, по расчетным данным и с целью унификации для сооружения необходимо и достаточно иметь 7 гравитационных якорей массой 2,0 тонны каждый. По краям должны быть установлены двойные якоря, посередине - якорь-кошка. В этом случае сооружению будет обеспечена требуемая штормоустойчивость в течение как минимум трех циклов эксплуатации (1,5 года каждый).

ЛИТЕРАТУРА

1. Елецкий Б.Д. Биология и культивирование мидий в восточной части Черного моря. - Краснодар: Просвещение-Юг, 2006. – 200 с.
2. Елецкий Б.Д., Нагалецкий Ю.Я., Тюрин В.Н. Географические аспекты развития промышленной марикультуры в российской части Черного моря // География Краснодарского края. - Краснодар, 1994.- С. 199-207.
3. Елецкий Б.Д., Ткаченко Ю.Ю. и др. Атлас карт распределения океанологических параметров в прибрежной зоне восточной части Черного моря. - Краснодар: Агропромполиграфист, 1991. - 170 с.
4. Елецкий Б.Д., Ткаченко Ю.Ю., Руднев Г.В. Использование космических методов для исследования динамики шельфа восточной части Черного моря // Экология прибрежной зоны Черного моря. - М.: ВНИРО, 1992. - С. 275-306.
5. Елецкий Ю.Б., Елецкий Б.Д. Природные океанографические условия Российской части Черного моря.- Краснодар: Просвещение-Юг, 2009. - 200 с.
6. Корпакова И.Г., Конев Ю.В., Коваленко Ю.И. и др. Использование рифовых систем для доочистки морской среды в Темрюкском заливе Азовского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2009.- №11.- С.5-18.
7. Крючков В.Г. Гидробиотехнические сооружения для мидийных хозяйств Азово-Черноморского бассейна // Рыбное хозяйство. Серия «Марикультура»: обзорная информация ВНИЭРХ. – М, 1990. – 66 с.
8. Патент на изобретение 2302730 от 20.07.2007. Искусственный риф / В.А. Грицыхин [и др.].- Бюл. № 20.
9. Патент на изобретение 2314684 от 20.01.2008. Искусственный биотоп / В.А. Грицыхин [и др.].- Бюл. № 2.
10. Упражнения и расчеты по промышленному рыболовству / Под ред. Войникас-Мирского В.Н. – М., 1966. - 336 с.
11. Final Programmatic Damage Assessment and Restoration Plan (PDARP) and Final Programmatic Environmental Impact Statement (PEIS). [Электронный ре-

супс] URL: <http://www.gulfspillrestoration.noaa.gov/restoration-planning/gulf-plan/>.

12. Goreau T.J., Trench R.K. Innovative Methods of Marine Ecosystem Restoration. - NY: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2012, 312 p.

13. Long-term Environmental Effects of Offshore Oil and Gas Development / D.F. Boesch, N.N. Rabalais, eds. – NY: CRC Press, Taylor & Francis Group, 1987, 720 p.

ХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРУБОПРОВОДА ВНЕШНЕГО ТРАНСПОРТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ИМ. В. ФИЛАНОВСКОГО

С.К. Монахов¹, Е.В. Колмыков², В.В. Ушивцев³, К.И. Асаева¹,
О.В. Енина¹

¹ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14, e-mail: kaspnmiz@mail.ru

²ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, 1

³ Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, офис 5

Ключевые слова: Северный Каспий; лицензионный участок; производственный экологический мониторинг; строительство трубопровода; оценка воздействия; загрязнение морской среды.

Keywords: Northern Caspian; license area; industrial environmental monitoring; construction of the pipeline; impact assessment; marine pollution.

Abstract

The article unveils the results of industrial environmental monitoring carried out at the site of pipeline construction from the oilfield named after V. Filanovsky to Kalmykia coast. The research, which was implemented by means of mathematical – statistical and graph – analytical methods as well as the methods of spatial variability analysis, focuses on the assessment of construction impact on the state of the marine environment. It is revealed that laying of the pipeline lead to the decrease of organic matter and silt particles content in the bottom sediments. Alongside with this, the concentration of pollutants transported with suspended material was decreasing as well. In most cases, no impact of the pipeline construction on the marine environment was observed. In some cases the impact was assessed as low or moderate.

Введение

Нефтегазоконденсатное месторождение им. В. Филановского было открыто ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» в 2005 году и в настоящее время является одним из самых перспективных в российском секторе недропользования Каспийского моря [1]. Строительство трубопровода, соединяющего ме-

сторождение с терминалами на суше, началось в 2013 году. Составной частью экологического обеспечения работ является производственный экологический мониторинг, осуществляемый в районе прокладки трубопровода, начиная с 2012 года. В 2013 г. в программу мониторинга были внесены определенные коррективы с целью адаптации к графику, составу и порядку выполнения строительных работ. При этом были уточнены объекты мониторинга и порядок проведения наблюдений, а объем исследований остался прежним.

В данной работе освещаются результаты производственного экологического мониторинга, выполненного в районе месторождения им. Филановского в 2013 году во время строительства трубопровода. Как известно, производственный экологический мониторинг проводится в соответствии с требованиями природоохранного законодательства [3, 13]. При этом программы экологического мониторинга направлены на получение информации, достаточной для оценки фактического воздействия объекта на окружающую среду [12, 14]. В связи с этим основное внимание в настоящей статье уделяется оценке воздействия строительных работ на состояние и загрязнение морской среды.

Материалы и методы исследований

В 2013 г. экспедиционные наблюдения проводились за широким набором экологических параметров, характеризующих различные компоненты морской среды, в объеме, обеспечивающем оценку экологической обстановки. В районе работы судна-трубоукладчика и прохождения трассы трубопровода исследования проводились в два этапа – в августе и октябре. При этом на каждом этапе наблюдения на исследовательском полигоне выполнялись дважды: до (1-я очередь) и после (2-я очередь) прохождения через него судна-трубоукладчика.

Исследовательский полигон находился вдоль трассы трубопровода и включал в себя 20 станций, схема расположения которых приведена на рис. 1. На полигоне выделялись следующие разрезы: 1-й или северный дальний (ст.

1-5), 2-й или северный ближний (ст. 6-10), 3-й или южный ближний (ст. 11-15), 4-й или южный дальний (ст. 16-20).

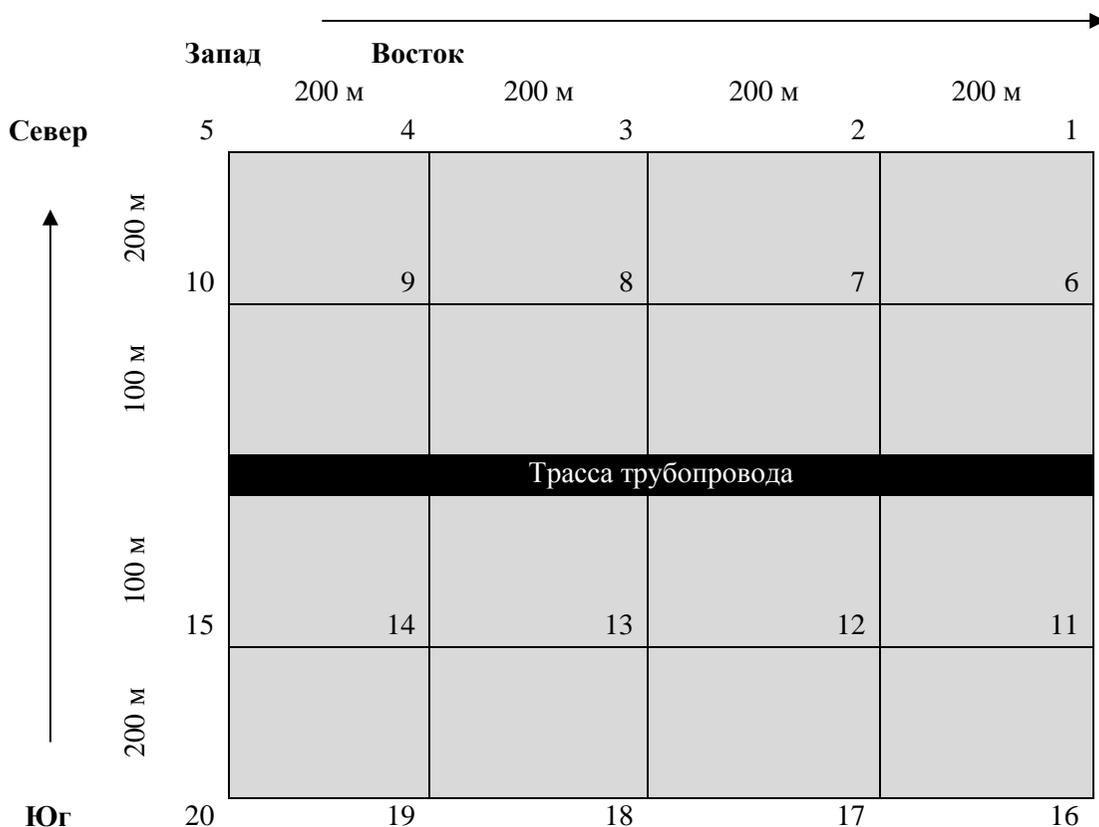


Рис. 1 Схема расположения станций в районе прокладки трубопровода

Станции в пространстве были уплотнены специально, чтобы выявить (и далее оценить) локальное воздействие строительных работ на морскую среду. На каждой станции полигона проводились метеорологические, гидрологические и гидрохимические наблюдения, отбирались пробы воды и взвеси из придонного слоя, а также пробы донных отложений. В этих пробах в стационарных лабораториях измерялись концентрации нестойких и стойких органических загрязнителей, а также тяжелых металлов (в пробах взвеси определялись только металлы).

Наблюдения за состоянием и загрязнением морской среды в районе прокладки трубопровода на первом и втором этапах по объему и составу были полностью аналогичны друг другу. Только в августе они выполнялись к востоку (полигон «Восточный»), а в октябре – к западу от Волго-Каспийского канала (полигон «Западный»), что было обусловлено местонахождением судна-трубоукладчика.

При обработке полученных данных проводились анализ изменчивости состояния морской среды, оценка ее загрязнения и качества, а также оценка воздействия строительных работ на морскую среду, для чего, в основном, использовались математико-статистические и графоаналитические методы, а также методы анализа пространственной изменчивости, изложенные в работе [5]. Комплексная оценка качества морских вод осуществлялась в соответствии с [2, 9, 10], а оценка загрязнения морской среды – при помощи ансамблевого метода, специально разработанного ФГБУ «КаспМНИЦ» для нефтегазоносных акваторий Каспийского моря [6].

Для оценки воздействия использовались следующие расчетные параметры [7]:

- геохимическая фоновая концентрация на всем полигоне (медиана), C_f ;
- средняя концентрация на каждом разрезе, C_i (C_1, C_2, C_3, C_4);
- разность (абсолютный прирост) фоновой концентрации между первой и второй очередью ($\Delta C_f = C_{f_2} - C_{f_1}$);
- разность (абсолютный прирост) средней концентрации на каждом разрезе, ΔC_i ;
- относительный прирост фоновой концентрации ($\Delta C_f' = 100 * \Delta C_f / C_{f_1}$);
- относительный прирост средней концентрации ($\Delta C_i' = 100 * \Delta C_i / C_{i_1}$);
- разность (D_2) между относительным приростом фоновой концентрации и относительным приростом средней концентрации на северном ближнем разрезе ($D_2 = \Delta C_f' - \Delta C_i'$);

– разность (D_3) между относительным приростом фоновой концентрации и относительным приростом средней концентрации на южном ближнем разрезе ($D_3 = \Delta C_f' - \Delta C_3'$).

Шкала, по которой производилась оценка, приведена в табл. 1.

При оценке воздействия учитывалось, что разброс значений измеряемого параметра может резко возрасть вблизи порога чувствительности метода, используемого для проведения измерений. В этих случаях данная оценка считалась недостоверной.

Таблица 1

Шкала оценки воздействия укладки трубопровода на морскую среду

$ Di $, %	Оценка воздействия
< 25	Нет
$25 \leq Di < 50$	слабое воздействие
$50 \leq Di \leq 100$	умеренное воздействие
$Di > 100$	сильное воздействие

Результаты исследований и их обсуждение

В районе укладки трубопровода вариабельность показателей состояния и загрязнения морской среды, как и вклад локальной изменчивости в их динамику, в большинстве случаев оказались низкими. Повышенная вариабельность выявлялась только у высокомолекулярных ПАУ (ВМПАУ) и хлорорганических пестицидов (ХОП), концентрация которых была близка к пределу обнаружения, что соответствует особенностям их распределения в природных водах [4, 8].

В исследуемый период в районе укладки трубопровода морские воды оценивались как умеренно загрязненные и загрязненные (табл. 2). Обращает на себя внимание тот факт, что до прокладки трубопровода уровень загрязненности морских вод здесь был выше, чем после ее завершения. К приоритетным загрязняющим веществам относились нефтепродукты, железо, медь, а также никель, средняя концентрация которых достигала 1 ПДК и более. Со-

держание никеля и меди (только на втором этапе) в донных отложениях не соответствовало зарубежным нормативам качества (так называемым «голландским листам», Neue Niederlandische Liste), рекомендованным в [11].

При этом по результатам ансамблевой оценки в августе и октябре 2013 года морские воды и донные отложения в рассматриваемом районе следует охарактеризовать как «чистые».

Таблица 2

Значения ИЗВ в районе укладки трубопровода

Район	ИЗВ	
	1-я очередь	2-я очередь
1 этап		
Полигон «Восточный»	1,54	1,25
2 этап		
Полигон «Западный»	1,30	1,22

По данным наблюдений, воздействие строительства трубопровода на состояние морской среды преимущественно отсутствовало, в редких случаях оно оценивалось как слабое, в двух – как умеренное (на содержание взвешенного вещества и азота нитритного в августе).

Следует отметить, что как в августе, так и в октябре, проводимые работы не оказывали воздействия на большинство показателей загрязнения морской среды, однако результаты оценки на первом и втором этапе несколько отличались. Так, случаев умеренного и сильного воздействия на полигоне «Западный» было выявлено в три раза больше, а среди веществ, подверженных сильному влиянию, только концентрация ДДЕ в донных отложениях встречалась на обоих этапах.

Как видно на рис. 2, характер пространственного распределения ДДЕ в донных отложениях рассматриваемых полигонов после прохождения судна-трубоукладчика изменялся неоднозначно.

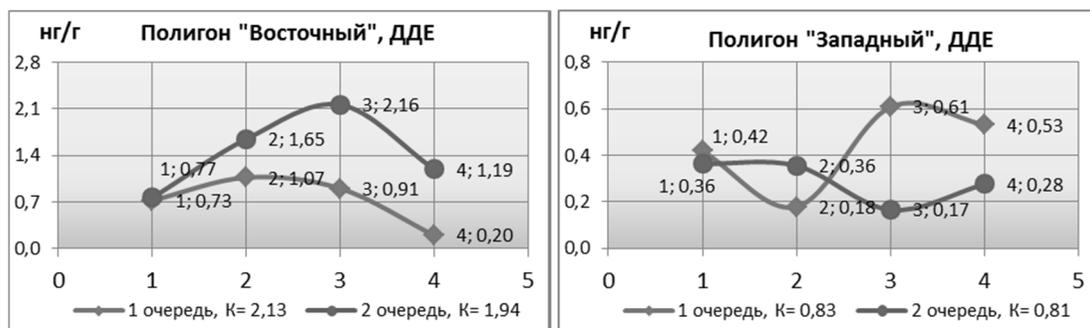


Рис. 2 Концентрации ДДЕ (нг/г) в донных отложениях на полигонах «Восточный» и «Западный» до (слева) и после (справа) укладки трубопровода

Результаты оценки воздействия строительства трубопровода на содержание и распределение в воде и донных отложениях приоритетных загрязняющих веществ, выявленных в ходе оценки качества и загрязнения, представлены на рис. 3-4 и в табл. 3.

Из них следует, что изучаемый источник оказывал слабое воздействие на содержание никеля в донных отложениях и меди в воде (на полигоне «Западный»), тогда как в отношении остальных параметров оно вообще не наблюдалось. Данный факт еще раз указывает на то, что повышенное содержание приоритетных загрязняющих веществ в компонентах морской среды не было связано с проводимыми работами.

По данным литолого-геохимических наблюдений установлено, что укладка трубопровода способствовала снижению концентрации органического вещества и илстых частиц в донных отложениях. Вместе с тем снижалась концентрация загрязняющих веществ в воде и донных отложениях, миграция которых связана с взвешенными наносами. В большинстве случаев воздействие строительства трубопровода на морскую среду отсутствовало. В отдельных случаях оно оценивалось как слабое, в нескольких – как умеренное.

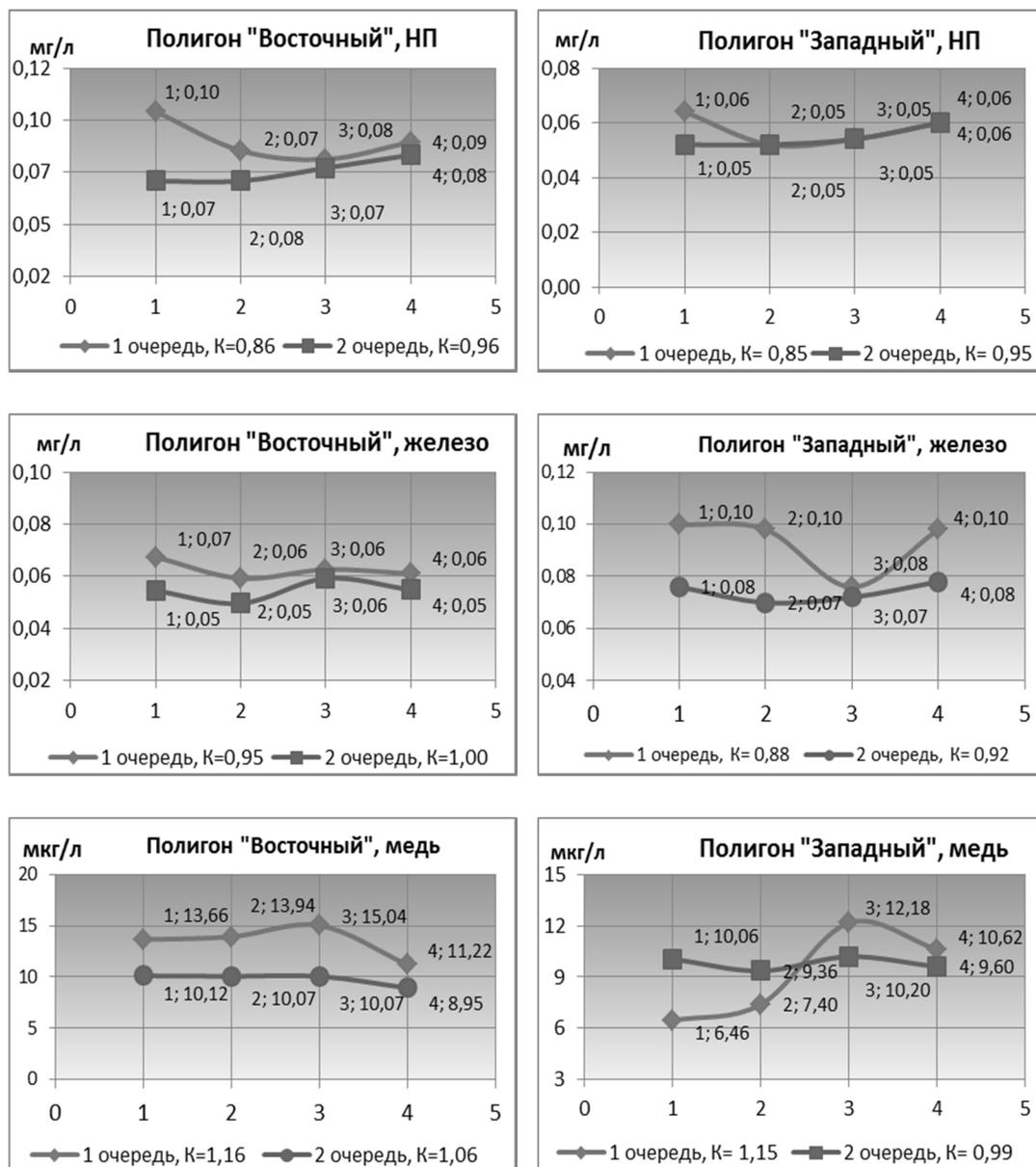


Рис. 3 Содержание нефтепродуктов (мг/л), железа (мг/л) и меди (мкг/л) в воде на полигонах «Восточный» и «Западный» до (слева) и после (справа) укладки трубопровода

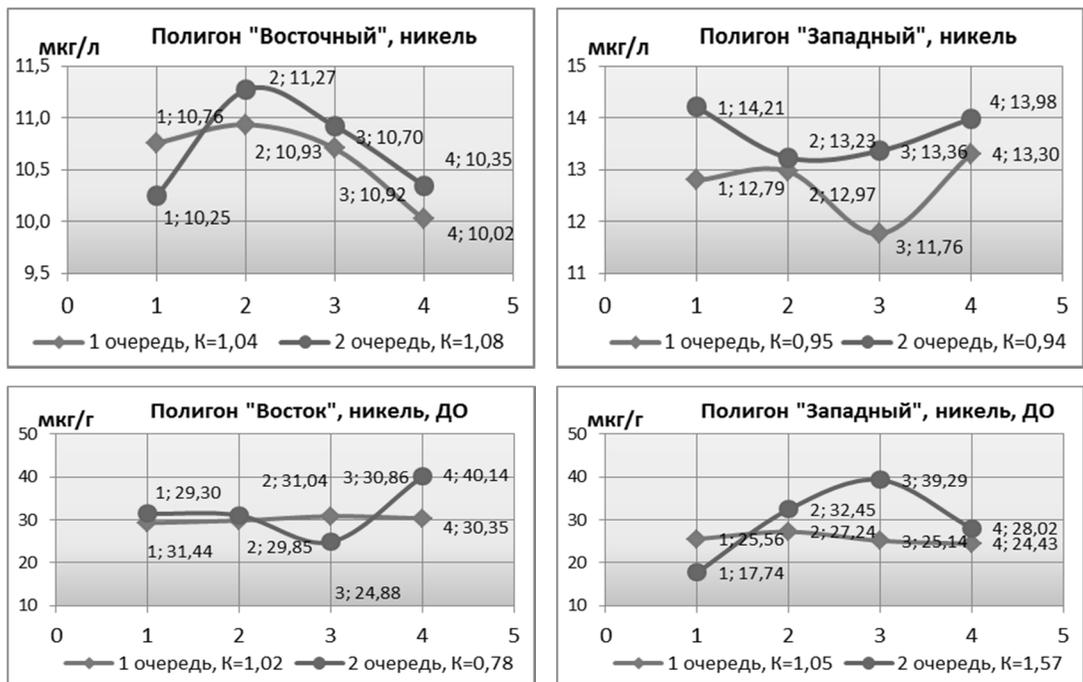


Рис. 4 Содержание никеля в воде (мкг/л) и донных отложениях (мкг/г) на полигонах «Восточный» и «Западный» до (слева) и после (справа) укладки трубопровода

Таблица 3

Изменения концентрации загрязняющих веществ в воде и донных отложениях на полигонах «Восточный» и «Западный» после укладки на них трубопровода

Показатели, %	НП, вода	Железо, вода	Медь, вода	Никель, Вода	Никель, ДО
Полигон «Восточный»					
Северный ближний разрез	-17,1	-16,7	-27,8	3,29	4,0
Южный ближний разрез	-5,1	-3,2	-33,0	2,05	-19,4
Фон	-17,6	-23,1	-24,8	-0,45	5,2
D ₂	1	6	3	4	1
D ₃	13	20	8	6	25
Полигон «Западный»					
Северный ближний разрез	0,00	-28,6	26,5	1,7	19,1
Южный ближний разрез	0,00	-5,3	-16,3	13,8	56,3
Фон	-16,7	-26,3	14,5	6,5	14,3
D ₂	17	2	12	5	5
D ₃	17	21	31	7	42

Примечание. Зеленый цвет – воздействие отсутствовало, оранжевый – было слабым.

Заключение

В целом динамика показателей состояния и загрязнения морской среды в районах строительства трубопровода указывает на улучшение ее качества после проведения строительных работ. Это объясняется специфическими особенностями Северного Каспия, где загрязняющие вещества тесно связаны с взвешенными частицами и потому любые факторы (в том числе антропогенные), способствующие мобилизации и выносу за пределы акватории загрязненных взвешенных частиц, рассматриваются как факторы самоочищения акватории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев В.А., Остроухов С.Б., Алексеев А.Г. Строение и формирование залежей углеводородов месторождения им. В. Филановского // Нефтепромысловое дело. - 2010. - №2. – С. 8-16.
2. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. - М.: Госкомгидромет СССР, 1986. - 5 с.
3. Курапов А.А., Зорникова О.И., Штунь С.Ю., Киселев А.В., Монахов С.К. Производственный экологический мониторинг в районах морской нефтегазодобычи в условиях нестабильной экологической обстановки // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. – №4. – С. 6-12.
4. Михайлов Г.М., Андреев В.В., Попова Н.В. и др. Динамика хлорорганических загрязняющих веществ в воде и донных отложениях Северного Каспия по данным производственного экологического мониторинга // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2005. - №7. – С. 53-59.
5. Монахов С.К., Есина О.И., Монахова Г.А., Татарников В.О. Геоэкологические показатели загрязнения морей: методы расчета и применения. – Астрахань: ИП Сорокин, 2014. – 82 с.
6. Монахов С.К., Курапов А.А., Попова Н.В. и др. Комплексная оценка качества морской среды в районах разведки и разработки нефтегазовых месторождений на морском шельфе // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - М., 2011. - № 11. - С. 12-17.
7. Монахова Г.А., Татарников В.О., Попова Н.В. Термины и методы расчета фоновой концентрации загрязняющих веществ в морской среде // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – Махачкала, 2010. - №2. - С. 72-78.
8. Немировская И.А. Углеводороды в океане. – М.: Научный мир, 2004. – 328 с.

9. Приказ Росрыболовства № 20 от 18.01.2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения». [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/902199367>.
10. СанПиН 2.1.5.2582-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей в местах водопользования населения». [Электронный ресурс] URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12074380/#ixzz43oYU7rFm>.
11. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства». [Электронный ресурс] URL: <http://www.geotechka.ru/documents/050.pdf>.
12. OSPAR. Assessment of impacts of offshore oil and gas activities in the North-East Atlantic. OSPAR Commission, 2009. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ospar.org/documents?v=7154>.
13. OSPAR. Guidelines for Monitoring the Environmental Impact of Offshore Oil and Gas Activities. Reference number: 2004-11. [Электронный ресурс] URL: https://www.govmin.gl/images/stories/petroleum/2004_OSPAR_offshore_guidelines_monitoring.pdf.
14. OGP. Offshore Environmental Monitoring for the Oil & Gas Industry. OGP. Report No. 457, May 2012. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ogp.org.uk/pubs/457.pdf>.

СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ФОНОВЫХ РАЙОНОВ АСТРАХАНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Е.В. Островская^{1,2}, К.В. Литвинов^{2,3}, Е.В. Колмыков⁴, Н.В. Попова⁵,

Т.С. Пронина¹

¹ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14, e-mail: eostrovskaya@mail.ru

²Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, офис 5

³ФГБУ «Астраханский государственный биосферный заповедник», г. Астрахань, Набережная реки Царев, 119

⁴ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, 1/2

⁵ООО «Каспийская нефтяная компания», г. Астрахань, просп. Губернатора А. Гужвина, 10

Ключевые слова: Астраханский биосферный заповедник; Волго-Каспийский бассейн; фоновый район; загрязнение донных отложений; органический углерод; алифатические углеводороды, полиароматические углеводороды; нефтяные углеводороды.

Keywords: Astrakhan Biosphere Reserve; Volga-Caspian basin; background area; contamination of sediments; total organic carbon; aliphatic hydrocarbons; polycyclic aromatic hydrocarbons; petroleum hydrocarbons.

Abstract

With the aim to assess the current level of hydrocarbon pollution of the bottom sediments in Astrakhan Biosphere Reserve and to identify the main sources of the pollution, the bottom sediments were sampled at Obzhorovskiy and Damchikskiy sites in the summer of 2015. The samples were analyzed for the concentration of organic carbon (Corg) by means of dry combustion method, aliphatic hydrocarbons (АНС) and polyaromatic hydrocarbons (РАН) by means of chromatography-mass spectrometry. The study revealed that the aliphatic hydrocarbons of the bottom sediments are dominated by those of terrigenous and biogenous origin, pointing to the intensive processes of allochthonous organic matter decomposition and autochthonous organic matter synthesis ongoing in the water bodies. The estimation of molecular markers also points to the presence of the transformed petroleum PАНs, domination of polyarenes of terrigenous and pyrogenous origin, and the presence of petrogenous PАНs and different petroleum products in the bottom sediments

Введение

Углеводороды довольно токсичны для водных объектов и их обитателей. В концентрациях 0,001-10 мг/л они оказывают негативное воздействие

на организм человека, животный мир, водную растительность, физическое, химическое и биологическое состояние водоема [9].

Углеводороды поступают в водные объекты с организованными сбросами производственных предприятий, с распределенным поверхностным склоновым и подземным стоком вод с загрязненных территорий. Антропогенные углеводороды сосредоточены, в основном, в судоходных районах и в местах разработки нефтегазовых месторождений [6].

Поступление в водную среду нефтяных углеводородов может быть связано не только с антропогенной деятельностью, но также иметь и естественное, в том числе биологическое, происхождение [3]. Разнообразие состава биогенных углеводородов обусловлено природными биохимическими процессами, основная роль в которых принадлежит планктонным организмам. Фитопланктон вносит основную долю в общую массу биогенных углеводородов. В местах скопления водорослей, и особенно в период их цветения, возможно увеличение количества в воде углеводородов. Это может привести к имитации загрязнения вод нефтью [3, 7].

В условиях активизации работ по разведке и разработке нефтегазовых месторождений на Северном Каспии [2] необходимо знать уровни концентраций УВ в фоновых, незагрязненных районах. Таким районом для Волго-Каспийского бассейна являются территория и водные объекты Астраханского государственного биосферного заповедника (АГБЗ).

Целью данной работы является оценка современного уровня загрязнения углеводородами донных отложений фоновых районов АГБЗ, расположенных в нижней зоне дельты р. Волги, и определение основных источников их поступления.

Материалы и методика исследований

Донные отложения для исследования были отобраны летом 2015 г. на двух участках Астраханского биосферного заповедника – Обжоровском и

Дамчикском (рис. 1). Пробы отбирались бентосным дночерпателем, захватывающим 5-10 см поверхностный слой осадка.

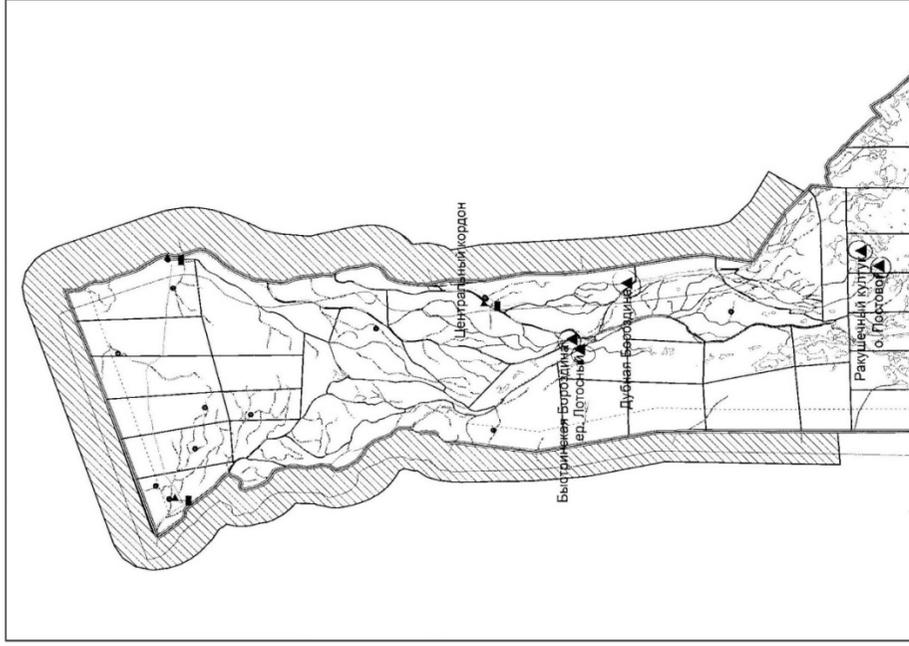
Отбор проб донных отложений для определения содержания углеводов, проводился в соответствии с РД 52.17.262.91, РД 52.10.556-95 «Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси».

Аккредитованной лабораторией НПО «Тайфун» в пробах были определены концентрации органического углерода (Сорг) методом сухого анализа, алифатических углеводов (АУВ) и полиароматических углеводов (ПАУ) методом хромато-масс-спектрометрии.

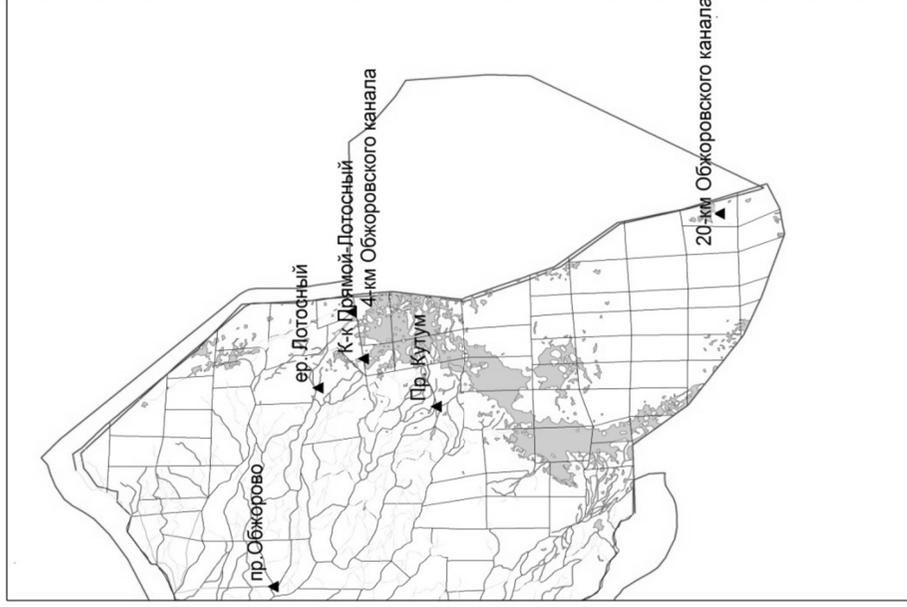
Концентрации Сорг определялись по ГОСТ 23740-79 на анализаторе углерода ТОС-L CSN с модулем SSM-5000А, концентрации АУВ - по методике М/МВИ-109-03 на хромато-масс-спектрометре Saturn 3D и концентрации ПАУ – по методике М-МВИ-202-07 на хромато-масс-спектрометре Varian Saturn 2100Т.

Были определены концентрации следующих ПАУ: нафталин (Н), 1-метилнафталин (1-МН), 2-метилнафталин (2-МН), аценафтилен (АЦН), аценафтен (АЦ), флуорен (ФЛУ), фенантрен (Ф), антрацен (АН), флуорантен (ФЛ), пирен (П), бенз/а/антрацен (БАН), хризен (ХР), бенз/а/пирен (БаП), бенз/е/пирен (БеП), перилен (Пер), индено(1,2,3-сд)пирен (ИНД), дибенз/а,н/антрацен (ДБАН), бенз(г,н,и)перилен (БПер), бенз/б/флуорантен, бенз/ж/флуорантен и бенз/к/флуорантен были измерены вместе как сумма БФЛ.

Проведение анализа сопровождалось метрологическим контролем точности результатов измерений в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.589-2001 «Государственная система обеспечения единства измерений. Контроль загрязнения окружающей природной среды».



а)



б)

Рис. 1 Схема огора проев в районе АГБЗ летом 2015 г.: а) Дамчикский участок, б) Обжоровский участок

1. Органическое вещество и алифатические углеводороды

Содержание органического углерода в донных отложениях АГБЗ летом 2015 г. было невелико и распределено неравномерно: на участке Дамчикский оно менялось в диапазоне от 0,01 (канал Ракушечный) до 1,5% (бороздина Дубная), на участке Обжоровский – от 0,01 (4 км канала Обжоровский) до 1,09% в осадках култука Прямой Лотосный (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

Содержание Сорг и алифатических углеводородов в донных отложениях на Дамчикском и Обжоровском участках в 2015 г.

Участки АГБЗ	Сорг, %	АУВ, мг/кг	% АУВ от Сорг	Сумма алканов, мкг/кг	% алканов от АУВ
Дамчикский	0,01-1,5	3,3-20,6	2,43-66	59,1-341	1,27-3,10
Обжоровский	0,01-1,09	3,9-34,9	1,71-78	38,1-788	0,93-5,06

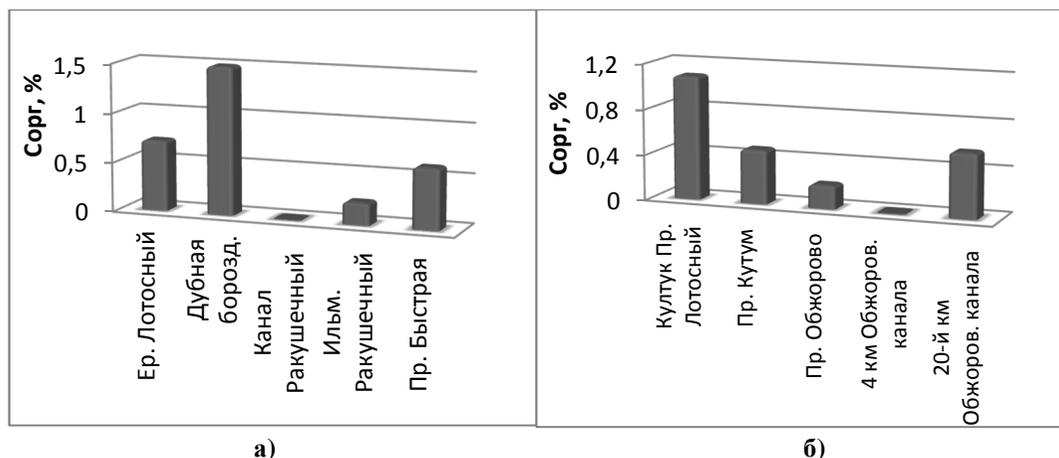


Рис. 2 Содержание органического углерода в донных отложениях АГБЗ летом 2015 г.: а) Дамчикский участок, б) Обжоровский участок

Летом 2015 г. концентрация АУВ в донных отложениях на участке Дамчикский менялась от 3,3 до 20,6 мг/кг, участке Обжоровский – от 3,9 до 34,9 мг/кг (табл. 1, рис. 3). Максимум содержания АУВ на Дамчике наблюдался в осадках протоки Быстрая, минимум – в осадках канала Ракушечный.

Максимальное содержание АУВ на Обжоровском участке отмечалось в осадках култука Прямой Лотосный, а минимальное – в осадках протоки Кутум.

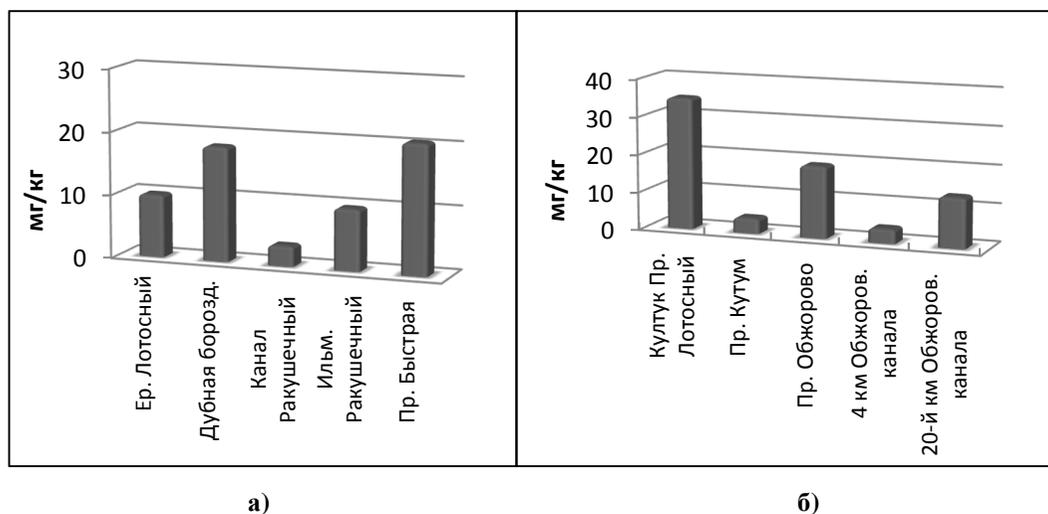


Рис. 3 Содержание АУВ в донных отложениях АГБЗ летом 2015 г.: а) Дамчикский участок, б) Обжоровский участок

Фолькман с коллегами [13] предложили считать концентрации УВ в осадках, превышающие 500 мг/кг, индикатором значительного нефтяного загрязнения, а концентрации около 10 мг/кг и ниже – индикатором отсутствия загрязнения. Уровень концентраций АУВ, обнаруженный в осадках АГБЗ, таким образом, свидетельствует о незначительном загрязнении донных осадков углеводородами. Однако доля АУВ в составе органического вещества в некоторых случаях превышала 50%, а это характерно для высокого уровня загрязнения осадков. Максимальные величины были отмечены в осадках каналов, например, в канале Ракушечный доля АУВ достигала 66% от Сорг, а в осадках Обжоровского канала была еще выше - 78% от Сорг.

Сумма n-алканов в донных отложениях на участке Дамчикский варьировала от 59,1 до 341 мкг/кг, участке Обжоровский – от 38,1 до 788 мкг/кг (табл. 1, рис. 4).

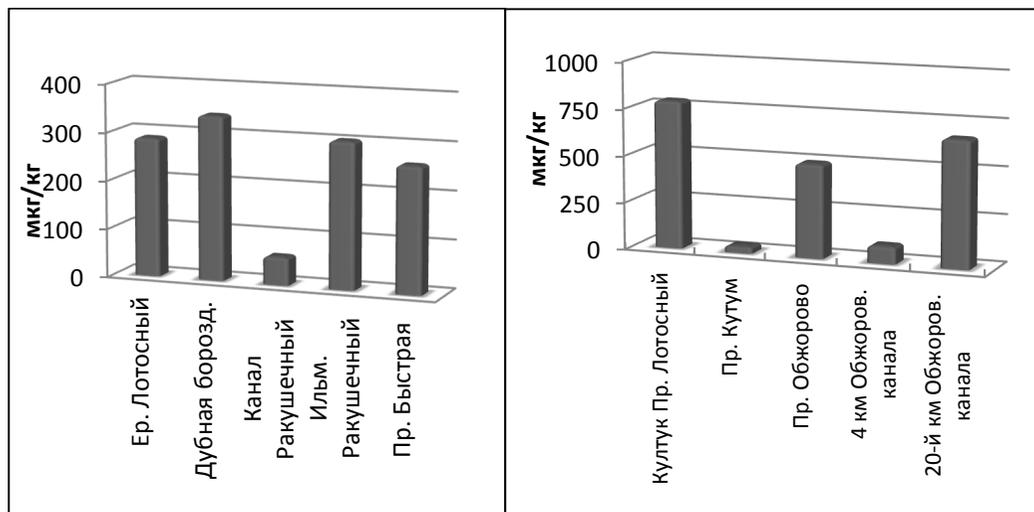


Рис. 4 Содержание суммы н-алканов в донных отложениях АГБЗ летом 2015 г.: а) Дамчикский участок, б) Обжоровский участок

Максимум суммарного содержания алканов на Дамчике наблюдался в осадках бороздины Дубная, минимум – в осадках канала Ракушечный. Максимальное содержание алканов на Обжоровском участке отмечалось в осадках култука Прямой Лотосный, а минимальное – в осадках протоки Кутум.

Доля алканов в составе АУВ на Дамчикском участке изменялась от 1,27% (протока Быстрая) до 3,1% (ильмень Ракушечный), на Обжоровском – от 0,93% (протока Кутум) до 5,06% (20-й км Обжоровского канала).

Состав н-алканов и, по-видимому, условия их формирования сходны в ерике Лотосный, Дубной бороздине и протоке Быстрой. Там присутствуют биогенные н-алканы C_{15} и C_{17} , характерные для фитопланктона и фитобентоса, а также в больших количествах - алканы C_{24} - C_{25} , указывающие на интенсивный бактериальный синтез органического вещества [6].

Также обнаруживается нефтяной н-алкан C_{16} [1], но он имеет подчиненное значение. Наибольшее его количество отмечалось в осадках ильменя Ракушечный.

Вообще, в осадках канала и ильменя Ракушечных общее количество н-алканов было гораздо меньше, чем на других станциях. Наименьшие концентрации и более узкий состав обнаруженных н-алканов отмечались в осадках канала Ракушечный, их сумма была здесь в 5 раз меньше, чем на остальных станциях. Но и в этих случаях биогенные (в том числе бактериального происхождения) н-алканы встречались в довольно существенных количествах, составляя до 20% от их суммы.

На Обжоровском участке сходное распределение н-алканов наблюдались в осадках култука Прямой Лотосный и осадках, отобранных на 20 км Обжоровского канала. Здесь преобладали биогенные алканы C_{25} (до 39,5% от суммы), характеризующие бактериальный синтез ОВ.

В осадках протоки Кутум и на 4 км Обжоровского канала преобладал биогенный н-алкан C_{17} (до 20,1% от суммы), характерный для фитопланктона и фитобентоса. В осадках, отобранных на 4 км этого канала, присутствует «нефтяной» н-алкан C_{16} , но в незначительных количествах. В осадках протоки Кутум он был в концентрациях ниже порога обнаружения аналитического метода.

Особняком стоят осадки, отобранные в протоке Обжорово. Там биогенные н-алканы имеют подчиненное положение, преобладают нечетные н-алканы C_{23} и C_{27} . «Нефтяной» н-алкан C_{16} также обнаружен в минимальном количестве.

На рис. 5 показано распределение «нефтяного» н-алкана C_{16} в осадках исследуемых участков АГБЗ.

Таким образом, несмотря на значительную долю АУВ в составе органического вещества осадков, нет причин говорить об их высоком загрязнении, поскольку большинство углеводородов имеют биогенное происхождение.

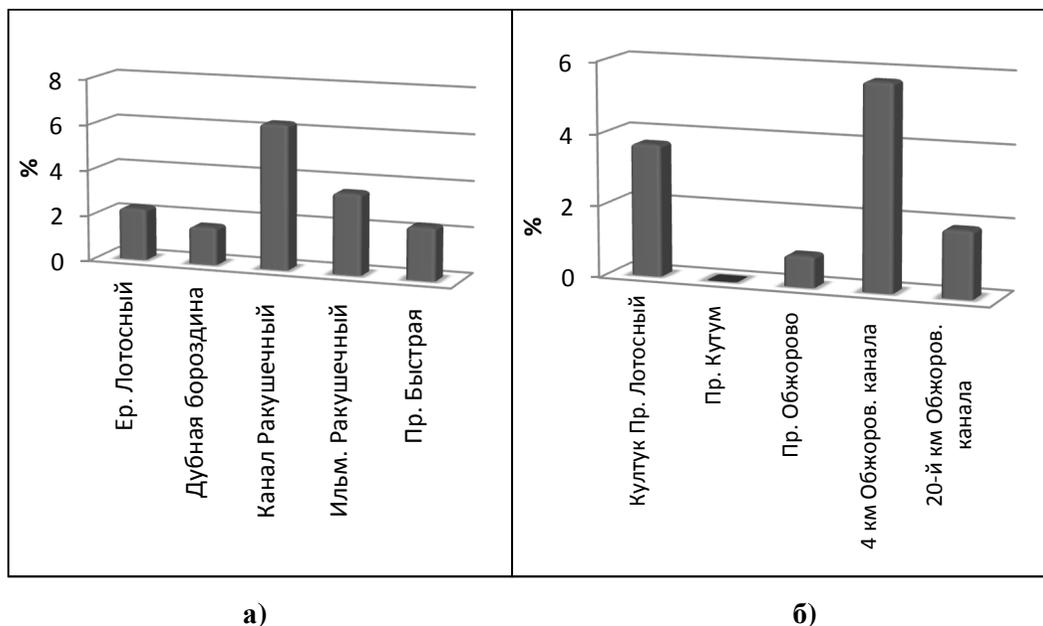


Рис. 5 Распределение *n*-алкана C_{16} (% от суммы алканов) в донных отложениях АГБЗ летом 2015 г.: а) Дамчикский участок, б) Обжоровский участок

2. Полиароматические углеводороды (ПАУ)

Летом 2015 г. суммарное содержание ПАУ в донных отложениях на участке Дамчикский менялось от 4,4 до 46,1 мкг/кг, на участке Обжоровский – от 9,0 до 82,9 мкг/кг, что примерно в два раза ниже, чем на Дамчике. Максимум концентраций отмечался на Дамчике в осадках, отобранных в районе Дубной бороздины, минимум – в осадках канала Ракушечный. Суммарные концентрации ПАУ летом 2014 г. были значительно ниже концентраций, обнаруженных И.А. Немировской с коллегами в осадках дельтовых водотоков Волги (3,4-1057 нг/г) [5] и прилегающей мелководной зоны ее устьевом взморья (3,85-4800 нг/г) [8].

На Обжоровском участке максимальными концентрациями ПАУ отличались осадки култука Прямой Лотосный, минимальными – осадки протоки Кутум (рис. 6).

В осадках обоих участков не был обнаружен нафталин, только его метилпроизводные, что свидетельствует о значительной трансформированности ПАУ. Бенз/а/пирен в осадках Обжоровского участка наблюдался в концентрациях ниже предела обнаружения аналитического метода, а на Дамчике был обнаружен в осадках ерика Лотосный (1,2 мкг/кг), Дубной бороздины (3,8 мкг/кг) и ильменя Ракушечный (0,9 мкг/кг).

По сравнению с уровнем содержания этого полиарена в осадках АГБЗ (около 0,8 мкг/кг) в конце 1990-х гг. [4], можно отметить тенденцию к повышению. Ровинский с соавторами [10] приводит в качестве фоновых концентраций бенз/а/пирена для донных отложений незагрязненных водоемов России 1-5 мкг/кг.

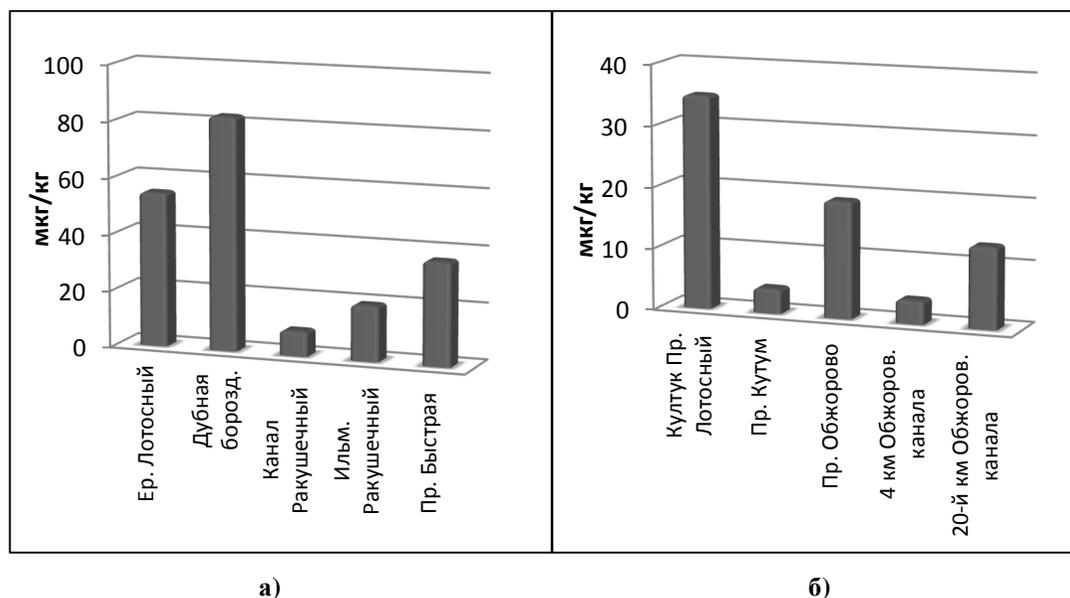


Рис. 6 Суммарное содержание ПАУ в донных отложениях АГБЗ летом 2015 г.: а) Дамчикский участок, б) Обжоровский участок

В промышленных районах его содержание значительно выше, например, Бег с соавторами [11] обнаружили в осадках промышленной зоны Шуайба в Кувейте концентрации этого полиарена, достигавшие 94,75 мкг/кг, а Техрани с коллегами [12], обследовавшие сильнозагрязненные осадки Пер-

сидского залива, отмечали в отдельных случаях 900 мкг/кг и выше. В составе АУВ ПАУ занимали минорное положение, составляя менее 1% (табл. 2).

Таблица 2

Суммарное содержание ПАУ (мкг/кг) в донных отложениях на Дамчикском и Обжоровском участках АГБЗ летом 2015 г.

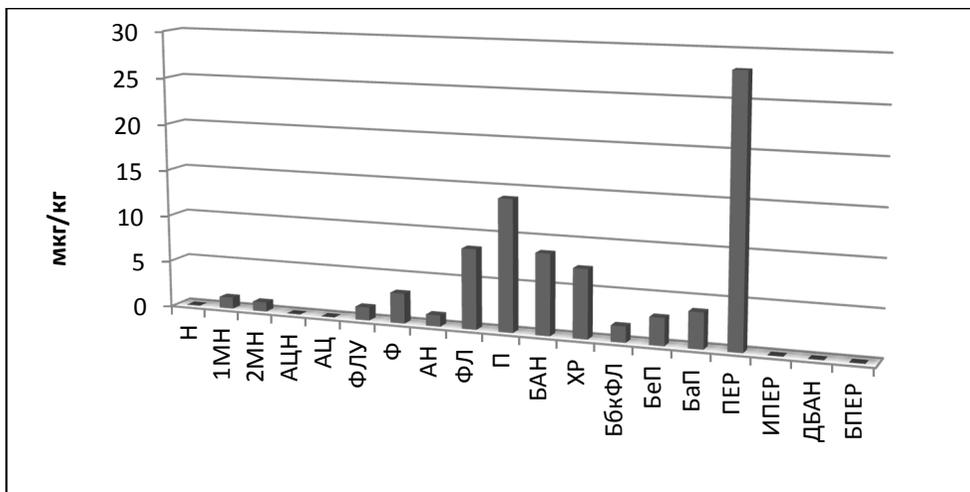
Наименование станции	Нафталин	Бенз/а/пирен	Сумма ПАУ	% ПАУ от АУВ
Дамчикский	0	0-3,8	9,0-82,9	0,2-0,5
Обжоровский	0	0	4,4-46,1	0,1

На Дамчикском участке суммарные концентрации ПАУ были выше, чем на Обжоровском, при этом в осадках присутствовали пирогенные полиарены – продукты неполного сгорания древесно-травяной биомассы и топлива, которые не были обнаружены на Обжоровском (например, бенз/б+к/флуорантен, бенз/е/- и бенз/а/пирены).

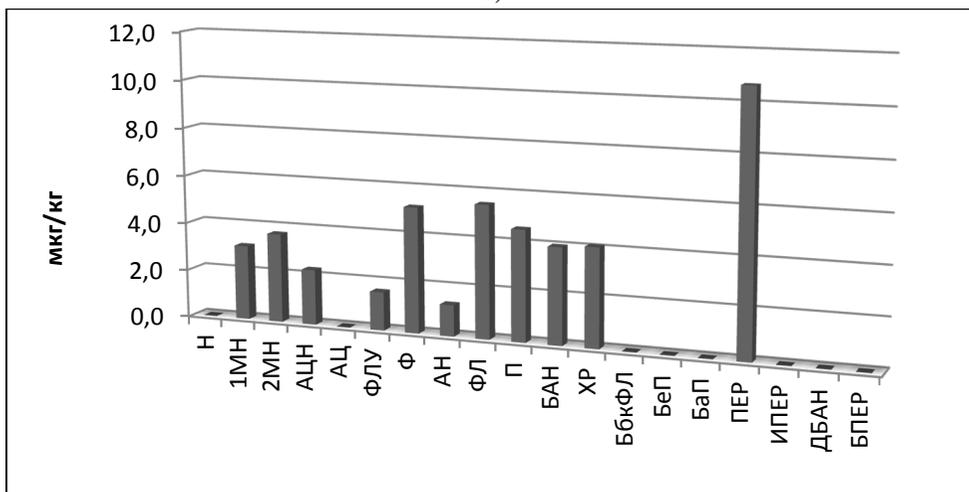
На рис. 7 показан состав ПАУ на станциях с их максимальными суммарными концентрациями.

Как видим, в обоих случаях среди полиаренов доминирует перилен – полиарен преимущественно терригенного растительного происхождения [6, 7].

Для идентификации источников часто используются молекулярные маркеры ПАУ [6, 14]. Расчет молекулярных маркеров ПАУ, приведенный в табл. 3 для обоих участков, показывает, что присутствие в осадках ПАУ нефтяного происхождения незначительно ($\Phi/\text{АН} < 10$). Маркеры пирогенных ПАУ указывают на их присутствие в донных отложениях на обоих участках АГБЗ ($\Phi\text{Л}/(\Phi\text{Л}+\text{П}) < 1$, $(\text{П}+\text{БП})/(\Phi+\text{ХР}) >$ или близко 1). Величина соотношения $\text{БаН}/(\text{БаН}+\text{ХР})$ больше 0,35, что маркирует наличие ПАУ пирогенного происхождения на всех станциях участка (табл. 3).



а)



б)

Рис. 7 Состав ПАУ в осадках АГБЗ с максимальным суммарным содержанием летом 2015 г.: а) Дубная бороздина, Дамчик; б) култук Прямой Лотосный, Обжорово

Доля перилена от суммы ПАУ маркирует обогащенность осадков терригенным растительным материалом на всех станциях отбора проб на Дамчике и 3-х станциях Обжоровского участка (култук Прямой Лотосный, протока Обжорово, 20-й км Обжоровского канала).

Таблица 3

Маркеры ПАУ для донных отложений АГБЗ, лето 2015 г.

	Дамчикский участок	Обжоровский участок
Ф/АН	2,7-5,3	3,3-4,0
БаН/(БаН+ХР)	0,5-0,7	0,5-0,6
%ПЛ от ПАУ	32,2-65,3	0,0-33,5
П/ПЛ	0,1-0,5	0,2-0,4
(П+БП)/(Ф+ХР)	0,9-1,8	0,3-0,9
ФЛ/(ФЛ+П)	0,3-0,5	0,2-0,6

Молекулярные маркеры для идентификации источников пирогенных ПАУ [14] были рассчитаны для тех станций, где были определены концентрации соответствующих полиаренов (табл. 4).

Таблица 4

Маркеры пирогенных ПАУ на участках Обжоровский и Дамчикский, лето 2015 г.

	Обжоровский участок, ст. 20-й км Обжоровского канала	Дамчикский участок		
		Ерик Лотосный	Дубная бороздина	Ильмень Ракушечный
ФЛ/БеП	0,72	1,35	2,93	0,36
П/БеП	1,09	1,28	4,82	0,71
ХР/БеП	0,90	0,57	2,51	0,57
БФЛ/БеП	1,27	0,46	0,59	2,07
БаП/БеП	-	2,33	0,76	1,55

Соотношение ХР/БеП близкое 1, обнаруженное для осадков, отобранных на 20 км Обжоровского канала, маркирует продукты неполного сгорания дизельного топлива. В осадках, отобранных в районе бороздины Дубная на Дамчике, этот маркер близок к 2, что указывает на депонирование в них продуктов сжигания угля.

Соотношение БФЛ/БеП близкое 1 характерно для осадков, отобранных в районе 20 км Обжоровского канала. Такое значение этого маркера характерно для продуктов неполного сгорания бензина. В осадках ильменя Ракушечный на Дамчике этот показатель близок 2 и маркирует присутствие продуктов сгорания дизельного топлива.

Величины маркера БаП/БеП близкие 1 получены для осадков, отобранных в районе бороздины Дубная и ильменя Ракушечный на Дамчикском участке, что характерно для продуктов сгорания угля и бензина.

Заключение

Проведенные исследования содержания и состава УВ в донных отложениях двух фоновых участков АГБЗ показали, что современный уровень загрязнения донных осадков нефтяными углеводородами незначителен.

В составе алифатических углеводородов осадков преобладают УВ терригенного и биогенного происхождения, указывающие на интенсивные процессы разложения аллохтонного органического вещества и синтез автохтонного, проходящие в исследованных водных объектах.

Расчет молекулярных маркеров ПАУ указывает на незначительное присутствие в осадках трансформированных нефтяных ПАУ и доминирование полиаренов терригенного и пирогенного происхождения.

Расчеты маркеров пирогенных ПАУ показали, что в донных отложениях большинства станций участков присутствуют пирогенные ПАУ – продукты сгорания угля, часто используемого в качестве топлива для обогрева помещений, и различных нефтепродуктов (бензина как автомобильного и лодочного топлива и дизельного топлива, используемого для судов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. - М: БИНОМ, 2014. - 270 с.
2. Казаков А.А., Колмыков Е.В., Журавель В.И. Комплексный план предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов как новый этап обеспечения экологической безопасности Северного Каспия // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2014. - №12. - С. 6-12.
3. Кленкин А.А., Павленко Л.Ф., Скрипник Г.В., Ларин А.А. Биогенные углеводороды и их влияние на оценку нефтяного загрязнения Азовского моря // Водные ресурсы. - 2010. - Т. 37. - № 5 - С. 605-611.

4. Лычагин М.Ю., Касимов Н.С., Кучеряева В.В., Лычагина Н.Ю., Олиференко Н.Л. Особенности геохимической структуры донных осадков дельты Волги // ГИС Астраханского заповедника. Геохимия ландшафтов дельты Волги (Геоэкология Прикаспия. Вып. 3). – М.: Географический факультет МГУ, 1999. – С. 111-123.
5. Немировская И.А, Бреховских В.Ф, Казмирук В.Д. Алифатические и полиароматические углеводороды в донных осадках устьевого взморья р. Волги // Водные ресурсы. - 2006. - Т.33. - №3. - С. 300-310.
6. Немировская И.А. Нефть в океане. Загрязнение и природные потоки. - М.: Научный мир, 2013. - 432 с.
7. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег-лед-вода-взвесь-донные осадки). - М.: Научный мир, 2004. – 328 с.
8. Немировская И.А., Бреховских В.Ф. Генезис углеводородов во взвеси и донных осадках северного шельфа Каспийского моря// Океанология. - 2008. - Т. 48. - №1. - С. 48-58.
9. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем. - Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2008. - 222 с.
10. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. - 224 с.
11. Beg M.U., Saeed T., Al-Muzaini S., Beg K.R., Al-Bahloul M. Distribution of petroleum hydrocarbon in sediment from coastal area receiving industrial effluents in Kuwait // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2003, no. 54, pp. 47-55.
12. Tehrani G.M., Hashim R., Sulaimani A.H., Sany B.T., Salleh A., Jazani R.Kh., Savari A., Barandousi R. Distribution of total petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in Musa Bay sediments (Northwest of the Persian Gulf) // *Environmental Protection Engineering*. 2013, no.39(1), pp.116-128.
13. Volkman J. K., Holdsworth D.G., Neill G.P., Bavor Jr., H.J. Identification of natural anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic environments // *Science of the Total Environment*. 1992, no.112, pp. 203–219.
14. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // *Organic Geochemistry*. 2002, no. 33, pp. 489-515.

СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА УСТЬЕВОМ ВЗМОРЬЕ РЕКИ ВОЛГИ

Е.В. Островская^{1,2}, М.В. Войнова¹, Т.С. Пронина¹

¹ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева 14, e-mail: eostrovskaya@mail.ru, kaspnmiz@mail.ru

²Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, офис 5

Ключевые слова: Каспийское море; устьевое взморье реки Волги; геохимический барьер; загрязнение морской среды; алифатические углеводороды; полиароматические углеводороды; качество вод; донные отложения.

Keywords: Caspian Sea, the Volga River mouth area, geochemical barrier zone, marine contamination, aliphatic hydrocarbons, polyaromatic hydrocarbons, water quality, bottom sediments.

Abstract

This paper presents results of the study on the hydrocarbons composition and levels of contamination in the bottom sediments at the frontier between the Volga River mouth and the Caspian Sea. The data was obtained at two cross-sections in 2014 through the “Monitoring Programme of Transboundary Water Bodies of the Caspian Sea in 2012-2014” by Roshydromet. 13 samples were taken then and treated to determine concentrations of total organic carbon (TOC), aliphatic and polyaromatic hydrocarbons (PAHs). TOC was determined by dry combustion method, hydrocarbons – by gas chromatography with mass-spectrometry. Results of the data analysis showed a decreasing trend in hydrocarbons concentrations in few times along the cross-sections from the river mouth to the open sea with higher salinity. The main findings depict the fact that hydrocarbons coming with the river flow into the deep sea areas are exposed to substantial transformation at the geochemical barrier which significantly changes their composition and levels in the sediments.

Введение

На устьевом взморье р. Волги располагается обширная зона смешения пресных речных и соленых морских вод. По величине солёности и ее пространственному распределению выделяются три основные зоны: пресных или почти пресных вод (0,3-2 ‰); смешанных речных и морских вод (2-12 ‰); морских вод (>12 ‰) [4, 5]. Заметное смешение речных и морских вод начинается в районе 3-метровой изобаты (50-55 км от морского края дельты) в межень и в 10-15 км мористее ее в период половодья [4].

В связи с неравномерным распределением речных вод по акватории Северного Каспия наиболее интенсивное смешение происходит в его западной части. Наибольшие градиенты солености здесь могут достигать 1 ‰ на километр [5]. Восточная часть Северного Каспия характеризуется более однородным полем солености, т.к. большая часть речных и морских вод поступает сюда уже в трансформированном виде.

Соленость нарастает от 0 до 13 ‰ с удалением от дельты Волги. Внутри области моря с соленостью 2-10 ‰ градиенты солености обычно существенно выше, чем за ее пределами. Эта область получила название гидрофронта, его ширина составляет 20-60 км, иногда больше. До и после гидрофронта соленость меняется сравнительно медленно. Таким образом, основная часть зоны смешения волжских и морских вод, выделяемая в диапазоне 2-8 ‰, располагается между изобатами 3-8 м, вся зона – между изобатами 3-14 м [13].

Зоны смешения вод играют роль геохимических барьеров, при транзите через которые происходит резкое изменение соотношения форм и миграционной способности загрязняющих веществ – 70-95% речных взвесей в результате флокуляции органических и неорганических частиц осаждаются в этих районах [2, 3, 6].

В исследованиях [1, 7, 8, 10, 11] на данных 1998-2010 гг. детально анализируется поведение углеводородов (УВ) на геохимическом барьере Северного Каспия, приводятся величины их концентраций в воде, взвеси и донных осадках, подчеркивается, что после прохождения барьерной зоны состав УВ в значительной степени трансформируется. Трансформация нефтяных углеводородов в зоне устьевого взморья, в основном, определяется процессами биохимического разложения органических ЗВ и потерей при осаждении части растворенных загрязняющих веществ за счет их сорбции на вновь образованной взвеси [10].

Наше исследование дополняет эти материалы современными данными. Основной целью нашей работы является изучение состава и уровня концентраций УВ в донных отложениях в зоне смешения. В ее основу легли экспедиционные материалы, полученные в 2014 г. в рамках «Программы мониторинга трансграничных водных объектов Каспийского моря на 2012-2014 гг.» на двух вековых разрезах, расположенных в Северном Каспии.

Материалы и методика исследований

Содержание и состав углеводородов в донных отложениях на устьевом взморье реки Волги анализировались по данным станций пунктов наблюдений за состоянием и загрязнением трансграничных водных объектов Каспийского моря на разрезах 3а (10 станций) и 3 (3 станции, 3.1-3.3) (рис.1).

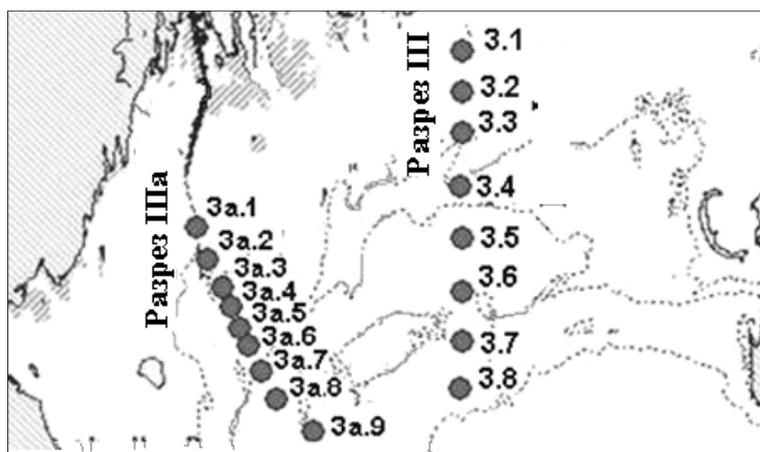


Рис. 1 Схема расположения пунктов наблюдений за состоянием и загрязнением трансграничных водных объектов Каспийского моря на разрезах 3 и 3а в 2014 г.

Отбор проб донных отложений для определения содержания углеводородов, проводился в соответствии с РД 52.10.556-95 «Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси». Пробы отбирались бентосным дночерпателем, захватывающим 5-10 см поверхностный слой осадка.

Аккредитованной лабораторией НПО «Тайфун» в пробах были определены концентрации органического углерода (Сорг) методом сухого анализа, алифатических углеводородов (АУВ) и, полиароматических углеводородов (ПАУ) методом хромато-масс-спектрометрии. Концентрации АУВ определяли по методике М-МВИ-109-03 на хромато-масс-спектрометре Saturn 3D и концентрации ПАУ – по методике М-МВИ-202-07 на хромато-масс-спектрометре Varian Saturn 2100T.

Были определены концентрации следующих ПАУ: нафталин (Н), 1-метилнафталин, 2-метилнафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен (Ф), антрацен (АН), флуорантен (ФЛ), пирен (П), бенз/а/антрацен (БАН), хризен (ХР), бенз/а/пирен (БаП), бенз/е/пирен, перилен, индено(1,2,3-сd)пирен, дибенз/а,h/антрацен, бенз(g,h,i)перилен, бенз/b/флуорантен, бенз/j/флуорантен и бенз/k/флуорантен были измерены вместе.

Проведение анализа сопровождалось метрологическим контролем точности результатов измерений в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.589-2001 «Государственная система обеспечения единства измерений. Контроль загрязнения окружающей природной среды».

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 2 приводится пространственное распределение солености в районе разрезов 3 и 3а, характеризующее зону геохимического барьера осенью 2014 г., которая в соответствии с [13] ограничивается изогалиной 8‰. На рис. 2 видно, что пространственное положение гидрофронта осенью 2014 г. было таково, что разрез 3а располагался в зоне с соленостью от 3,66 до 8,62‰, в то время как на разрезе 3 соленость превышала 6‰.

Собственно говоря, большинство станций разреза 3 находились уже на южной периферии геохимического барьера, выпадая таким образом из зоны лавинной седиментации. Поэтому в данной работе рассматриваются только

три первых станции этого разреза, где еще отмечались повышенные градиенты солености (от 6,18 до 8,32‰).

Следует также отметить, что зона геохимического барьера существенно продвинулась к северу по сравнению с вышеупомянутыми источниками [4, 5, 13], и, в основном, располагалась осенью 2014 г. в мелководной части устьевого взморья (с глубинами до 5-6 м).

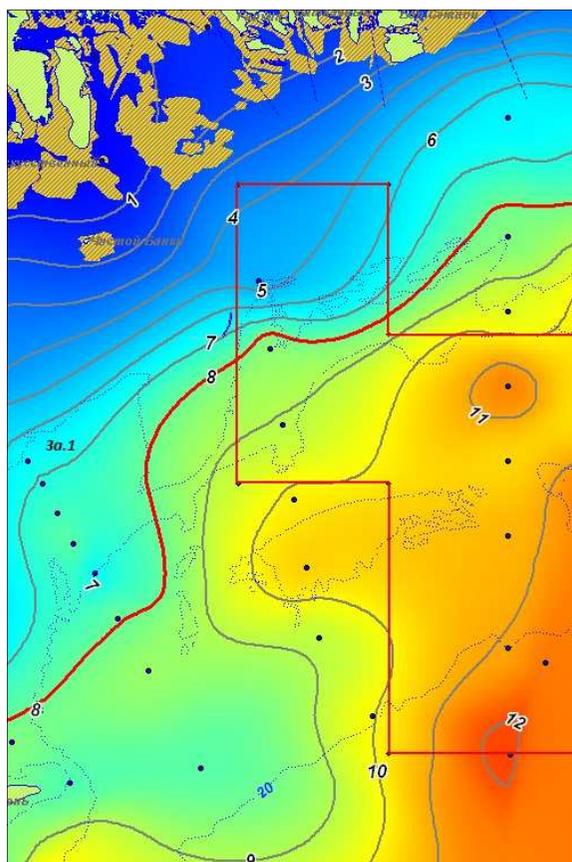


Рис. 2 Пространственное распределение солености (‰) в районе разрезов 3 и 3а, осень 2014 г. (жирной красной линией обозначена изогалина 8‰ – граница геохимического барьера)

Алифатические углеводороды

В донных отложениях на разрезе 3а осенью 2014 г. содержание алифатических углеводородов (АУВ) изменялось от 0,4 до 50,6 мг/кг, при этом

максимум отмечался на ст. За.1, отличавшейся наименьшей соленостью (рис. 3а).

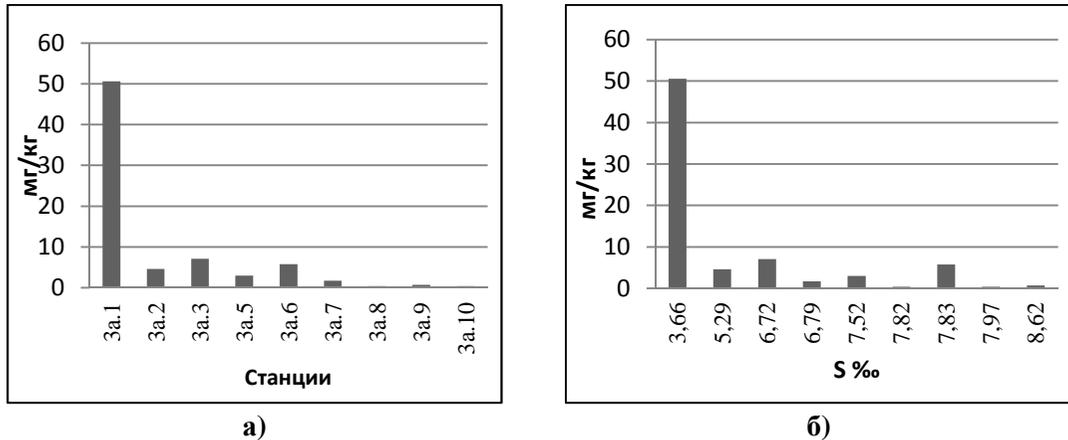


Рис. 3 Распределение АУВ (мг/кг) в донных отложениях вдоль разреза За, 2014 г.: а) по данным измерения на станциях; б) ранжированное по солености воды

Рис. 3б показывает, как изменялись концентрации углеводов в донных осадках с увеличением солености на геохимическом барьере устьевого взморья Волги.

Анализ рис. 3 показывает, что соленость 3,5-4% (зона «иловой пробки» в терминологии акад. А.П. Лисицына [6, 9]) представляет собой непреодолимую преграду для большинства углеводов, поступающих на акваторию Северного Каспия с волжским стоком. Концентрации АУВ в осадках на мористых станциях примерно на порядок ниже, чем на ст. За.1, расположенной в распресненной зоне.

С другой стороны, осадок со ст. За.1 представляет собой более тонкодисперсный песчано-алевритовый материал, в то время как осадки с мористых станций более грубодисперсные, с включением большого количества битой ракушки. Однако сам по себе факт наличия в осадке со ст. За.1 тонкодисперсного материала свидетельствует о том, что эта станция располагается в зоне «иловой пробки», где как раз и происходит выведение взвешенного вещества в осадок [6]. Как показали исследования по поведению углеводов-

дов на границах раздела вода-донные отложения, проведенные в ГОИНе в конце 1970-х годов в лабораторных и натуральных условиях, около 80% УВ оседает со взвесью в отмелой зоне устьевого взморья Волги [5].

Концентрации АУВ вдоль разреза 3 менялись в гораздо меньшем диапазоне: от 1,6 до 5 мг/кг. Это примерно на порядок ниже, чем величина, наблюдавшаяся на ст. 3а.1, но вполне сравнимо с величинами, характерными для других станций разреза 3а. Таким образом, это подтверждает, что разрез 3 полностью находился уже за пределами геохимического барьера.

Содержание н-алканов в осадках на разрезе 3а варьировало от 26,2 до 1036,7 мкг/кг, причем максимум также был характерен для ст. 3а.1 (рис. 4).

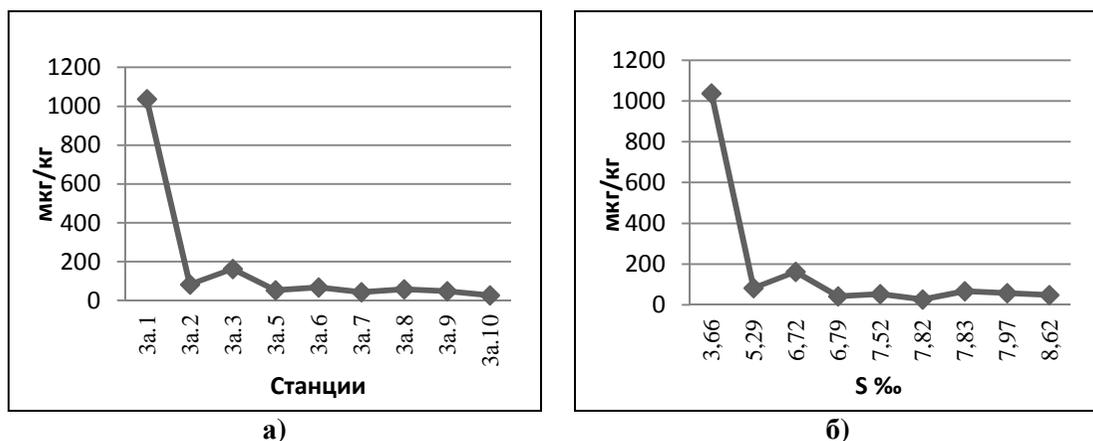


Рис. 4 Распределение суммы н-алканов (мкг/кг) в донных отложениях вдоль разреза 3а, 2014 г.: а) по данным измерения на станциях; б) ранжированное по солености воды

В процентном отношении, напротив, на этой станции н-алканы составляли всего около 2% от АУВ, максимум (14,45%) отмечался на морской станции 3а.8 с соленостью около 8 ‰ (рис. 5). На рис. 5б показано, как доля н-алканов в составе АУВ, в целом, возрастает по мере роста солености по направлению к мористым районам акватории Северного Каспия.

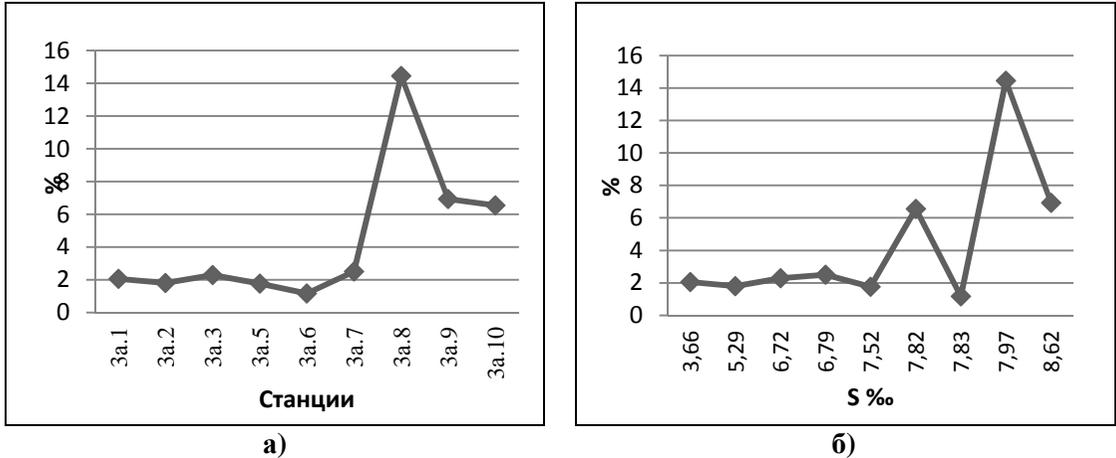


Рис. 5 Распределение суммы н-алканов (% от АУВ) в донных отложениях вдоль разреза 3а, 2014 г.: а) по данным измерения на станциях; б) ранжированное по солености воды

Для разреза 3 эта закономерность не соблюдалась (рис. 6). Концентрации н-алканов в осадках варьировали в пределах 33,2-72,7 мкг/кг, максимум отмечался на станции 3.2 с соленостью 6,78‰, в составе АУВ доля н-алканов уменьшалась от 2,08 до 0,82% по мере роста солености.

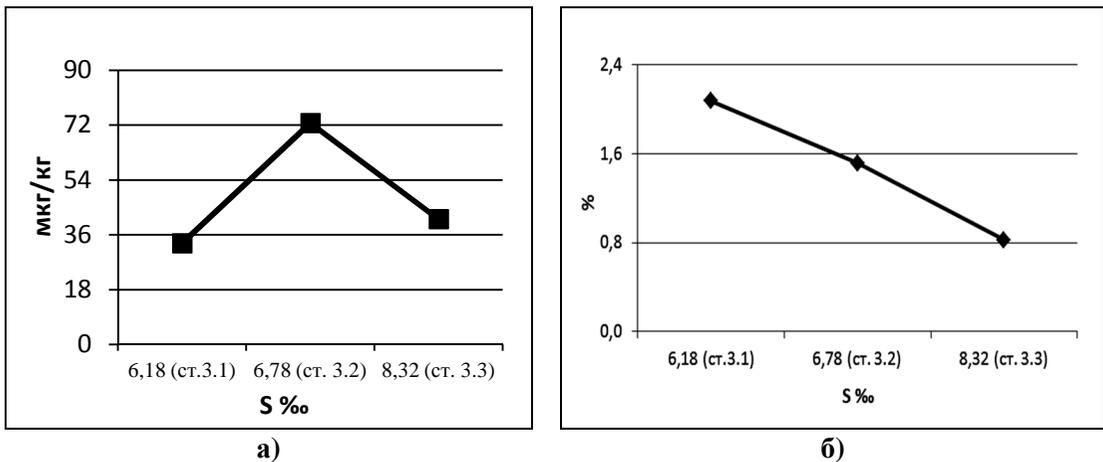


Рис. 6 Распределение суммы н-алканов в донных отложениях вдоль разреза 3 осенью 2014 г., ранжированное по солености воды: а) мкг/кг; б) % от АУВ

В таблице 1 приводятся величины концентраций АУВ и н-алканов в донных осадках на разрезах 3а и 3.

Таблица 1

Содержание алифатических углеводородов и алканов в донных отложениях на разрезах За и З, 2014 г.

Разрез	Соленость	АУВ, мг/кг	Сумма н-алканов, мг/кг	% н-алканов от АУВ
За	< 4‰	50,6	1036,7	2,05
	> 4‰	0,4-7,1	26,2-162,6	1,16-14,45
З	> 4‰	1,6-5,0	33,2-72,7	0,82-2,08

На ст. За.1, где отмечалось их максимальное содержание, наблюдалось высокое содержание пристана (св. 350 мг/кг), а также определялись повышенные величины концентраций низкомолекулярных н-алканов C₁₅ и C₁₇, характерные для продуктов жизнедеятельности фитопланктона и фитобентоса.

Для бактерий типичен ряд алканов с максимумом в области C₂₀-C₂₅ и с CPI около 1, так как бактерии могут синтезировать как низкомолекулярные нормальные алканы C₁₂-C₂₂, так и высокомолекулярные C₂₅-C₃₅ [14]. Кроме того, в результате бактериальной трансформации ОВ, в низкомолекулярной части спектра алканов, образуются пики четных н-алканов C₁₆-C₁₈. Все эти алканы присутствовали в составе УВ донных осадков на большинстве станций разреза За. На разрезе З в осадках доминировали высокомолекулярные н-алканы, характерные для бактериального синтеза и разложения ОВ (C₁₆-C₁₈ и C₂₅-C₃₀).

Соотношение пристана к фитану, которое при значениях выше 3 маркирует поступление терригенного органического вещества и его окисление в кислородных условиях, приведено в табл. 2 для тех станций, где хотя бы один из них был обнаружен.

Как видим, соотношение меняется в диапазоне от 0,77 (ст. За.7) до 7,26 (ст. За.1). Известно, что большинство сырых нефтей имеют величины этого показателя в диапазоне 0,8-3 [14, 15]. Данные таблицы 2 показывают, что УВ в осадках в зоне геохимического барьера имеют различное происхождение. На мористых станциях разреза За определяются, в основном, УВ нефтяного

происхождения, что объясняется близостью оживленной судовой трассы ВКК-Махачкала.

Таблица 2

Соотношение фитана к пристану на разрезах За и З, 2014 г.

Станция	Пристан	Фитан	Пр/Фит (происхождение)
За.1	362,9	50	7,26 (терригенное)
За.2	22,2	3,4	6,53 (терригенное)
За.3	44,3	19,9	2,23 (нефтяное)
За.5	12,1	5,2	2,33 (нефтяное)
За.6	11,5	0,3	-
За.7	4	5,2	0,77
За.8	4,7	2,8	1,68 (нефтяное)
За.9	7	6,5	1,08 (нефтяное)
За.10	7,4	2,2	3,06
3.3	4,2	0,9	4,67 (терригенное)

Полиароматические углеводороды (ПАУ)

Суммарное содержание ПАУ в донных отложениях на разрезе За менялось от следовых количеств до 74,9 мкг/кг, с максимумом на ст. За.1. При этом большинство полиаренов, особенно высокомолекулярных, были практически на всех станциях ниже пределов обнаружения аналитического метода. Суммарное содержание ПАУ в осадках, отобранных вдоль разреза За, в целом отражало уже вышеупомянутую закономерность к снижению по мере продвижения от мелководной распресненной зоны к мористым районам с более высокой соленостью вод (рис. 7).

На ст. За.1 большую долю суммарной концентрации составлял нафталин. Это свидетельствует о поступлении свежих нефтепродуктов, что довольно характерно для этого района, являющегося продолжением основного фарватера ВКК [10]. На этой станции, единственной из всех, были обнаружены бенз/а/пирен (4,8 мкг/кг) и бенз/е/пирен (6,6 мкг/кг).

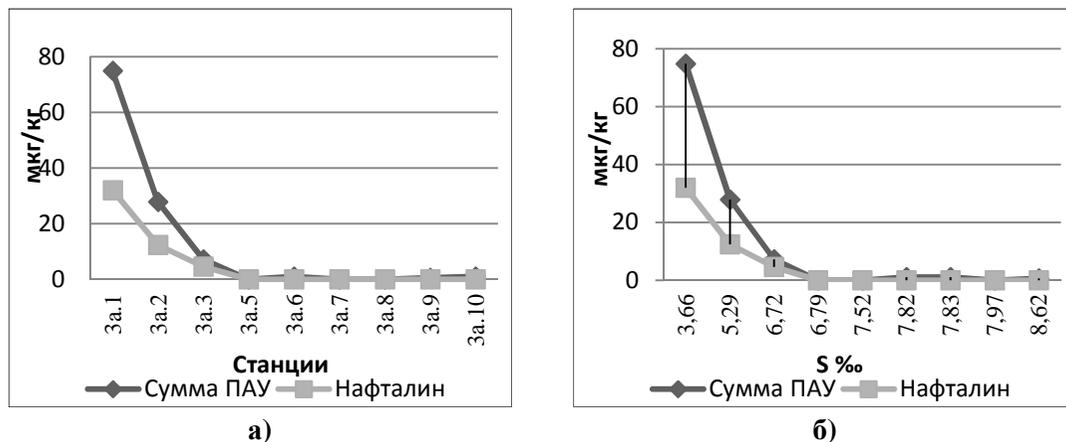


Рис. 7 Распределение суммы ПАУ и нафталина в донных отложениях вдоль разреза 3а, 2014 г.: а) по данным измерения на станциях; б) ранжированное по солености воды

В составе АУВ донных осадков этого района ПАУ являются минорным компонентом, составляя от 0 до 0,95% (табл. 3). Наибольшая доля ПАУ от АУВ отмечалась на ст. 3.1 с соленостью чуть более 6‰.

Таблица 3
Содержание ПАУ в донных отложениях на разрезах 3а и 3, 2014 г.

Разрез	Соленость	Нафталин, мкг/кг	Сумма ПАУ, мкг/кг	% суммы ПАУ от АУВ
разрез 3а	< 4‰	32	74,9	0,15
	4 – 6‰	12,4	27,9	0,61
	> 6‰	0-4,6	0-7,2	0-0,28
разрез 3	> 6‰	9,4-24,5	15,2-39,7	0,3-1,34

Для идентификации источников часто используются молекулярные маркеры ПАУ [9, 11, 16]. Например, величина соотношения концентраций фенантрена и антрацена (Ф/АН) больше 10 указывает на присутствие петрогенных ПАУ и интенсивный диагенез. Соотношение концентраций нафталина и фенантрена (Н/Ф) больше 1 маркирует поступление свежих, невыветренных нефтепродуктов.

Расчет маркеров ПАУ для тех станций, где они были выше аналитического нуля, приведен в табл. 4. Величины маркеров $(\text{П}+\text{БП})/(\text{Ф}+\text{ХР})$ и $\text{ФЛ}/(\text{ФЛ}+\text{П})$, в основном, меньше и около 1 указывают на незначительную долю пирогенных ПАУ в осадках, за исключением станции 3.2.

Таблица 4

Маркеры ПАУ для донных отложений на разрезах 3а и 3, 2014 г.

Станции	$(\text{П}+\text{БП})/(\text{Ф}+\text{ХР})$	$\text{ФЛ}/(\text{ФЛ}+\text{П})$	$\text{Ф}/\text{АН}$	$\text{Н}/\text{Ф}$
3а.1	0,95	0,59	5,92	4,16
3а.2	0,38	0,60	6,67	3,10
3а.3	1	0,63	-	7,67
3а.6	1	0,63	-	0
3а.10	-	0,73	-	-
3.1	0,50	0,52	3,33	8,05
3.2	2,20	0,63	-	-
3.3	0,38	0,65	3,20	5,88

Величины маркера $\text{Ф}/\text{АН}$ ниже 10, что свидетельствует о низкой интенсивности диагенеза в осадках этого района. Значения маркера $\text{Н}/\text{Ф}$, превышающие 1 на трех первых станциях разреза 3а, расположенных в распресненной зоне, и на станциях разреза 3, указывают на присутствие в осадках неветренных нефтепродуктов [8].

Заключение

Проведенные исследования содержания углеводородов в донных осадках на устьевом взморье реки Волги, в целом, показали те же закономерности, что были обнаружены в [7, 8, 10, 11].

Содержание углеводородов в донных осадках снижается в несколько раз по мере продвижения от мелководной распресненной части взморья к мористым районам с более высокой соленостью вод. Поскольку состав углеводородов после прохождения геохимического барьера существенно меняется, следовательно, они поступают на акваторию глубоководной зоны Северного Каспия уже в значительно трансформированном виде.

Маркеры в осадках в зоне смешения свидетельствуют о присутствии источников нефтяного загрязнения в мористых районах с более высокой соленостью вод, что, вероятно, в определенной степени объясняется наличием судходных трасс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев В.Е. Геохимия органического вещества в системе река-море. – М.: Наука, 1993. – 203 с.
2. Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. - М: ИП Матушкина И.И., 2012. – 452 с.
3. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. - М: Наука, 1983. – 152 с.
4. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия / Под редакцией С.Р. Байдина, А.Н. Косарева. - М.: Наука, 1986. - 261 с.
5. Каспийское море. Структура и динамика вод. - М.: Наука, 1990. - 163 с.
6. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. - 1994. –Т. 34. - №5. - С. 735-747.
7. Немировская И.А., Бреховских В.Ф. Генезис углеводородов во взвеси и донных осадках северного шельфа Каспийского моря // Океанология. - 2008. - Т. 48. - №1. - С. 48-58.
8. Немировская И.А, Бреховских В.Ф, Казмирук В.Д. Алифатические и полиароматические углеводороды в донных осадках устьевое взморья р. Волги // Водные ресурсы. - 2006. - Т. 33. - №3. - С.300-310.
9. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег-лед-вода-взвесь-донные осадки). - М.: Научный мир, 2004. – 328 с.
10. Островская Е.В., Монахов С.К., Кашин Д.В. и др. Загрязняющие вещества в водах Северного Каспия / Проблемы качества вод Нижней Волги и Северного Каспия (отв. ред. Бреховских В.Ф., Островская Е.В.). - М.: Типография Россельхозакадемии, 2013. - С. 200-238.
11. Островская Е.В., Немировская И.А., Бреховских В.Е. и др. Углеводороды воды и взвеси в районе геохимического барьера дельта р. Волга - Северный Каспий // Юг России: экология, развитие. - 2009. - №4. - С. 150-159.
12. Островская Е.В., Немировская И.А., Бреховских В.Ф. и др. Влияние геохимического барьера река-море на нефтяное загрязнение донных отложений в районах освоения нефтегазовых месторождений Северного Каспия // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2009. - № 9.- С. 34-42.
13. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря

- (под ред. В.Ф. Полонского, В.Н. Михайлова и С.В. Кирьянова). - М.: ГЕОС, 1998. – 280 с.
14. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. Cambridge University Press, 2005, 1155 p.
 15. Tolosa I., de Mora S., Sheikholeslami M. R., Villeneuve J. P. et al. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 2004, no. 48, pp. 44-60.
 16. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., et al. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry*. 2002, no. 33, pp. 489–515.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОД СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

В.О. Татарников, С.К. Монахов, Г.А. Монахова

ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14, e-mail: kaspnmiz@mail.ru

Ключевые слова: Северный Каспий; лицензионный участок «Северо-Каспийская площадь»; водные массы; загрязнение морской среды; тяжелые металлы; нефтепродукты; загрязняющие вещества.

Keywords: Northern Caspian; “North Caspian license site”; water masses; marine pollution; heavy metals; hydrocarbons; pollutants.

Abstract

According to the data of observations held in 2001-2012 in the “North Caspian license site” adjacent to the Volga Delta, different water types were assessed by their pollution with various hydrocarbons and heavy metals (Zn, Ni, Cu, Pb, Cd). The pollution was evaluated by two parameters: concentration of pollutants (PS) and their activity expressed in abnormal pollutant behavior in water, different from the behavior of the conservative component. With account of functional characteristics of the Caspian Sea ecosystem, the combination of increased general pollution level coupled with the increased activity of pollutants which were quickly decomposing in the environment was considered most unfavorable for the ichthyofauna. These conditions were observed in water types I and IV in autumn, when the environmental and physiological studies in the North Caspian revealed higher toxicosis level in fish.

Введение

Воды Каспийского моря подразделяются на отдельные водные массы, одной из которых является северо-каспийская водная масса, в свою очередь состоящая из различных типов вод: пресных и слабосоленых (0-2‰), со-

лоноватых (2-7‰), слабосоленых (7-9‰) и умеренно соленых (9-11‰). Кроме того в Северном Каспии могут находиться соленые морские воды с содержанием солей более 11 промилле, относящиеся к поверхностной среднекаспийской водной массе. Основным критерием подразделения вод Каспийского моря на водные массы и типы является соленость [3, 5].

С другой стороны соленость воды является важнейшим абиотическим параметром экосистемы Каспийского моря, определяющим характер распределения обитающих в нем организмов. По отношению к солености они подразделяются на пресноводные, солоноватоводные, морские и эвригалинные. Отношение к солености в основном определяется происхождением морской флоры и фауны. Наряду с эндемичными (автохтонными) организмами в Каспийском море распространены виды арктического, средиземноморского и пресноводного происхождения [3, 4].

Виды, имеющие различное происхождение, различаются по чувствительности к загрязнению морской среды [6, 9]. Загрязняющие вещества (ЗВ), попадающие в море из различных источников, распределяются в нем неравномерно [2]. Поэтому при оценке воздействия химического загрязнения на морские экосистемы необходимо учитывать гидрологическую и биологическую структуру вод. В связи с этим основной целью наших исследований стало определение особенностей загрязнения различных типов вод Северного Каспия. Эта задача является актуальной по двум причинам. Во-первых, основным источником загрязнения Каспийского моря является р. Волга, впадающая в Северный Каспий, во-вторых, северная часть моря отличается наибольшей биологической продуктивностью и рыбохозяйственной ценностью.

Уровень химического загрязнения является лишь одним из факторов, определяющих воздействие ЗВ на морскую биоту. Не меньшее значение имеет форма нахождения ЗВ в воде, их активность по отношению к биоте [7]. Эту активность можно рассматривать как проявление более общей биогеохи-

мической активности, выражающейся в аномальном поведении ЗВ в воде, отличном от поведения консервативной примеси, концентрация которой определяется исключительно процессами смешения вод [11].

Биогеохимическая активность в свою очередь является показателем межфазного обмена ЗВ, при этом в качестве основных фаз (компарментов) морской среды рассматриваются вода, взвесь, живое вещество и донные отложения [8]. При оценке воздействия загрязнения на водные биоресурсы необходимо учитывать как функциональные особенности экосистемы, так и направление межфазного обмена. В условиях Северного Каспия, где миграция ЗВ из воды в рыбу в основном происходит по детритной пищевой цепи, обеднение вод ЗВ за счет их перехода из воды во взвесь, скорее следует оценивать как негативный, чем позитивный процесс [8].

Материалы и методы исследования

Для сравнительного анализа загрязнения различных типов вод Северного Каспия необходимо выбрать участок акватории, где бы все они были представлены без исключения. Этому требованию лучше всего соответствовал лицензионный участок «Северо-Каспийская площадь», находящийся в недропользовании у ООО «Каспийская нефтяная компания». Данный участок, площадью около 9 тыс. кв. км, находится на взморье р. Волги, простирается с запада на восток вдоль морского края дельты практически на всем его протяжении (рис. 1).

Сравнительная оценка загрязнения различных типов вод проводилась по данным гидрохимических наблюдений, проводившихся на этом участке в 2001-2012 гг. (ежегодно проводились съемки по 23 станции), в отношении 6 загрязняющих веществ (нефтепродуктов, цинка, никеля, меди, свинца и кадмия).

В данной работе к I типу вод отнесены пресные и слабосоленоватые воды (0-2‰), к II типу – солоноватые воды (2-7‰), к III типу – слабосоленые

воды (7-9‰), к IV типу – умеренно соленые и соленые морские воды (>9‰). Расчет биогеохимической активности ЗВ (далее активности) проводили по методике, изложенной в [8]. Следует иметь в виду, что средняя активность имеет ту же размерность, что и концентрация ЗВ в воде, а стандартная активность (отношение средней активности к стандартному отклонению) представляет собой безразмерную величину.

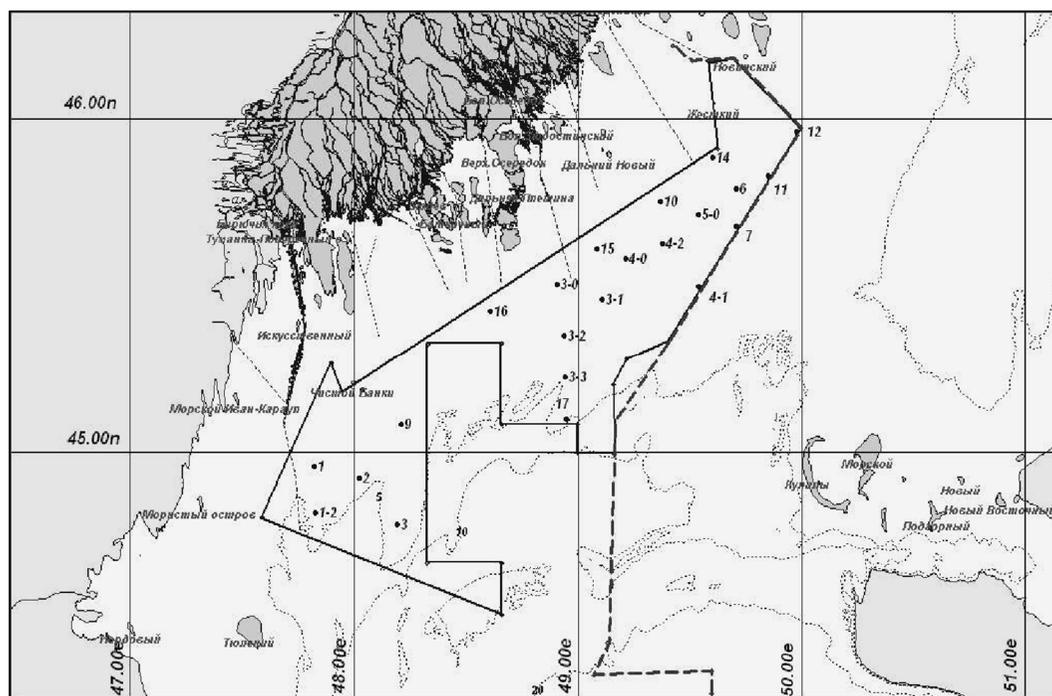


Рис.1 Схема-карта лицензионного участка ООО «КНК» с расположением на нём станций

Результаты исследований и их обсуждение

В период 2001-2012 гг. концентрация нефтепродуктов (НП) в морской воде на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» изменялась в пределах от 0 до 427 мкг/л (табл. 1). Средняя концентрация НП составила 38 мкг/л в поверхностном и 31 мкг/л в придонном слое воды.

Средняя концентрация НП в поверхностном и придонном слоях воды была ниже ПДК нефтепродуктов для морских рыбохозяйственных водоемов (50 мкг/л). Судя по значению квартиля 0,75, превышение ПДК наблюдалось не чаще, чем в 25% случаев.

Таблица 1
Сравнительная характеристика загрязненности нефтепродуктами поверхностного и придонного слоев воды (мкг/л) на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг.

Описательные статистики	Поверхностный слой	Придонный слой
С _м	38,0	31,1
Мах	427,0	371,0
Мин	0,0	0,0
Ме	26,0	20,0
К _{0,25}	9,0	5,0
К _{0,75}	49,0	42,0

Примечание: С_м – средняя концентрация; Мах – максимум; Мин – минимум; Ме – медиана; К_{0,25} – квартиль 0,25; К_{0,75} – квартиль 0,75

Из данных, приведенных в табл. 2 и на рис. 2, следует, что из всех типов вод наиболее загрязнен нефтепродуктами I тип (пресные и слабосоленоватые воды).

Таблица 2
Показатели динамики нефтепродуктов в различных типах вод Северного Каспия по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг. (S – соленость воды, ‰)

Диапазон солености, ‰	Полный ряд		Весна-Лето		Осень	
	Пов	Дно	Пов	Дно	Пов	Дно
1	2	3	4	5	6	7
Средняя концентрация, С _м , мкг/л						
Весь	37,82	31,14	47,89	38,85	27,61	23,40
S < 2	53,54	52,01	56,75	55,59	37,12	31,60
2 < S < 7	38,83	32,02	47,39	36,03	31,63	27,99
7 < S < 9	26,24	21,40	36,06	24,82	19,05	19,28
S > 9	24,23	17,08	32,11	24,48	21,44	14,65

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Нормальная активность, $A_{пj}^*$, мкг/л						
Весь	1,07	0,48	1,60	0,68	0,54	0,28
$S < 2$	-0,09	2,62	0,89	2,17	-7,95	5,84
$2 < S < 7$	0,81	0,37	0,33	0,24	1,21	0,50
$7 < S < 9$	1,68	0,43	4,66	0,22	-0,33	0,54
$S > 9$	3,82	-1,88	15,60	-1,05	1,52	-2,10
Стандартизированная активность, A_{sj}^{**}						
Весь	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
$S < 2$	0,00	0,04	0,02	0,03	-0,26	0,17
$2 < S < 7$	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01
$7 < S < 9$	0,04	0,02	0,08	0,01	-0,01	0,02
$S > 9$	0,17	-0,13	0,55	-0,08	0,08	-0,15

* $A_{пj} = Af_j/C_m$, где Af_j – разница между расчетной и фактической концентрацией вещества в точке; ** $A_{sj} = Af_j/s$, где s – стандартное отклонение концентрации вещества

По мере осолонения вод Северного Каспия концентрация нефтепродуктов снижается, достигая наименьших значений в морских (весна-лето) или умеренно соленых водах (осень). Активность загрязняющих веществ (ЗВ), как показатель межфазного обмена, характеризуется определенной величиной (модулем) и направлением. Результатом межфазного обмена может быть обогащение (+) или обеднение (–) вод нефтепродуктами.

На диаграмме, приведенной на рис. 2, хорошо видно, что активность нефтепродуктов неравномерно распределена между поверхностным и придонным слоями воды. Теоретически в пределах одной водной массы активность загрязняющего вещества может быть распределена следующим образом:

- «+/-» в обоих слоях (поверхностном и придонном) происходит обогащение вод ЗВ, далее этот профиль (вид распределения) активности обозначается литером «R»;
- «-/-» в обоих слоях (поверхностном и придонном) происходит обеднение вод ЗВ, далее этот профиль активности обозначается литером «P»;

• «+/-» в поверхностном слое происходит обогащение, а в придонном слое – обеднение вод ЗВ, далее этот профиль активности обозначается литером «RP»;

• «-/+» в поверхностном слое происходит обеднение, а в придонном слое – обогащение вод ЗВ, далее этот профиль активности обозначается литером «PR».

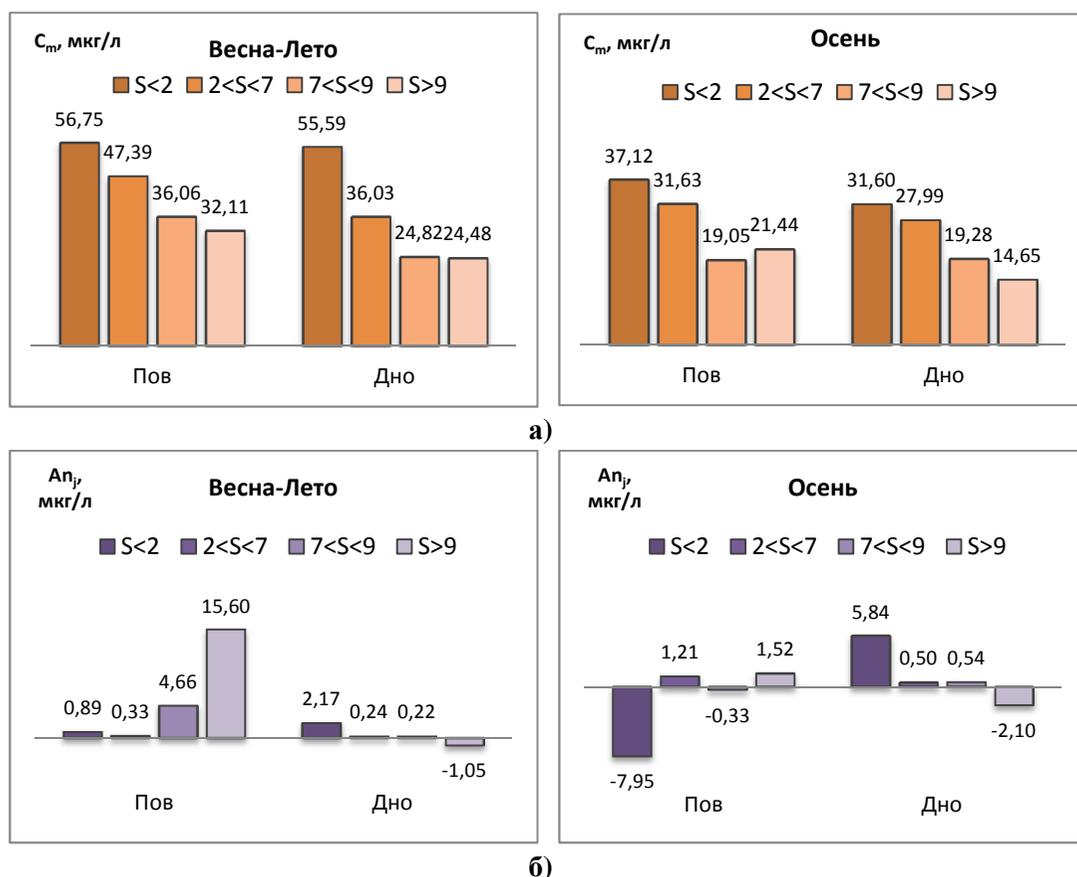


Рис. 2 Средняя концентрация (C_m , мкг/л) (а) и активность (A_{p_j} , мкг/л) (б) нефтепродуктов в различных типах вод Северного Каспия по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг. (S – соленость воды, ‰)

В табл. 3. приведены данные о модуле и профиле активности нефтепродуктов в различных типах вод Северного Каспия.

Таблица 3

Модуль и профиль активности нефтепродуктов в различных типах вод Северного Каспия по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг. (S – соленость воды, ‰; Пов – поверхностный слой; Дно – придонный слой)

Показатель активности	S < 2		2 < S < 7		7 < S < 9		S > 9	
	Пов	Дно	Пов	Дно	Пов	Дно	Пов	Дно
Весна-лето								
Модуль активности	0,89	2,17	0,33	0,24	4,66	0,22	15,60	1,05
Профиль активности	R		R		R		RP	
Осень								
Модуль активности	7,95	5,84	1,21	0,50	0,33	0,54	1,52	2,10
Профиль активности	PR		R		PR		RP	

Обобщая приведенные в табл. 2 и 3, а также на рис. 2 данные об активности нефтепродуктов в водах Северного Каспия, отметим ее следующие особенности:

- активность нефтепродуктов в I и IV типах вод выше, чем во II и III, от весны к осени активность возрастает в I и снижается во IV типе вод;
- активность нефтепродуктов в поверхностном слое обычно выше, чем в придонном слое;
- во всех типах вод, за исключением IV, активность весной распределена по R-профилю, а осенью – по R или PR-профилю; в морских водах в оба сезона зафиксирован RP-профиль;
- активность нефтепродуктов, как правило, выражается в обогащении ими вод Северного Каспия, обеднение зафиксировано весной и осенью в придонном слое морских вод, и осенью в поверхностном слое I и III типов вод.

Если, как об этом говорилось выше, считать опасным для гидробионтов сочетание повышенной концентрации загрязнителя с его переходом из воды в другие компоненты морской среды, в т.ч. в «живое вещество» (то есть обед-

нение вод ЗВ), то такая опасная ситуация по отношению к загрязнению Северного Каспия нефтепродуктами наблюдалась только в поверхностном слое I типа вод в осенний период.

Сравним и обобщим данные о загрязненности типов вод Северного Каспия различными загрязняющими веществами. Для этого соотнесем среднюю концентрацию загрязняющего вещества в данном типе вод с его средней концентрацией по всей акватории. Далее это отношение мы будем называть степенью загрязненности (СЗ), различая при этом частную СЗ, характеризующую загрязненность вод каким-либо одним загрязнителем, и среднюю СЗ, характеризующую загрязненность вод всеми загрязнителями. В табл. 4 приведены результаты расчета степени загрязненности типов вод Северного Каспия в 2001-2012 гг.

Таблица 4

Степень загрязненности типов вод Северного Каспия различными загрязняющими веществами по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг. (S – соленность воды, ‰; Пов – поверхностный слой; Дно – придонный слой)

Показатель загрязнения вод	S < 2		2 < S < 7		7 < S < 9		S > 9	
	Пов	Дно	Пов	Дно	Пов	Дно	Пов	Дно
Весна-Лето								
Нефтепродукты	1,19	1,43	0,99	0,93	0,75	0,64	0,67	0,63
Цинк	1,04	1,08	0,96	0,93	1,01	1,01	1,08	1,25
Никель	1,01	1,01	0,99	0,97	0,99	1,05	1,06	1,09
Медь	1,11	1,10	0,91	0,92	0,97	1,09	1,17	1,02
Свинец	0,95	0,94	0,99	0,94	1,10	1,14	1,05	1,33
Кадмий	0,85	0,79	1,08	1,00	1,23	1,57	1,15	0,93
Средняя СЗ	1,03	1,06	0,99	0,95	1,01	1,08	1,03	1,04
Осень								
Нефтепродукты	1,34	1,35	1,15	1,20	0,69	0,82	0,78	0,63
Цинк	1,12	1,24	0,99	0,96	0,97	1,03	1,02	1,02
Никель	1,25	1,40	1,03	1,00	0,91	0,97	0,90	0,96
Медь	1,13	1,29	1,05	1,03	0,89	0,91	0,91	0,96
Свинец	0,88	1,02	1,03	1,02	1,05	0,96	0,91	0,97
Кадмий	0,94	1,06	1,00	1,06	1,06	0,88	0,88	0,88
Средняя СЗ	1,11	1,23	1,04	1,05	0,93	0,93	0,90	0,90

Из приведенных данных следует, что типы вод Северного Каспия могут существенно отличаться друг от друга по степени загрязненности, при этом соотношение типов вод по степени загрязненности может быть самым различным. Несмотря на это можно выделить несколько основных, чаще всего встречающихся видов данного соотношения, характеристика и примеры которых приведены в табл. 5 и рис. 3.

Таблица 5

Характеристика основных видов соотношения типов вод Северного Каспия по степени загрязненности (по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг.)

Наименование	Характеристика	Примеры
«Спад»	Постепенное снижение степени загрязненности от I к IV типу вод	Нефтепродукты в оба сезона года
«Подъем»	Постепенное повышение степени загрязненности от I к IV типу вод	Свинец в весенне-летний сезон
«Ложбина»	Снижение степени загрязненности II и/или III типа вод по сравнению с I и IV типами вод	Цинк, никель, медь в оба сезона года
«Гребень»	Повышение степени загрязненности II и/или III типа вод по сравнению с I и IV типами вод	Свинец в осенний и кадмий в оба сезона года

Следует отметить, что выделенные виды соотношения типов вод по степени загрязненности при желании можно разделить на подвиды, например по скорости спада или подъема или по отношению степени загрязненности пресных и морских вод (второе особенно важно для видов соотношения «гребень» и «ложбина»). Например, в весенне-летний сезон степень загрязненности морских вод цинком, никелем и медью была выше, чем пресных, а осенью картина была прямо противоположной.

Соотношение типов вод по средней степени загрязненности характеризуются аналогичным образом. Как следует из диаграмм, приведенных на рис. 4, соотношение типов вод по средней степени загрязненности в весенне-летний сезон относится к виду «ложбина», а в осенний сезон – к виду «спад».

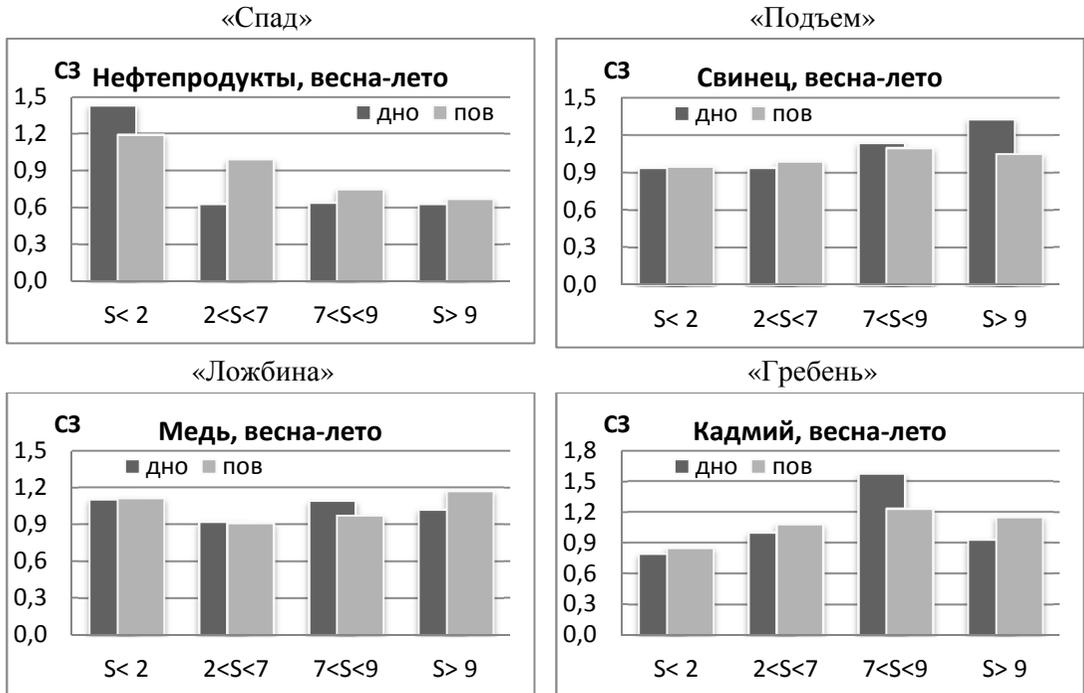


Рис. 3 Примеры основных видов соотношения типов вод Северного Каспия по степени загрязненности (по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг.)

На рис. 4 также показано, что из всех типов вод Северного Каспия самую высокую среднюю степень загрязненности в весенне-летний сезон имеют придонные слабосоленые и пресные-слабосоленоватые воды, а в осенний сезон – только пресные-слабосоленоватые воды.

Анализ данных, приведенных в табл. 4, кроме того показывает, что повышенная степень загрязненности нефтепродуктами в оба сезона года свойственна пресным-слабосоленоватым водам, цинком, никелем и медью – умеренно соленым водам осенью и пресным-слабосоленоватым в весенне-летний сезон, свинцом и кадмием – соленоватым и слабосоленым водам в оба сезона года.

Обобщим данные об активности загрязняющих веществ в различных типах вод Северного Каспия, для чего сначала рассчитаем их суммарную стандартную активность в каждом типе вод. Отметим, что данная операция

применима к стандартной активности, не имеющей размерности, и не применима к средней активности, имеющей размерность, которой различные загрязняющие вещества могут отличаться друг от друга.

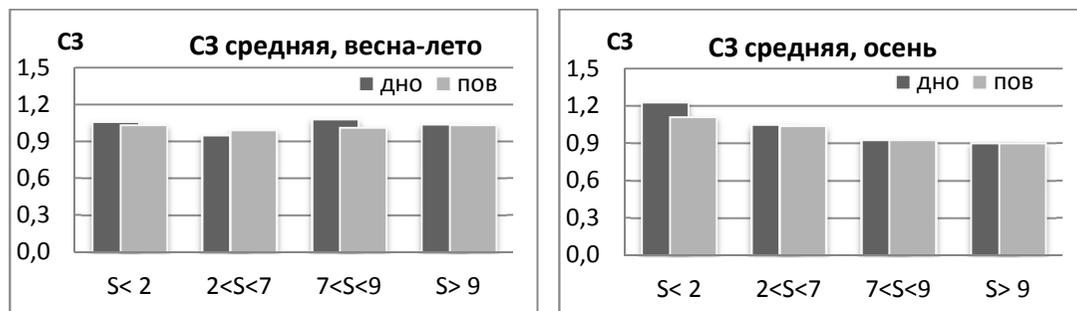


Рис. 4 Виды соотношения типов вод Северного Каспия по средней степени загрязненности в различные сезоны года (по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг.)

Суммирование стандартной активности мы проводили двумя способами. Сначала вычислялась сумма модулей стандартной активности различных ЗВ, характеризующая уровень суммарной активности. Затем рассчитывалась накопленная сумма стандартной активности ЗВ, характеризующая направление суммарной активности. Результаты вычислений приведены в табл. 6 и на рис. 5.

В весенне-летний сезон, как следует из этих результатов, наиболее высокая суммарная активность загрязняющих веществ наблюдалась в IV типе вод. В остальных типах вод суммарная активность была в разы меньше, чем в IV типе, но следует отметить, что в III типе она была несколько выше, чем в I и II типах. Осенью картина существенно поменялась. Наиболее высокая суммарная активность зафиксирована в I типе вод, при этом в IV типе, она была, как минимум в два раза ниже, и еще ниже – в двух остальных типах вод. В оба сезона года самой низкой суммарная активность была во II типе вод.

Судя по значениям накопленной суммы активности, весной-летом во всех типах вод процессы обеднения их загрязняющими веществами были вы-

ражены более отчетливо, чем процессы обогащения (последние были заметны только в поверхностном слое солоноватых вод).

Таблица 6
Суммарная стандартная активность ЗВ в различных типах вод Северного Каспия по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг. (S – соленость воды, ‰; Пов – поверхностный слой; Дно – придонный слой)

Показатель загрязнения вод	S < 2		2 < S < 7		7 < S < 9		S > 9	
	Пов	Дно	Пов	Дно	Пов	Дно	Пов	Дно
Весна-Лето								
Нефтепродукты	0,02	0,03	0,01	0,00	0,08	0,01	0,55	-0,09
Цинк	-0,04	0,05	0,01	0,02	0,05	0,06	0,15	-0,08
Никель	-0,03	-0,07	0,07	-0,03	-0,11	-0,04	-0,43	-0,15
Медь	-0,04	0,01	0,09	0,01	-0,04	-0,07	-0,30	-0,02
Свинец	0,01	0,06	-0,01	-0,03	0,05	-0,08	0,06	0,18
Кадмий	-0,02	-0,03	-0,02	-0,04	0,01	0,04	-0,16	0,07
Сумма модулей	0,16	0,25	0,21	0,13	0,34	0,30	1,65	0,59
Накопленная сумма	-0,10	0,05	0,15	-0,07	0,04	-0,08	-0,13	-0,09
Осень								
Нефтепродукты	-0,26	0,17	0,03	0,01	-0,01	0,02	0,08	-0,15
Цинк	-0,44	-0,10	-0,04	-0,01	0,10	0,07	-0,04	-0,06
Никель	0,21	0,09	0,04	0,02	-0,08	-0,04	-0,08	-0,05
Медь	-0,18	-0,36	-0,01	0,00	-0,05	0,08	0,02	0,01
Свинец	-0,18	0,10	-0,03	-0,01	0,02	0,03	-0,12	-0,04
Кадмий	0,18	0,02	-0,02	-0,07	0,00	-0,01	-0,15	0,07
Сумма модулей	1,45	0,84	0,17	0,12	0,26	0,23	0,49	0,38
Накопленная сумма	-0,67	-0,08	-0,03	-0,06	-0,02	0,13	-0,29	-0,22

Осенью процессы обеднения также были широко распространены, охватывали практически все типы вод, за исключением придонных слабосоленых. При этом осенью процессы обеднения северо-каспийских вод загрязняющими веществами были выражены более ярко, чем в весенне-летний сезон, особенно в пресных-слабосоленых (I тип) и умеренно соленых водах (IV тип).

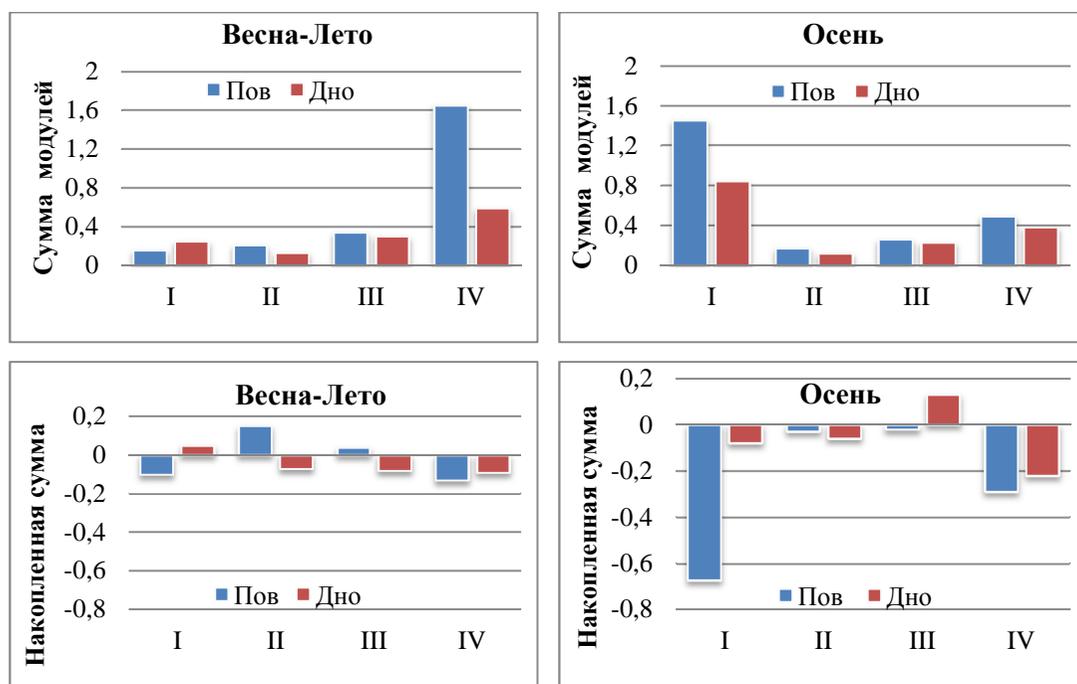


Рис. 5 Сумма модулей и накопленная сумма стандартной активности ЗВ в различных типах вод Северного Каспия по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг. (Пов – поверхностный слой; Дно – придонный слой)

Процессы обеднения вод ЗВ, обусловленные их переходом из раствора во взвесь, представляют большую опасность для морской биоты, чем обогащение вод ЗВ (особенно, если последнее не приводит к повышению концентрации ЗВ до уровня ПДК).

Это обусловлено тем, что взвесь играет исключительно важную роль в питании и зообентоса [10], служащего основной пищей для рыбного населения Северного Каспия [5]. Поэтому в условиях загрязнения морских вод, когда загрязняющие вещества адсорбируются на взвешенных частицах, взвесь становится основным звеном трофической цепи, посредством которого ЗВ попадают в рыбу.

Очевидно, что еще большую опасность для морской биоты должно представлять собой сочетание повышенной степени загрязненности с высо-

кой активностью загрязняющих веществ, выраженной в обеднении ими морских вод.

Поэтому количественной характеристикой совместного действия этих двух факторов может служить произведение их численных значений, которое далее именуется биологической агрессивностью загрязняющих веществ (представляя собой произведение безразмерных параметров, она также является безразмерной величиной).

Значения биологической агрессивности ЗВ в различных типах вод Северного Каспия, рассчитанные на основе данных, приведенных в табл. 4 и 6, приведены на рис. 6.

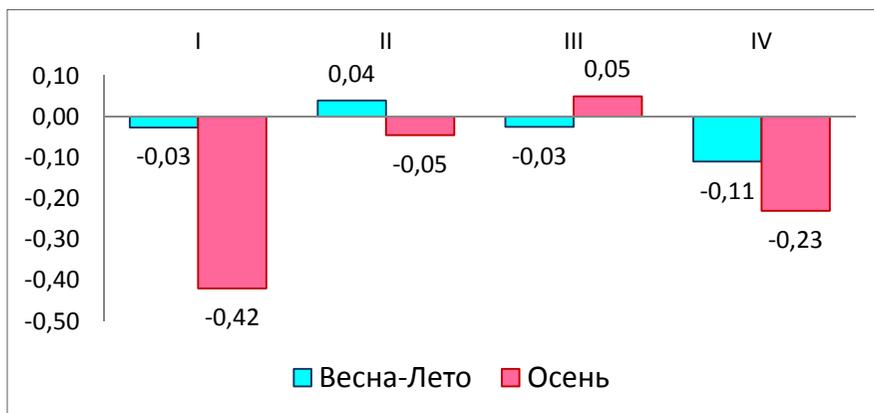


Рис. 6 Биологическая агрессивность загрязняющих веществ в различных типах вод Северного Каспия по данным наблюдений на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2012 гг.

Из данных, приведенных на рис. 6, следует, что биологическая агрессивность загрязняющих веществ наиболее высока в I типе вод (только осенью) и в IV типе вод (в оба сезона года). Бросается в глаза, что осенью биологическая агрессивность загрязняющих веществ в данных типах вод существенно выше, чем в весенне-летний сезон. Тем самым получено подтверждение и объяснение результатов эколого-физиологических исследований,

указывающих на повышенную заболеваемость токсикозом рыб Северного Каспия именно в осенний сезон [1].

Заключение

Обобщая результаты исследований, приведенные в данной статье, можно сделать следующее заключение. В период 2001-2012 гг. из всех типов Северного Каспия самый высокий уровень загрязненности нефтепродуктами был характерен для I типа пресно-слабосоленых вод ($S < 2\text{‰}$). Повышенная активность нефтепродуктов помимо этого наблюдалась также в IV типе вод ($S > 9\text{‰}$). Неблагоприятное для гидробионтов сочетание повышенной загрязненности с повышенной активностью нефтепродуктов, выраженной в обеднении ими морских вод, было характерно для I типа вод ($S < 2\text{‰}$) в осенний сезон.

В период 2001-2012 гг. из всех типов Северного Каспия самый высокий уровень загрязненности шестью ЗВ (нефтепродуктами, цинком, никелем, медью, свинцом и кадмием) был отмечен в весенне-летний сезон для I ($S < 2\text{‰}$) и III ($7 < S < 9\text{‰}$), а в осенний сезон – только для I типа вод. Повышенная активность ЗВ наблюдалась в I ($S < 2\text{‰}$) и IV ($S > 9\text{‰}$) типах вод. Неблагоприятное для гидробионтов сочетание повышенной загрязненности с повышенной активностью, выраженной в обеднении вод ЗВ (биологическая агрессивность) было характерно для I ($S < 2\text{‰}$) и IV ($S > 9\text{‰}$) типов вод в осенний сезон.

Результаты эколого-геохимических исследований о возрастании биологической агрессивности загрязняющих веществ в Северном Каспии в осенний сезон совпадают с данными эколого-физиологических исследований о повышении уровня заболеваемости рыб токсикозом в это время года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гераскин П.П., Металлов Г.Ф., Журавлева Г.Ф. и др. Физиолого-биохимическая и морфофункциональная характеристика состояния осетровых, сельдевых и карповых рыб / Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2005 г. – Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2006. – С. 350-362.
2. Герлах С.А. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. – Л.: Из-во «Гидрометеиздат», 1985. – 263 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI. Каспийское море. Вып.2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Под ред. Ф.С.Терзиева, М.П. Максимовой, Е.А. Яблонской. – С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1996. – 324 с.
4. Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 739 с.
5. Каспийское море: фауна и биологическая продуктивность. – М.: Наука, 1985. – 276 с.
6. Лукьяненко В.И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 240 с.
7. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология : Теоретические и прикладные аспекты. – М.: Наука, 2009. – 400 с.
8. Монахов С.К., Есина О.И., Монахова Г.А., Татарников В.О. Геоэкологические показатели загрязнения морской среды: Методы расчета и применения. – Астрахань, Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2014. – 82 с.
9. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. – М.: Из-во «Колос», 2007. – 144 с.
10. Яблонская Е.А. Водная взвесь как пищевой материал для организмов бентоса Каспийского моря // Труды ВНИРО. – 1969. – Т. 65 – С. 85-147.
11. Radovanova I.G., Popova N.V., Kurapov A.A. Biogeochemical Activity of Pollutants in Estuarine Waters / The Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment. Medcoast 09, Vol. 2, pp. 657-664.

СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. Ю. КОРЧАГИНА В 2015 ГОДУ

В.Б. Ушивцев¹, А.В. Кузин², О.И. Бакун², Г.А. Монахова³,
Р.И. Умербаева^{1,4}, Р.А. Рахимбирдиев⁵

¹Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

²ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, 1

³ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14

⁴ООО «НИИ экологии южных морей», г. Астрахань, пл. Свободы, 45

⁵ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань, ул. Татищева, 16

Ключевые слова: Каспийское море; производственный экологический мониторинг; месторождение им. Ю. Корчагина; оценка воздействия; загрязнение морской среды; донные отложения, планктон; бентос.

Keywords: Caspian Sea; industrial environmental monitoring; Yu. Korchagin oilfield; impact assessment; pollution of the marine environment; sediments, plankton; benthos.

Abstract

This paper presents main results of the corporative environmental monitoring conducted for “LUKOIL-Nizhnevolzhskneft” at Yu. Korchagin oilfield in 2015. Four research cruises were carried out during spring, summer, autumn and late autumn. Meteorological, hydrologic and hydrochemical observations were made, as well as samples of water, bottom sediments, plankton and benthos were taken at 88 stations. The data obtained were analyzed with the statistical methods. The main focus of the analysis was on detection and assessment of the technogenic impacts on the marine environment and biota. For this, the data were compared against historic and temporary regional and local background values.

Введение

Нефтегазоконденсатное месторождение им. Ю. Корчагина, расположенное в северной части российского сектора недропользования Каспийского моря, было открыто в 2000 году ОАО НК «ЛУКОЙЛ», политика которого ориентирована на сохранение окружающей среды [1, 5]. При разработке проектных решений по освоению месторождения компанией принимались во внимание экологические особенности акватории Северного Каспия, в первую очередь ее уязвимость в отношении нефтяного загрязнения [11]. Ввод место-

рождения в эксплуатацию состоялся в 2010 году, с этого же года в его районе осуществляется производственный экологический мониторинг (ПЭМ), нацеленный на выявление и оценку изменений состояния окружающей среды, связанных с воздействием нефтегазодобывающей деятельности [2].

В 2015 году ПЭМ в районе месторождения им. Ю. Корчагина проводился в соответствии с утвержденными программами [8, 9], разработанными с учетом российского и зарубежного опыта [7, 12-14].

Целью настоящей работы является обобщение результатов производственного экологического мониторинга, выполненного в 2015 году в районе месторождения им. Ю. Корчагина по заказу ООО «ЛУКОЙЛ-Нижеволжскнефть».

Материалы и методы исследований

В 2015 году производственный экологический мониторинг производился на 4-х полигонах – одном фоновом (ФК) и трех импактных, находящихся в районе ледостойкой стационарной платформы (ЛСП), морского перегрузочного комплекса (МПК) и трубопровода (ТП). Схема их расположения представлена на рис. 1.

Морские экспедиционные работы в районе месторождения им. Ю. Корчагина состояли из 4 этапов и охватывали весенне-летний и осенний сезоны. В ходе них на каждой станции проводились метеорологические, гидрологические, гидрохимические наблюдения, отбор проб воды, донных отложений, планктона и бентоса.

В выполнении работ участвовали Каспийский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, ФГБУ «КаспМНИЦ», Дагестанский и Астраханский филиалы СК УГМС, ФГБУ «СевКасптехмордирекция» и ГЦАС «Астраханский». Все химические анализы выполнялись в аккредитованных лабораториях.

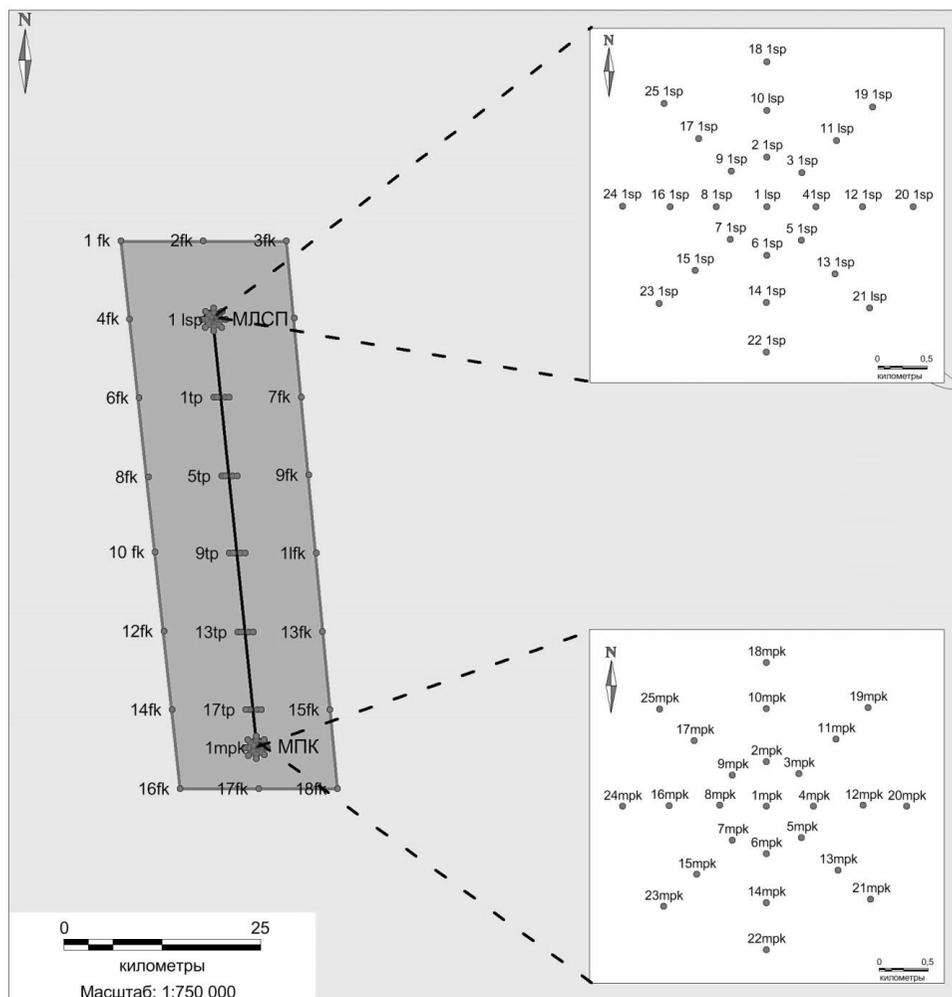


Рис. 1 Схема расположения исследовательских полигонов в районе месторождения им. Ю. Корчагина

При обработке полученных материалов использовались статистические методы, а также метод сравнительного анализа пространственно-распределенных данных.

Особое внимание в работе уделялось выявлению и оценке техногенного воздействия на морскую среду, для чего показатели ее состояния и загрязненности сравнивались с историческим, современным региональным и местным фонами. В качестве первого выступили данные ПЭМ на участке «Север-

ный» за 1998-2009 гг., до введения в строй месторождения им Ю. Корчагина, второго – данные наблюдений Росгидромета в открытой части Северного Каспия в период 2012-2014 гг.

За местный фон принимались результаты измерений параметров морской среды, выполнявшихся на фоновом полигоне в 2015 году. Исторический фон характеризует состояние и загрязненность морской среды до начала воздействия объектов месторождения им. Ю. Корчагина, региональный - в период воздействия, но за пределами его возможного распространения, местный в период воздействия, но за пределами его фактического распространения. При этом техногенное воздействие рассматривалось как одна из причин превышения значений контролируемых показателей в районах расположения объектов обустройства в 2015 году над их фоновыми значениями.

Результаты исследований и их обсуждение

Сложившаяся в период проведения работ гидрометеорологическая обстановка соответствовала временам года и району исследований. Последний относится к предустьевому взморью Волги, сток которой в период половодья (апрель-июнь) в 2015 году был существенно ниже нормы. Это аномалия в определенной степени отразилась на гидрологических, гидрохимических и гидробиологических условиях в районе месторождения им. Ю. Корчагина. Среди последствий маловодья на р. Волге можно указать на снижение уровня моря, сопровождающееся повышением солености воды (рис. 2), благоприятствующее повышению концентрации взвеси, а также на низкие количественные показатели зоопланктона в связи с относительно ранним проникновением мнемипсиса в данный район.

При этом состояние фитопланктона и зообентоса оценивается как благополучное (рис. 3). Временные изменения состояния планктона и бентоса объясняются сезонной сукцессией, пространственные – гидрологическими и литологическими факторами.

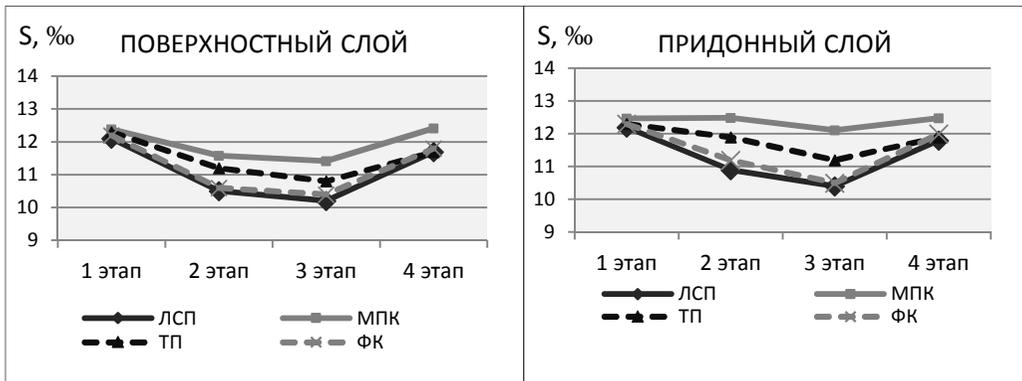


Рис. 2 Соленость воды (‰) в районе исследований в 2015 г.

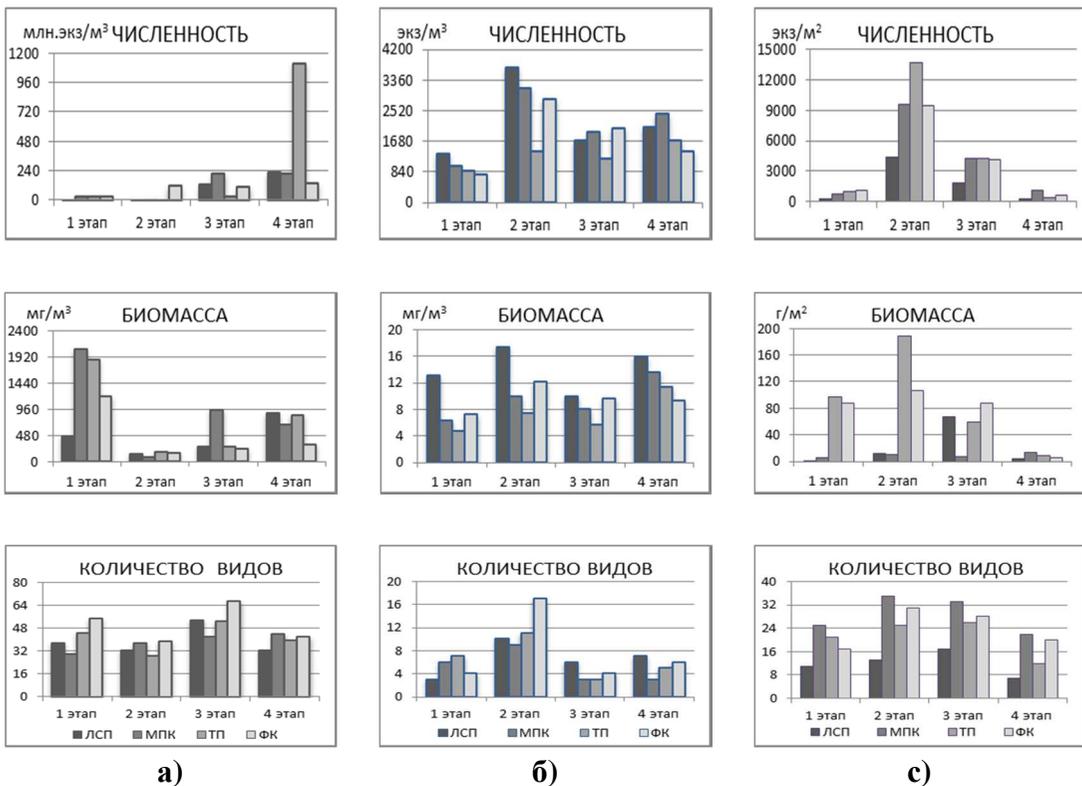


Рис. 3 Качественная и количественная характеристика фитопланктона (а), зоопланктона (б) и зообентоса (в) в районе месторождения им. Ю. Корчагина в 2015 г.

Каких-либо особенностей пространственно-временной изменчивости гидробиологических параметров, указывающих на техногенное воздействие, не выявлено. Результаты биотестирования проб донных отложений, отобранных в районе месторождения им. Ю. Корчагина в 2015 г., также свидетельствуют об отсутствии токсического воздействия.

Комплексная оценка качества морских вод проводилась с использованием индекса загрязнения вод (ИЗВ), а также по кратности и повторяемости превышения ПДК в соответствии с [3, 6, 10]. Согласно результатам анализа, случаев экстремально-высокого и высокого загрязнения вод в 2015 году в районе расположения объектов месторождения не зафиксировано. Превышение ПДК в морской воде во всех районах, включая фоновый полигон, наблюдалось для 6 показателей: БПК₅, взвешенного вещества, нефтепродуктов, АПАВ, меди и ртути. По кратности превышения ПДК загрязнение акватории оценивалось как загрязнение среднего уровня в отношении БПК₅, взвеси и нефтепродуктов, и как загрязнение низкого уровня в отношении остальных показателей. По повторяемости значений, превышающих ПДК, загрязнение акватории оценивалось как единичное, неустойчивое, реже как характерное. По величине ИЗВ акватория исследуемого района оценивалась как чистая.

Оценка загрязнения акватории моря в районе месторождения им. Ю. Корчагина в целом согласуется с данными наблюдений Росгидромета [4]. Однако стоит отметить, что по данным государственного мониторинга морские воды в открытой части Северного Каспия оцениваются как умеренно-загрязненные.

Считаем необходимым остановиться подробнее на особенностях пространственной и временной изменчивости параметров, превышающих ПДК.

Средняя величина *биохимического потребления кислорода* (БПК₅) в районе исследований варьировала в пределах 0,67-1,73 мг/л у поверхности моря и 0,76-1,68 мг/л у дна, что указывает на благоприятную обстановку

(ПДК = 2 мг/л). Максимальные значения БПК₅ были зафиксированы в мае-июне, минимальные – в октябре-ноябре (табл. 1).

Пространственные изменения содержания взвешенного вещества в морской воде характеризовались широким диапазоном значений. За период наблюдений в поверхностном слое воды он составил 6,4-52,3 мг/л, в придонном – 6,8-50,5 мг/л.

Однако как следует из табл. 1, пиковые величины концентрации взвешенного вещества, как и наиболее мозаичное ее распределение, приходились на ноябрь-декабрь. Данный факт объясняется повышенной штормовой активностью во время проведения работ.

Таблица 1

**Средние значения БПК₅ и содержания взвешенного
в районе исследований в 2015 г.**

Месяц	Район № 1 (ЛСП-1 и ЛСП-2)		Район № 2 (МПК)		Район № 3 (ТП)		Фоновый полигон	
	пов	дно	пов	дно	пов	дно	пов	дно
БПК ₅ , мг/л								
март	1,49	1,46	1,25	1,04	1,49	1,31	1,40	1,26
май-июнь	1,64	1,68	1,73	1,50	1,72	1,63	1,46	1,41
октябрь-ноябрь	0,79	0,76	1,62	1,30	1,25	1,08	0,67	1,02
ноябрь-декабрь	1,37	1,44	0,91	1,18	1,32	1,64	1,44	1,42
Взвешенное вещество, мг/л								
март	10,4	10,1	10,1	9,73	6,4	6,9	9,27	11,3
май-июнь	6,76	6,8	7,85	7,52	8,7	8	8,82	8,66
октябрь-ноябрь	8,1	7,8	7,75	7,41	7,61	7,25	7,33	6,82
ноябрь-декабрь	16	30,6	22,9	27	20,6	28,8	52,3	50,5

Средняя концентрация нефтепродуктов в районе месторождения им. Ю. Корчагина изменялась в поверхностном слое воды от 0,03 до 0,10 мг/л, в придонном – от 0,02 до 0,09 мг/л, в донных отложениях – от 4,47 до 10,2 мг/кг (рис. 4). При этом содержание нефтепродуктов вблизи ЛСП и МПК было ниже, чем на удалении от них (рис. 5).

В целом, согласно данным производственного экологического мониторинга значения показателей состояния и загрязнения морской среды в райо-

нах расположения объектов месторождения им. Ю. Корчагина (ЛСП, МПК и ТП) находились в пределах, установленных для исторического и/или регионального фона (табл. 2). Исключением из этого правила были только два случая: 1) повышенная концентрация взвеси в районах расположения ЛСП и МПК поздней осенью 2015 г.; 2) повышенное содержание ГХЦГ в донных отложениях всех обследованных районов.

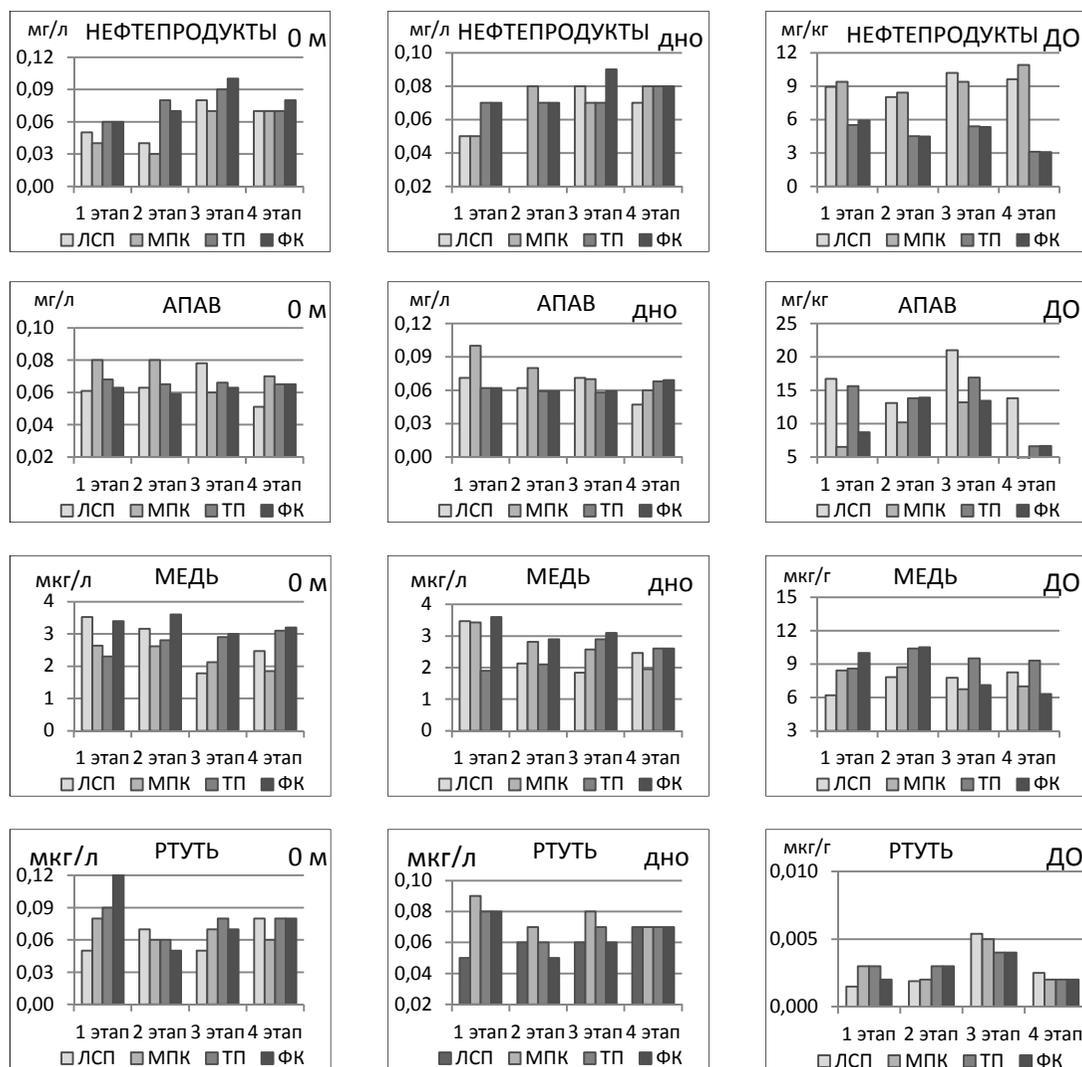
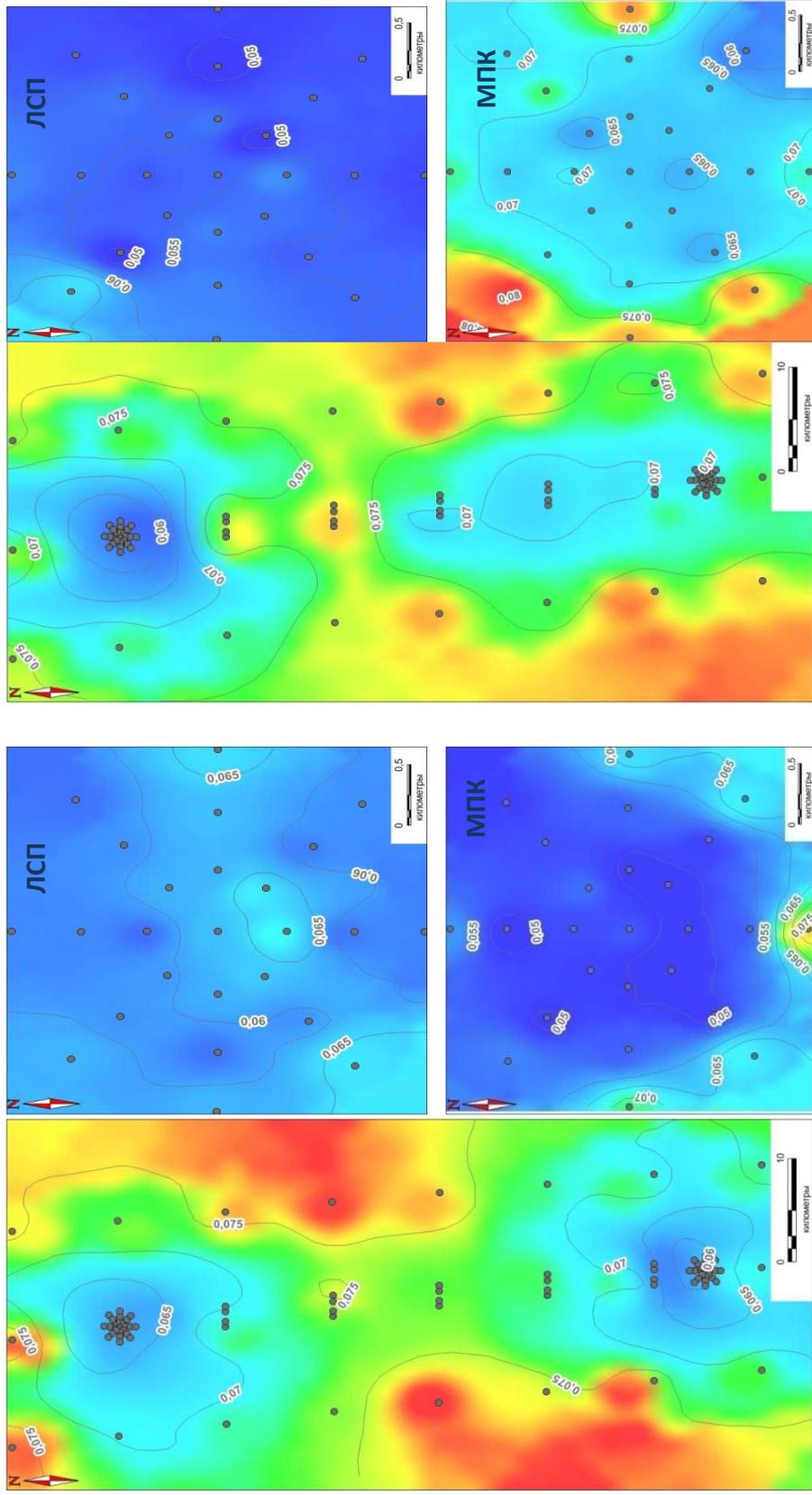


Рис. 4 Изменение содержания нефтепродуктов, АПАВ и тяжелых металлов в морской среде в исследуемых районах в 2015 г.



а)

б)

Рис. 5 Концентрация нефтепродуктов (мг/л) в воде в районе месторождения им. Корчагина в 2015 году. А – поверхность, В – дно

Таблица 2

Гидро- и геохимические параметры в районах исследований по данным производственного экологического мониторинга
 ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» (1998-2009 гг. и 2015 г.) и Росгидромета (2012-2014 гг.)

Показатели	ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть, 2015					Росгидромет, 2012-2014	ЛУКОЙЛ, 1998- 2009	ПДК
	ЛСП	МПК	ТП	ФК				
1	3	4	5	6	7	8	9	
БПК ₅ (мг/л)	пов	1,32 <u>0,38 – 2,36</u>	1,37 <u>0,51 – 2,21</u>	1,45 <u>0,76 – 2,13</u>	1,24 <u>0,30 – 2,12</u>	0,73-3,90	0,36-3,78	
	дно	1,34 <u>0,46 – 2,23</u>	1,25 <u>0,38 – 1,55</u>	1,42 <u>0,63 – 1,93</u>	1,28 <u>0,72 – 1,95</u>	0,35-3,91	0,51-4,73	
Взвеш. вещество (мг/л)	пов	10,3 <u>3,6 – 21,7</u>	12,2 <u>3,0 – 55,4</u>	10,8 <u>2,8 – 24,8</u>	19,4 <u>3,1 – 60,3</u>	3,00-63,0	-	
	дно	13,8 <u>3,0 – 76,9</u>	12,9 <u>3,0 – 69,7</u>	12,7 <u>3,2 – 36,0</u>	19,3 <u>3,1 – 59,9</u>	2,00-63,0	-	
Нефте-продукты (мг/л, мкг/г)	пов.	0,06 <u>0,04 – 0,09</u>	0,06 <u>0,01 – 0,11</u>	0,07 <u>0,06 – 0,10</u>	0,08 <u>0,05 – 0,11</u>	0-0,22	0-0,43	
	дно	0,05 <u>0,01 – 0,10</u>	0,07 <u>0,02 – 0,10</u>	0,07 <u>0,03 – 0,10</u>	0,08 <u>0,06 – 0,10</u>	0-0,21	0-0,37	
АПАВ (мг/л, мкг/г)	ДО	9,52 <u>5,89 – 15,6</u>	9,54 <u>6,67 – 14,3</u>	4,61 <u>0,16 – 15,9</u>	4,70 <u>0,23 – 12,6</u>	0-68,4	0-56,8	
	пов.	0,063 <u>0,026 – 0,129</u>	0,070 <u>0,014 – 0,122</u>	0,066 <u>0,032 – 0,110</u>	0,063 <u>0,028 – 0,114</u>	0-0,178	0-0,056	
АПАВ (мг/л, мкг/г)	дно	0,063 <u>0,013 – 0,115</u>	0,079 <u>0,030 – 0,129</u>	0,2 <u>0,007 – 0,109</u>	0,061 <u>0,013 – 0,118</u>	0-0,27	0-0,041	
	ДО	11,7 <u>0,24 – 32,4</u>	8,19 <u>0,04 – 31,4</u>	13,2 <u>0,28 – 52,2</u>	10,7 <u>0,11 – 39,2</u>	0,45-65,6	0-120	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Медь (мкг/л, мкг/г)	пов.	$\frac{2,73}{1,12 - 5,63}$	$\frac{2,31}{0,70 - 4,58}$	$\frac{2,78}{1,44 - 5,57}$	$\frac{3,26}{0,67 - 4,73}$	0,30-17,8	0,1-11,4	5 мкг/л
	дно	$\frac{2,48}{0,07 - 4,46}$	$\frac{2,69}{1,25 - 6,90}$	$\frac{2,39}{1,10 - 5,23}$	$\frac{3,05}{0,50 - 7,06}$	0,30-24,6	0-14,1	
	ДО	$\frac{7,51}{0,36 - 15,0}$	$\frac{7,71}{2,28 - 17,1}$	$\frac{9,46}{2,95 - 18,7}$	$\frac{8,48}{2,60 - 18,9}$	3,70-54,8	0-70	
Ртуть (мкг/л, мкг/г)	пов.	$\frac{0,06}{0,01 - 0,14}$	$\frac{0,07}{0,01 - 0,14}$	$\frac{0,08}{0,02 - 0,15}$	$\frac{0,08}{0,01 - 0,16}$	0-0,09	0-0,96	0,1 мкг/л
	дно	$\frac{0,06}{0,01 - 0,13}$	$\frac{0,07}{0,02 - 0,15}$	$\frac{0,07}{0,01 - 0,13}$	$\frac{0,07}{0,01 - 0,17}$	0-0,08	0-0,91	
	ДО	$\frac{0,0028}{0,0009 - 0,0094}$	$\frac{0,0028}{0,0007 - 0,0094}$	$\frac{0,0029}{0,0005 - 0,0072}$	$\frac{0,0028}{0,0009 - 0,0062}$	0-0,10	0-3,0	
Сумма ГХЦГ (мкг/г)	ДО	$\frac{0,0017}{0 - 0,0102}$	$\frac{0,0016}{0 - 0,0092}$	$\frac{0,0013}{0 - 0,0042}$	$\frac{0,0008}{0 - 0,0056}$	0	0-0,00085	-

Примечание. В числителе указано среднее, в знаменателе - минимальное и максимальное значения

Максимальная концентрация взвешенного вещества, превысившая исторический и региональный порог, как уже упоминалось, была зафиксирована во время шторма на Северном Каспии. Повышенная концентрация взвеси в это время наблюдалась на всех четырех полигонах, однако на фоновом полигоне, недоступном для воздействия объектов месторождения, ее средняя концентрация была в несколько раз выше, чем на импактных

Следовательно, из числа причин формирования повышенной концентрации взвеси следует исключить воздействие объектов месторождения на морскую среду.

Повышенное содержание ГХЦГ в донных отложениях в импактных районах по сравнению с историческим, региональным и местным фоном трудно однозначно объяснить, однако, поскольку ГХЦГ не используется при добыче и транспортировке нефти, воздействие объектов месторождения в данном случае исключено.

Заключение

Таким образом, результаты мониторинга указывают на отсутствие негативного воздействия со стороны объектов месторождения на морскую среду, что подтверждает соблюдение компанией ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» установленных экологических требований и высокую эффективность мер, предпринятых для охраны окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кибаленко И.А., Федотов И.Б, Делия С.В. Особенности разработки месторождения им. Ю. Корчагина // Нефтяное хозяйство. – 2014. - №3. – С. 32-35.
2. Курапов А.А., Монахов С.К., Попова Н.В. и др. Инженерно-экологические изыскания и производственный экологический мониторинг в российском секторе недропользования Каспийского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2011. – №10. – С. 14-21.
3. Методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Государственный комитет

СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. - М: Госкомгидромет, 1986. – 5 с.

4. Обзор состояния и загрязнения морской среды северо-западной части Каспийского моря в 2014 году / Под ред. С.К. Монахова – Астрахань: Астраханская цифровая типография, 2015. – 102 с.

5. Политика Открытого акционерного общества «Нефтяная компания «ЛУКОЙЛ» в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды в XXI веке [Электронный ресурс] URL: http://www.lukoil.ru/static_6_5id_267_.html

6. Приказ Росрыболовства № 20 от 18.01.2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения». [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/902199367>

7. Попова Н.В., Курапов А.А., Островская Е.В. Экологическая безопасность нефтяных операций на мелководном шельфе. Международная практика и опыт российских компаний на Северном Каспии. – Астрахань: Новая артель, 2006. – 266 с.

8. Программа производственного экологического мониторинга и контроля в период строительства и эксплуатации объектов обустройства месторождения им. Ю. Корчагина. – Астрахань: ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», 2010. – 10 с.

9. Программа производственного экологического мониторинга ОАО НК «ЛУКОЙЛ» на Северном Каспии. – Астрахань, 2002. – 34 с.

10. СанПиН 2.1.5.2582-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей в местах водопользования населения». [Электронный ресурс] URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12074380/#ixzz43oYU7rFm>

11. Туркина Г.И., Туркин А. В., Колмыков Е.В. Оценка риска разливов нефти и нефтепродуктов с объектов месторождения имени Юрия Корчагина в Северном Каспии // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2013. - №5. – С. 26-29.

12. DNV-GL. Oil and gas: Drilling in sensitive areas. A guideline for “best practices” keeping focus on the seabed environment. Oslo, Norway. 2014, 24 p.

13. OGP. Oil and gas exploration and production in arctic offshore regions: Guidelines for environmental protection. Report No. 2.84/329 June 2002. London: OGP Publications. 2002, 64 p.

14. Arctic offshore oil and gas guidelines. Arctic Council, Protection of the Arctic Marine Environment Working Group. 2009, 98 p.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В ЦЕЛЯХ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Т.В. Васильева¹, Е.В. Колмыков², К.И. Асаева³, Г.А. Монахова³,

Д.В. Кашин¹

¹ФГУП «Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Астрахань, ул. Савушкина. 1, e-mail: kaspnirh@mail.ru; dlgru@mail.ru

²ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, 1/2

³ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14

Ключевые слова: Северный Каспий; морские нефтегазовые месторождения; пространственное распределение; гидробионты; фитопланктон; уязвимость морской биоты; оценка ущерба; вероятностно-статистический подход; гидрологический режим.

Key words: Northern Caspian; offshore oil and gas fields; spatial distribution; hydrocoles; phytoplankton; marine biota vulnerability; damage assessment; statistical approach; hydrological regime.

Abstract

The study describes the abundance of phytoplankton (mg/m³) and its spatial distribution in the western part of the Northern Caspian throughout 1961-2012 during the flood period in the Lower Volga (May – June) under different characteristics of the sea hydrological regime (regression in 1961-1977; transgression in 1978-1995; and the negative trend in 1996-2012 accompanied by fluctuations). The study focuses on the analysis of spatial distribution of phytoplankton biomass with help of the probability-statistical approach. The output materials can be used to assess the vulnerability of the marine biota to the impact of oil and gas production and to oil pollution and to assess the possible damages resulting from emergency oil spills.

Введение

Для решения, как минимум, трех задач в области охраны окружающей среды при освоении морских нефтегазовых месторождений необходимо знание особенностей и закономерностей пространственного распределения морской биоты на акватории, отведенной для нефтегазодобычи и подверженной

(реально и/или потенциально) ее воздействию, включая разливы нефти. В число этих задач входят оценка воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности, оценка уязвимости морской биоты к воздействию нефтегазодобычи (прежде всего, к нефтяному загрязнению) и оценка возможного ущерба (риска) от аварийных разливов нефти.

Для решения этих задач в настоящее время используется информация о пространственном распределении биологических параметров, но она, как правило, ограничивается несколькими годами или средними значениями, чего явно недостаточно, особенно для оценки уязвимости и риска, где важно знать вероятность формирования в районе, подверженном воздействию, сообщества организмов, количественные показатели которого отличаются от средних значений как в меньшую, так и в большую сторону. Здесь требуется вероятностно-статистический подход и ряды наблюдений, длина которых достаточна для его применения. Можно утверждать, что чем больше значений содержат эти ряды, тем более достоверными будут оценки воздействия, уязвимости и риска.

Ожидаемыми результатами применения вероятностно-статистического подхода к анализу пространственного распределения морской биоты являются обнаруженные особенности (отличительные признаки) и установленные закономерности (общие черты) этого распределения при различных уровнях количественного развития сообщества. Очевидно, что эти результаты представляют практический интерес не только для решения природоохранных задач, но также для оценки биопродуктивности и рыбохозяйственной значимости исследуемой акватории.

Целью настоящего сообщения является освещение результатов применения вероятностно-статистического подхода к анализу пространственного распределения фитопланктона Северного Каспия, где уже находится в эксплуатации месторождение им. Ю. Корчагина, и в ближайшее время будет введено в строй месторождение им. В. Филановского.

О пространственном распределении фитопланктона в Северном Каспии во время половодья на р. Волге известно, что он наиболее обилен в мелководной зоне устьевом взморья, где его биомасса может достигать громадных величин [1]. При высоком половодье зона повышенной биомассы отодвигается в море, распространяясь, как правило, вдоль западного побережья [2, 3].

Материалы и методы

Объектом исследований явилась западная часть Северного Каспия. Рассматриваемая акватория площадью 30 тыс. км², была разбита на 10-минутные квадраты (всего 126 квадратов), среди которых было выделено 24 реперных (рис. 1).

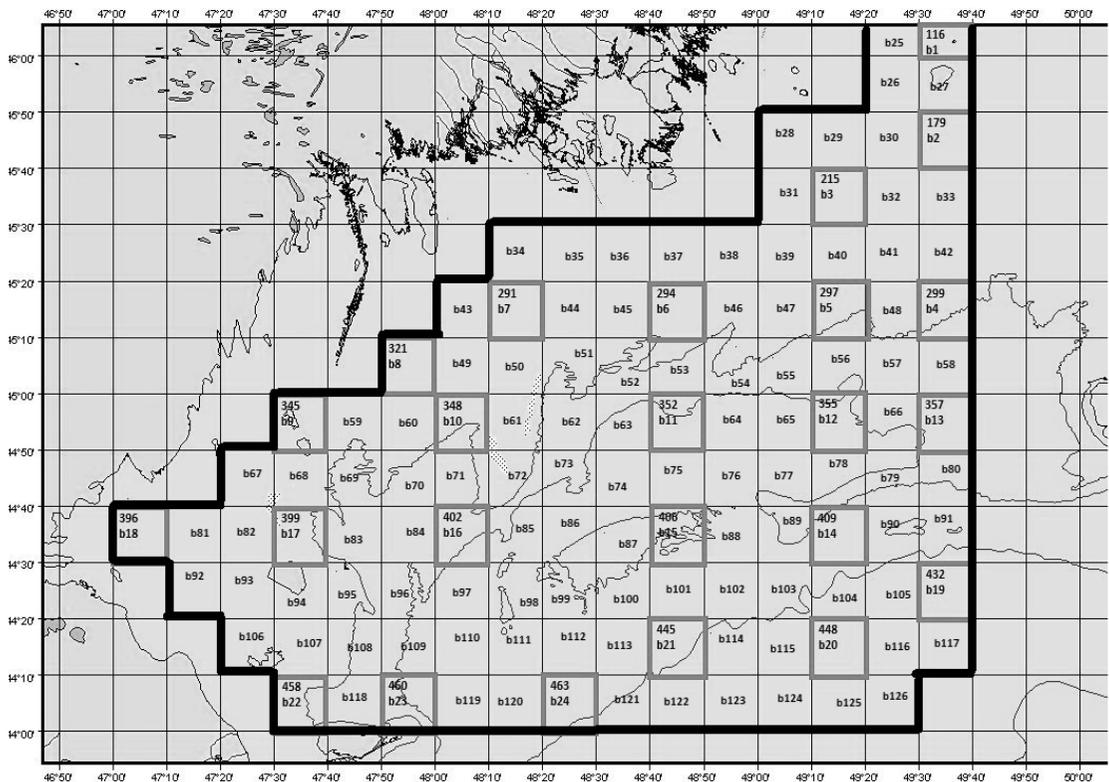


Рис. 1 Карта-схема района исследований

Для реперных квадратов ФГБУН «Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства» были представлены данные о биомассе фитопланктона (мг/м^3) за период с 1961 по 2012 год во время половодья на р. Волге (май-июнь), основной сток которой направлен в западную часть Северного Каспия.

На основе полученных данных для каждого из реперных квадратов были построены гистограммы распределения и эмпирические кривые обеспеченности биомассы фитопланктона. Далее эмпирические кривые были аппроксимированы полиномами 5-6 степени, в результате чего были получены аналитические кривые обеспеченности и соответствующие им уравнения, которые использовались для расчета биомассы 1, 2, 3, 5, 10, 15, 25, 50, 75, 100% обеспеченности. По данным расчетов были построены 10 карт распределения биомассы фитопланктона различной обеспеченности, ставшие основой для дальнейшего анализа. Также для каждой из карт распределения биомассы была рассчитана площадь распространения фитопланктона с биомассой <10; 10-50; 50-100; 100-500; 500-1000; 1000-2000; 2000-5000 и более 5000 мг/м^3 . При этом площадь каждого из 126 квадратов была принята равной 238 км^2 (исходя из того, что одна минута долготы на широте 45 градусов равна 1,3 км).

Статистический анализ временных рядов биомассы фитопланктона проводился применительно к каждому из реперных квадратов. Для визуализации результатов статистического анализа использовались диаграммы, на которые отображались квартиль 0,75, среднее и максимальное значения биомассы. В целях исследования при построении данных диаграмм реперные станции были ранжированы по глубине (от меньшей к большей). Для проведения анализа данных рассматриваемый временной интервал (1961-2012 гг.) был разбит на три отрезка времени: 1961-1977, 1978-1995 и 1996-2012 гг. Первый из них соответствует периоду снижения уровня, второй – периоду повышения уровня, а третий – периоду колебаний уровня на фоне отрицательного тренда.

Четвертым отрезком времени выступал весь временной интервал (1961-2012 гг.).

Результаты и обсуждение

Общее представление о пространственном распределении биомассы фитопланктона в различные периоды времени, отличающиеся друг от друга гидрологическими условиями, дают данные, представленные в табл. 1. Из них следует, что наибольшая биомасса фитопланктона формируется в зоне транзита речных вод, в зоне смешения она уменьшается в 1,5-2 раза, а в приглубой части устьевого взморья биомасса фитопланктона во время период половодья на порядок меньше, чем в зоне транзита. При этом данное распределение является устойчивым в том смысле, что оно не зависит от изменений водного режима. Обычно в западной части рассматриваемой акватории биомасса фитопланктона выше, чем в восточной. Это распределение уже нельзя назвать устойчивым, так как в период 1996-2012 гг. оно носило противоположный характер.

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, уровень развития фитопланктона в большей степени, чем характер его пространственного распределения, зависит от состояния водного режима.

В многоводный период 1978-1995 гг. во всех частях рассматриваемой акватории биомасса фитопланктона была ниже, чем в предыдущие (1961-1977 гг.) и последующие (1996-2012 гг.) годы. В 1961-1977 гг. биомасса фитопланктона в западной части рассматриваемой акватории была выше, чем в восточной части, а в 1996-2012 гг., наоборот, уровень развития фитопланктона в восточной части был выше, чем в западной. Два названных периода практически не отличались друг от друга по уровню развития фитопланктона в зоне транзита речных. В зоне смешения речных и морских вод и в приглубой части взморья биомасса фитопланктона в 1961-1977 гг. была выше, чем в 1996-2012 гг.

Таблица 1

Показатели биомассы фитопланктона (мг/м³) в мае-июне в различные периоды времени и различных районах западной части Северного Каспия

Показатели	Отмелое взморье				Приглубое взморье
	Восточное	Западное	Зона транзита	Зона смешения	
1961-1977 гг.					
X ср	1461	2736	3099	1607	610,2
Max	8170	12502	12502	8101	2745
Min	3,60	275,1	3,60	35,2	22,50
Kv	1,46	1,09	1,13	1,20	1,38
N	28	34	23	39	28
1978-1995 гг.					
X ср	629	1033	949,6	795,7	112,3
Max	7684	8880	7684	8880	942,1
Min	7,56	6,40	10,1	6,40	0,48
Kv	1,72	1,28	1,46	1,43	1,53
N	101	126	85	142	95
1996-2012 гг.					
X ср	2300	1785	3142	1347	240,9
Max	23654	23999	23999	9491	2105
Min	8,45	33,1	8,45	18,3	1,10
Kv	1,58	1,48	1,41	1,23	1,59
N	97	117	80	134	109
1961-2012 гг.					
X ср	1449	1560	2145	1126	232,8
Max	23654	23999	23999	9491	2745
Min	3,60	6,40	3,60	6,40	0,48
Kv	1,86	1,45	1,60	1,34	1,86
n	226	277	188	315	232

Примечание: Xср – среднее значение; Max – максимальное значение; Min – минимальное значение; Kv – коэффициент вариации; n – количество значений

Более детально пространственное распределение биомассы фитопланктона представлено на картах (рис. 2). На них видно, что наиболее устойчивые независимые от состояния гидрологического режима скопления фитопланктона, которые прослеживаются на всех картах, располагались на западе в районе о. Чистая Банка, а на востоке – на мелководье вблизи о. Укатный и к

югу от него на свале глубин. Также устойчивым является скопление фитопланктона в районе, расположенном между банками Сигнал и Большая Жемчужная, но здесь его биомасса ниже, чем в приустьевом пространстве.

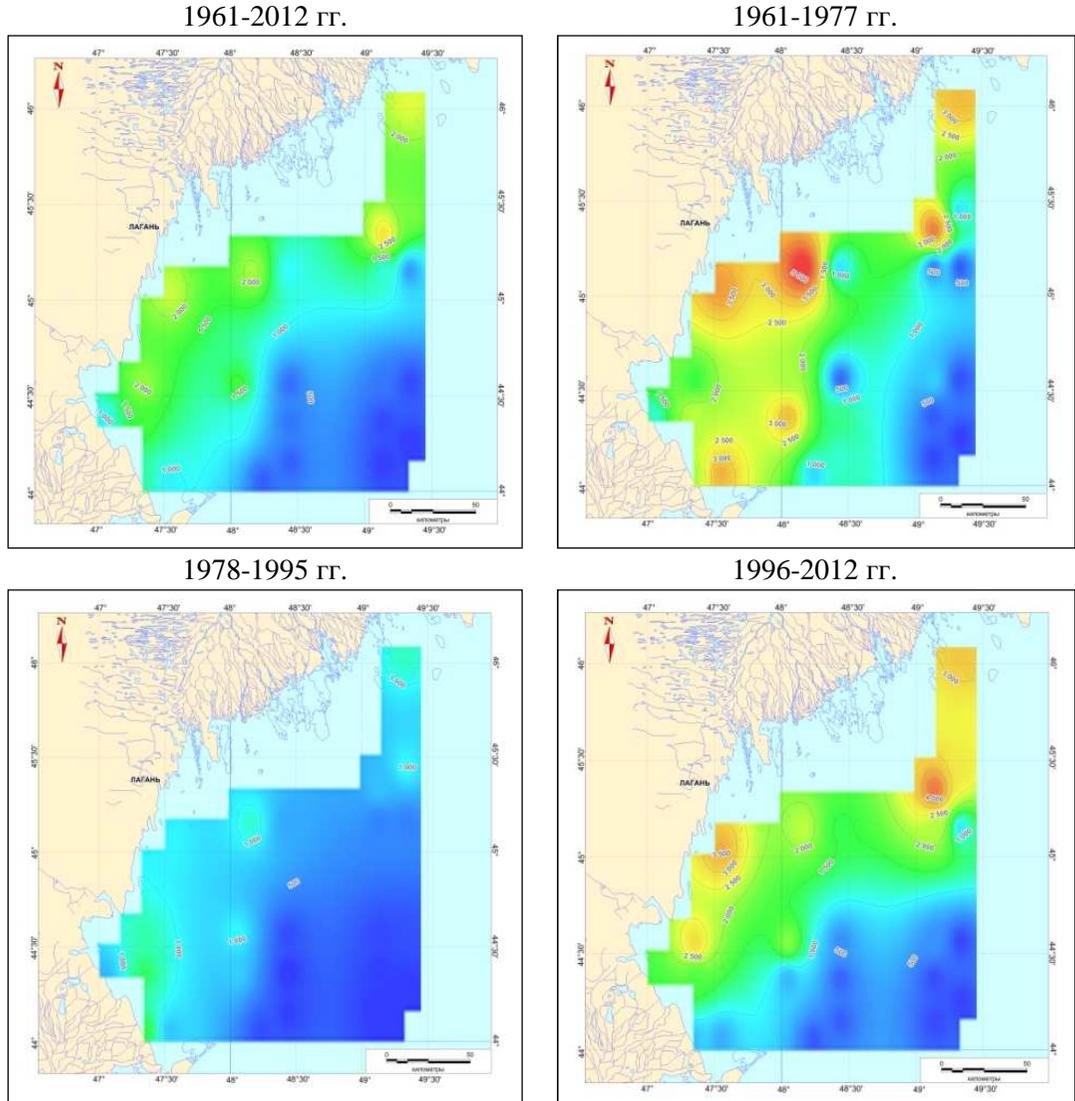


Рис. 2 Пространственное распределение средних значений биомассы фитопланктона ($\text{мг}/\text{м}^3$) в западной части Северного Каспия (май-июнь) в 1961-2012 гг.

В маловодные годы (1961-1977 гг.) повышенная биомасса фитопланктона наблюдалась также в районах островов Иван-Караул и Чечень. В много-

водные годы (1978-1995 гг.) наибольшие средние значения биомассы фитопланктона наблюдались в Кизлярском заливе. В годы с неустойчивым гидрологическим режимом (1996-2012 гг.) повышенная биомасса фитопланктона наряду с постоянными районами ее распространения, наблюдалась также в районе о. Иван-Караул и в северной части Кизлярского залива.

Сводная диаграмма (рис. 3) характеризует распределение по глубине не только средних значений, но и других статистических показателей биомассы фитопланктона (квартиля 0,75 и максимума). На графике видно, что средняя биомасса фитопланктона за пределами 8-метровой изобаты не превышает 500 мг/м³, а ее повышенные значения (более 2000 мг/м³) в основном сосредоточены на глубинах от 1,5 до 3,0 м. Менее выражен пик биомассы на глубинах от 5 до 8 метров.

Совмещенные на рис. 3 диаграммы и график позволяют определить характер распределения устойчивых скопления фитопланктона по глубине. В данном случае такие скопления характеризуются тремя совмещенными пиками (среднего значения, квартиля 0,75 и максимума). Устойчивыми они являются потому, что относительно высокий средний уровень биомассы обеспечивается ее значениями, близкими к средней величине. Для неустойчивых скоплений характерны только два совмещенных пика (среднего значения и максимума), здесь относительно высокий средний уровень биомассы обеспечивается значениями, близкими к максимуму.

Как видно на рис. 3, в период 1961-1977 гг. практически все скопления фитопланктона с биомассой более 2000 мг/м³ были устойчивыми (см. пики на глубинах 1,6; 2,2; 2,6; 6,2 и 7,6 м).

В период 1978-1995 гг. устойчивые скопления фитопланктона с биомассой 1000 мг/м³ и более наблюдались на глубинах 1,6; 3,4; 4,3 и 4,9 м, а неустойчивые на глубинах 2,4 и 3,2 м. В период 1995-2012 гг. устойчивые скопления фитопланктона с биомассой более 2000 мг/м³ наблюдались на глубинах 1,3; 2,2 и 3,2 м, а неустойчивые – на глубинах 1,6; 2,4; 2,6 и 4,3 м.

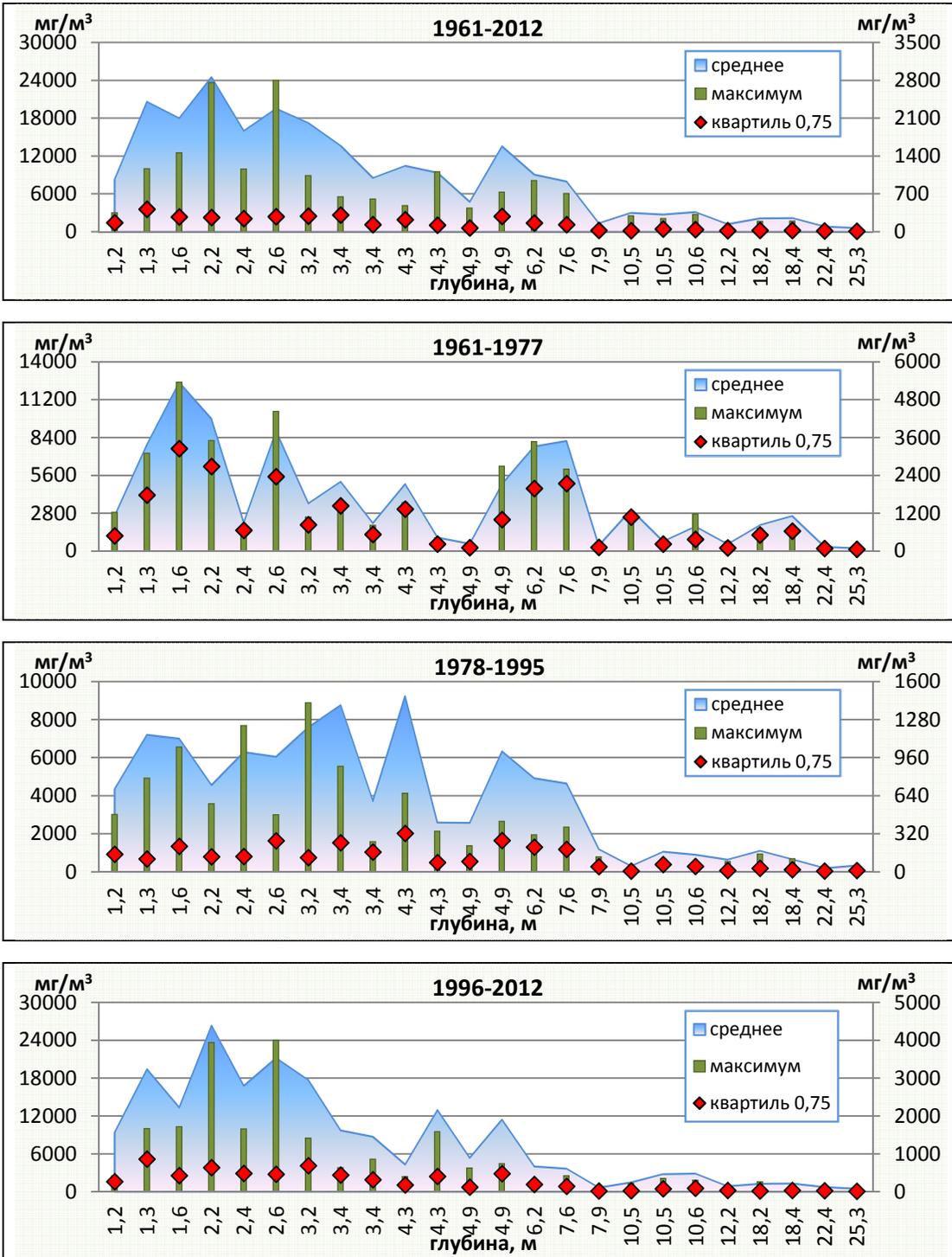


Рис. 3 Распределение по глубине статистических показателей биомассы фитопланктона (mg/m^3) в западной части Северного Каспия в различные периоды времени. По основной оси (слева) - максимум и квартиль 0,75, по вспомогательной оси (справа) - среднее значение

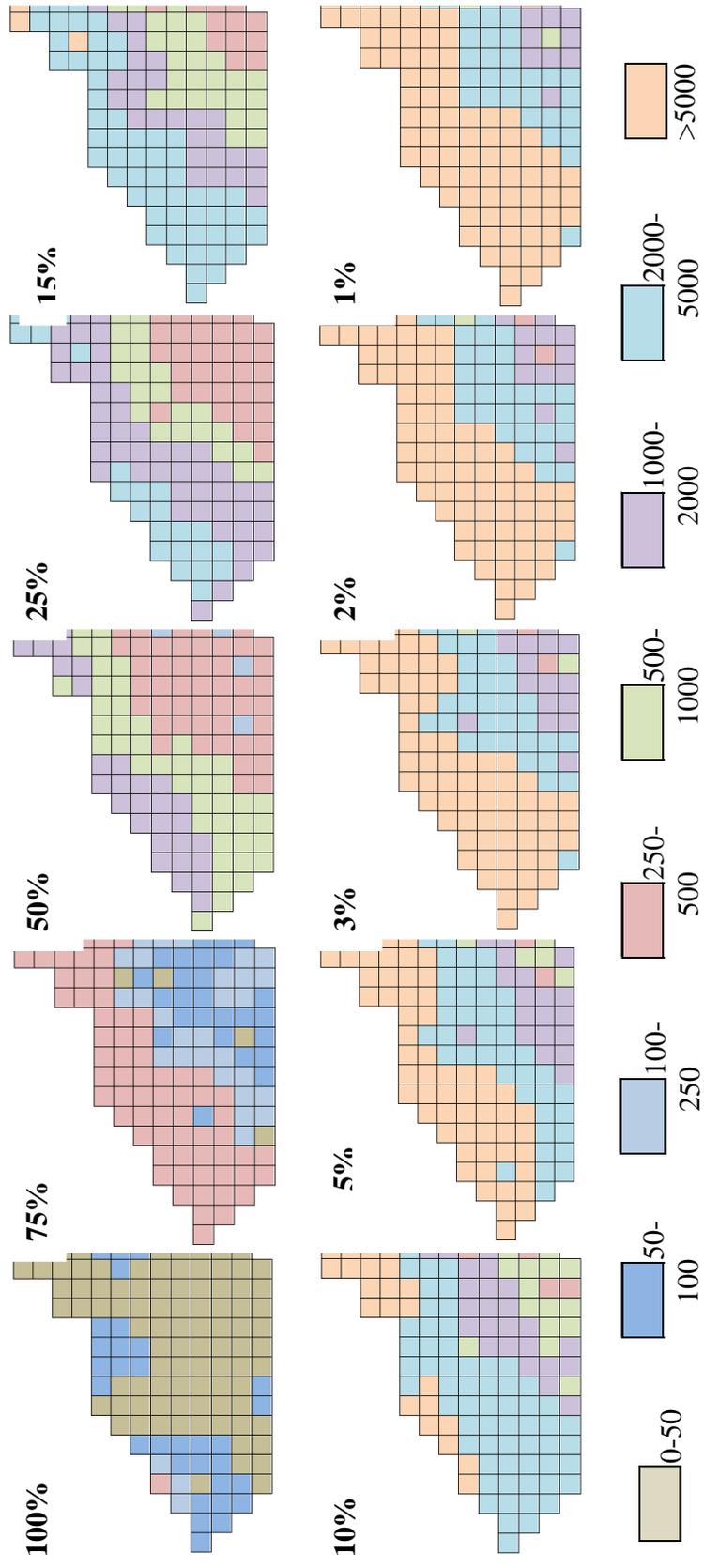


Рис. 4 Карты-схемы пространственного распределения биомассы фитопланктона (мг/м³) различной обеспеченности в западной части Северного Каспия по данным 1961-2012 гг. (май-июнь)

В целом за период с 1961 по 2012 год устойчивым скоплением фитопланктона с биомассой более 2000 мг/м^3 следует считать только его повышенную биомассу на глубине 1,3 м, тогда как скопления на глубинах от 1,6 до 3,2 м характеризовались как неустойчивые.

Приведенных выше данных, если их дополнить аналогичными материалами по распределению биомассы фитопланктона в иные времена года, вполне достаточно для решения задачи по оценке воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности.

При этом следует принять во внимание, что при необходимости их легко детализировать как по времени и пространству, так и по статистическим показателям. Но для оценки уязвимости и риска наряду с этими данными необходимы материалы, характеризующие пространственное распределение биомассы фитопланктона различной обеспеченности, к которым в первую очередь следует отнести карты-схемы, представленные на рис. 4. Дополнением к этим картам, необходимым для их описания и анализа, является диаграмма, представленная на рис. 5.

На карте-схеме распределения биомассы фитопланктона 100 % обеспеченности большая часть акватории (72,3%) была занята фитопланктоном с биомассой менее 50 мг/м^3 . При этом в приустьевом пространстве на участке, площадью 7,4 тыс. км^2 (рис. 4 и 5), биомасса фитопланктона данной обеспеченности находилась в пределах от 50 до 100 мг/м^3 .

Только вблизи о. Чистая Банка на акватории площадью 0,9 тыс. км^2 биомасса фитопланктона данной обеспеченности находилась в пределах от 100 до 500 мг/м^3 .

На карте-схеме распределения биомассы фитопланктона 75% обеспеченности большая часть акватории с глубинами менее 5 метров была занята фитопланктоном с биомассой от 250 до 500 мг/м^3 . Акватория с большими глубинами распределилась примерно поровну среди фитопланктона с биомассой от 100 до 250 и от 50 до 100 мг/м^3 .

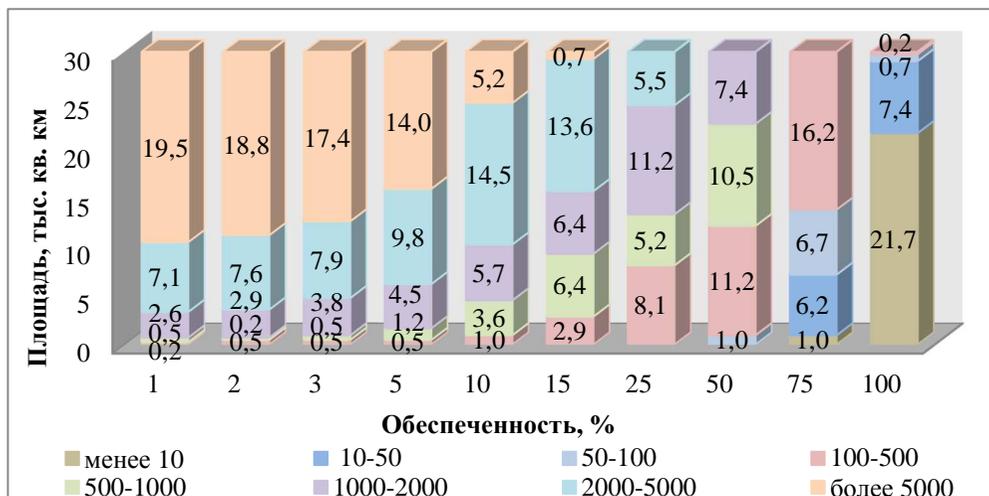


Рис. 5 Площадь распространения (тыс. км²) биомассы фитопланктона (мг/м³) различной обеспеченности

При этом наблюдалось два разделенных между собой участка с биомассой 100-250 мг/м³. Один из них располагался вдоль 5-ти метровой изобаты, а другой находился в юго-восточном векторе на границе со Средним Каспием.

На карте-схеме распределения биомассы фитопланктона 50% обеспеченности акватория с глубинами менее 5 метров была занята фитопланктоном с биомассой 1000-2000 мг/м³, занимавшим приустьевое пространство площадью 7,4 тыс. км², и фитопланктоном с биомассой 500-1000 мг/м³, занимавшим оставшуюся часть данной акватории. Всю акваторию с глубинами более 5 метров занимал фитопланктон с биомассой от 250 до 500 мг/м³.

На карте-схеме распределения биомассы фитопланктона 25% обеспеченности площадь распространения фитопланктона с биомассой от 1000 до 2000 мг/м³ на акватории с глубинами менее 5 метров расширилась в сторону открытой части моря до 11,2 тыс. км², при этом приустьевое пространство занял фитопланктон с биомассой от 2000 до 5000 мг/м³. Акватория с большими глубинами распределилась примерно поровну среди фитопланктона с биомассой от 500 до 1000 и от 250 до 500 мг/м³.

На карте-схеме распределения биомассы фитопланктона 15% обеспеченности практически вся акватория с глубинами менее 5 метров была занята фитопланктоном с биомассой от 2000 до 5000 мг/м³. Только на небольшом участке вблизи о. Укатный, площадью 0,7 тыс. км², биомасса фитопланктона была выше 5000 мг/м³. Акватория с большими глубинами распределилась примерно поровну среди фитопланктона с биомассой от 1000 до 2000 и от 500 до 1000 мг/м³. Также небольшой участок акватории в юго-восточном секторе на границе со Средним Каспием занимал фитопланктон с биомассой от 500 до 1000 мг/м³.

На карте-схеме распределения биомассы фитопланктона 10% обеспеченности расширилась площадь распространения в приустьевом пространстве фитопланктона с биомассой, превышающей 5000 мг/м³, он упрочил свое положение на востоке и образовал новое пятно в западной части этого пространства. Остальную часть мелководья с глубинами менее 5 метров и даже часть глубокой воды (на юго-западе и северо-востоке рассматриваемой акватории) занял фитопланктон с биомассой от 2000 до 5000 мг/м³. В результате в юго-восточный сектор рассматриваемой акватории был вытеснен фитопланктон с биомассой от 500 до 2000 мг/м³.

На карте-схеме распределения биомассы фитопланктона 5% обеспеченности расширилась до 14 тыс. км² площадь распространения фитопланктона с биомассой, превышающей 5000 мг/м³, он занял практически все мелководную часть рассматриваемой акватории. Вытесненный за пределы 5-ти метровой изобаты фитопланктон с биомассой от 2000 до 5000 мг/м³ расположился полосой следующей в направлении с юго-запада на северо-восток вдоль этой изобаты. В результате в юго-восточном секторе еще более сократилась площадь распространения фитопланктона с биомассой от 500 до 2000 мг/м³.

Распределения биомассы фитопланктона 1, 2 и 3% обеспеченности мало чем отличается от распределения биомассы 5% обеспеченности, поэтому не рассматривается.

Сравнительный анализ карт-схем, приведенных на рис. 4, позволил установить следующие свойственные им общие черты: 1) по мере увеличения биомассы фитопланктона и, соответственно, снижения вероятности ее нахождения район, где эта биомасса может быть обнаружена, может изменять свою площадь, но всегда располагается в приустьевом пространстве; 2) по мере уменьшения биомассы фитопланктона и, соответственно, повышения вероятности ее нахождения район, где эта биомасса может быть обнаружена, распространяется из юго-восточного сектора на всю акваторию, не занимая однако приустьевого пространства; 3) биомасса фитопланктона, имеющая одинаковую обеспеченность, в различных районах может различаться на порядок.

Таковы результаты применения вероятностно-статистического подхода к анализу пространственного распределения биомассы фитопланктона в западной части Северного Каспия. Планируется, что они станут исходным материалом для оценок уязвимости акватории и экологического риска при нефтегазодобыче, использование которого существенно повысит значимость и достоверность этих оценок. Очевидно также, что эти результаты представляют интерес для исследования экосистемы Северного Каспия, биологической продуктивности его акватории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкевич Л.А. Биология морей СССР / АН СССР, Ин-т океанологии. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 460 с.
2. Иванов В.П., Сокольский А.Ф. Научные основы стратегии защиты биологических ресурсов Каспийского моря от нефтяного загрязнения. - Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2000. - 181 с.
3. Каспийское море: фауна и биологическая продуктивность / Под ред. Е.А. Яблонской. – М.: Наука, 1985. – 280 с.

СОСТОЯНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА В РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. Ю. КОРЧАГИНА НА СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Н.Б. Водовский¹, Е.В. Колмыков², Р.И. Умербаева^{1,3}, М.В. Войнова⁴

¹Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

²ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, 1/2

³ООО «НИИ экологии южных морей», г. Астрахань, пл. Свободы, 45

⁴ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14

Ключевые слова: Северный Каспий; месторождение им. Ю. Корчагина; донные станции; макрозообентос; видовой состав; численность; биомасса.

Keywords: Northern Caspian; Yu. Korchagin oilfield; bottom sampling devices; macrozoobenthos; species composition; abundance; biomass.

Abstract

The article describes the status of macrozoobenthos on the sea bottom around the bottom sampling devices installed for the monitoring in the area of Yu. Korchagin field as compared to the background. The bottom fauna under study is described by a bigger diversity than the background areas, although the biomass and the abundance of macrozoobenthos are higher in the background sites. Bigger diversity can be explained by the ecotope advancement, conditioned by the installation of bottom sampling devices. The reduction of macrozoobenthos biomass and number is explained by the feeding activity of the benthos-eating fish. The installation of bottom sampling devices leads to the changes in the metabolism of the bottom community. Several species make a substantial contribution to the overall energy consumption, while only one species dominates in energy consumption, number and biomass in the background area. The research shows that bigger diversity, number and biomass of crustaceans which are highly pollution sensitive are observed around the bottom sampling devices installed in the immediate vicinity of the oil platform. This fact points to the good quality of hydrocoles habitat in this area.

Введение

Изменения биологических сообществ, обусловленные хозяйственной деятельностью на морском шельфе, являются объектом пристального внимания ученых [15, 16]. Для Каспийского моря, где разведка и разработка месторождений ведутся уже более века, этот вопрос особенно актуален.

На Северном Каспии для отслеживания изменений морской среды и биоты в районе нефтегазовых месторождений с недавних пор стали использовать донные биостанции, изготовленные в соответствии с патентом на

изобретение № 2314386 от 05.06.2006. В районе месторождения им. Ю. Корчагина, где добыча нефти началась в 2010 году, установлено 12 донных био-станций, служащих опорными точками системы производственного экологического мониторинга. Предполагается, что сообщества эпифауны, сформировавшиеся на самих станциях, и донные сообщества, возникшие на месте их установки, будут служить индикаторами долговременных, в т.ч. накопленных изменений состояния морской среды и биоты, обусловленных техногенным воздействием.

Целью данного исследования являлось определение параметров изменений сообществ макрозообентоса в районах установки донных станций в Северной части Каспийского моря.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2014 году с борта НИС «Никифор Шурков» при помощи легководолазной техники. Координаты мест пробоотбора ограничены квадратом с вершинами в точках N44°55,634', E48°57,517', N44°55,393' E44°55,393', N44°54,059', E48°57,517', N048°57,517', E48°56,675'. Таким образом площадь района исследований составила около 6 км². Глубина моря в местах установки донных станций составила 11-12 м. В районе каждой донной станции отобрано 5 проб зообентоса. Помимо этого отобрано 10 проб на фоновых участках, удаленных от донных станций не менее чем на 500 метров.

Площадь захвата грунта пробоотборником составляла 0,01 м², заглубление в грунт при отборе пробы – 0,15 м. Разбор проб проводился по стандартным методикам, промывка проб осуществлялась через сито с диаметром ячеек 0,5 мм. Отобранные в результате промывки и отмучивания организмы зообентоса фиксировались 4% раствором формальдегида для последующей видовой и размерно-весовой идентификации в лаборатории.

Для определения значимости вида определяли его долю (%) не только в численности и биомассе, но и в суммарном дыхании сообщества [6, 7, 14, 16], рассчитываемую по формуле:

$$R_i = A_i Q_i / \sum A_i Q_i = A_i V_i^{0,75} N_i^{0,25} / \sum A_i V_i^{0,75} N_i^{0,25}, \quad (1)$$

где A_i – специфичный для таксона коэффициент удельной интенсивности метаболизма [1], V_i – биомасса i -го таксона и N_i – его численность.

Результаты исследований

Бентофауна в районе исследований представлена 17 видами донных животных, среди которых 9 видов ракообразных, 6 видов моллюсков и не менее двух видов червей (олигохеты до вида не определялись) (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав, численность (экз/м²) и биомасса (г/м²) донной фауны в районе исследований

Вид	Донные станции		Фоновый участок	
	численность	биомасса	численность	биомасса
<i>Hediste diversicolor</i>	300	3,9	800	12
<i>Oligochaeta</i>	560	< 1	1200	< 1
<i>Schizorhynchus scabriusculus</i>	5	< 0,1	–	–
<i>Stenogammarus similis</i>	2900	1,8	1300	1,6
<i>Balanus improvisus</i>	2	1,1	–	–
<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	2	< 0,1	20	0,1
<i>Chaetogammarus ischnus</i>	15	< 0,1	–	–
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	50	< 0,1	180	< 1
<i>Stenocuma graciloides</i>	133	0,01	20	<0,1
<i>Niphargoides compactus</i>	3	< 0,1	–	–
<i>Cardiophilus baeri</i>	–	–	20	< 0,1
<i>Theodoxus pallasii</i>	220	4,88	20	0,1
<i>Mytilaster lineatus</i>	220	7,4	2200	36
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	20	0,5	440	3
<i>Abra ovata</i>	7	< 1	120	5
<i>Hypanis vitrea</i>	2	1,25	–	–
<i>Didacna bardotdemarnyi</i>	3	29	–	–
Всего:	4400	50	6300	60

Обилие ракообразных и моллюсков характерно для района исследований, что подтверждается многочисленными исследованиями [3,8-10,12]. Несмотря на относительно богатый состав макрозообентоса, к массовым видам (встречаемость по станциям 85-100%) можно отнести только многощетинкового червя *Hediste diversicolor*, олигохет, моллюсков *Mytilaster lineatus* и *Theodoxus pallasii*, а так же амфиподу *Stenogammarus similis*. К видам второго ранга можно отнести моллюсков *Cerastoderma lamarcki*, *Abra ovata*, *Didacna barbotdemarnyi*, ракообразных *Balanus improvisus* и *Chaetogammarus ischnus*. Для них характерна встречаемость в пределах 30-45 % станций. К редким видам, с встречаемостью менее 15%, относятся шесть видов ракообразных и один вид моллюсков.

О полноте раскрытия видового состава макрозообентоса на исследованном участке можно судить по кривой накопления видов, изображенной на рисунке 1. Как видно из графика на уровне 35 проб (что составляет 50% отобранных проб) можно ожидать выявление 14 видов в составе макрозообентоса при вероятностном разбросе от 11 до 17 видов, что составляет 65-100% видового состава донных животных на исследованной территории.

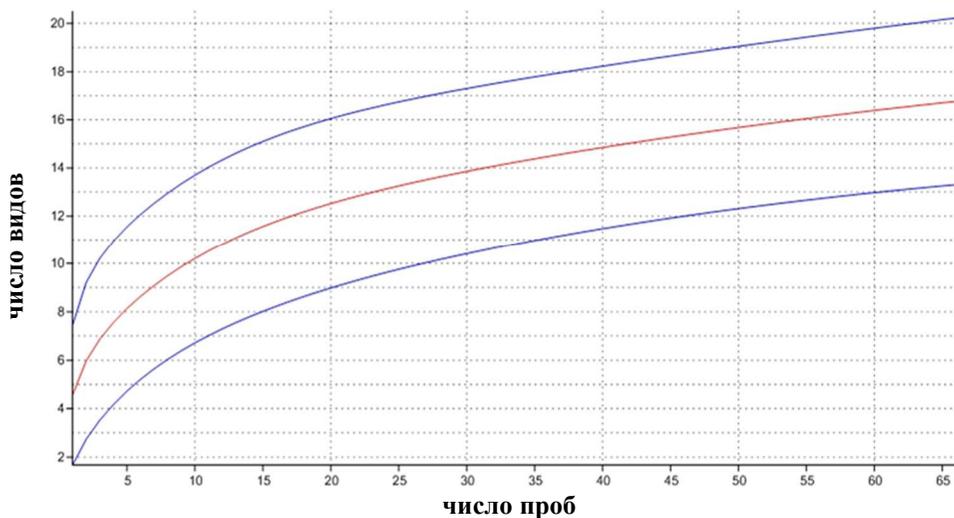


Рис. 1 Накопление видов зообентоса при увеличении числа проб

На уровне фактического количества собранного и обработанного материала (70 проб) кривая накопления не выходит на плато, что свидетельствует о неполном раскрытии видового состава и говорит о возможном присутствии незарегистрированных в пробах видах. Тем не менее, с учетом того, что список видов не менее чем на 40% состоит из редко встречающихся видов, можно с уверенностью говорить об относительно полном раскрытии видового состава в районе исследований.

Средняя численность донной фауны на опытных участках (так далее для удобства будут именоваться участки дна, окружающие донные станции) составляла 4400 экз/м² при колебаниях $\pm 46\%$, а на фоновых участках – 6300 экз/м² ($\pm 36\%$). Опытные и фоновые участки отличались друг от друга не только по численности, но и по структуре (рис. 2).

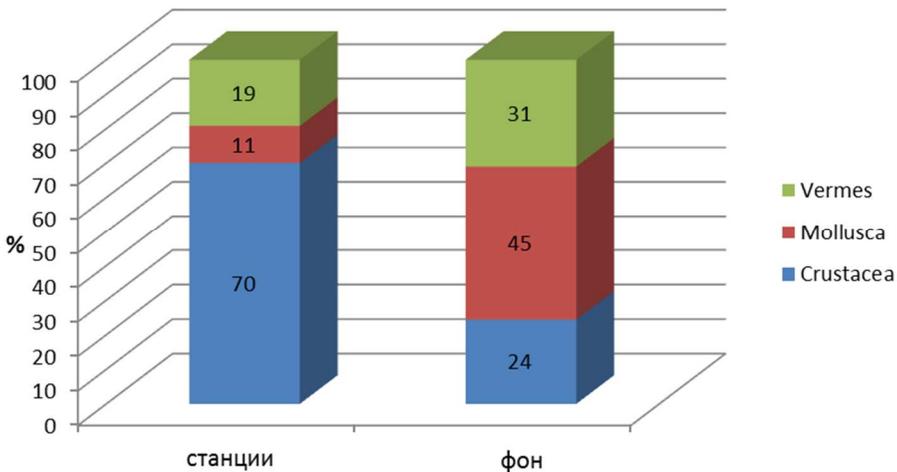


Рис. 2 Структура численности (%) донной фауны в районе донных станций и на фоновых участках

На опытных участках основу численности образуют ракообразные, на долю которых приходится 70% общей численности макрозообентоса, тогда как на фоновых участках доля ракообразных составляет всего 24%. Среди ракообразных на обоих участках по численности доминирует массовый для северной части Каспийского моря вид амфипод *S. similis* (рис. 3). Его доля в составе донных ракообразных на опытных участках составляет 93%, а на фоно-

вых – 84%. Однако в абсолютных значениях численность *S. similis* на фоновых участках в два раза ниже, чем на опытных.

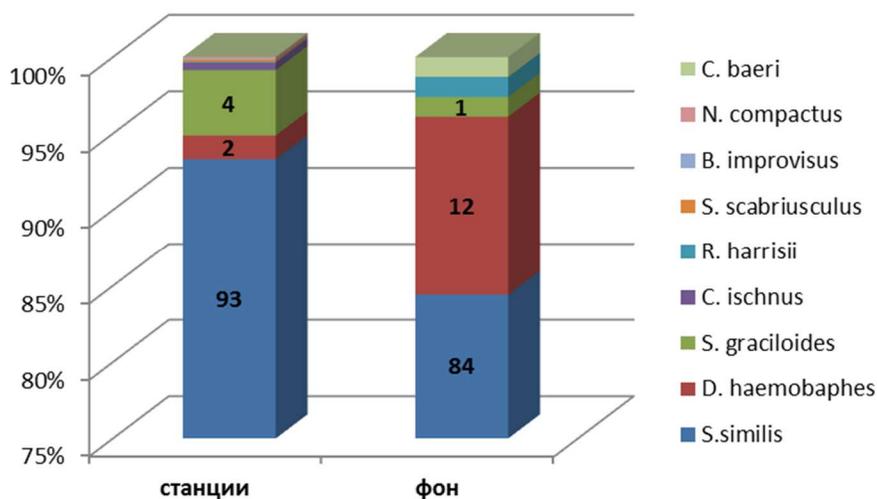


Рис. 3 Структура численности ракообразных в районе донных станций и на фоновом участке

Численность большинства других видов ракообразных на опытных участках была выше, чем на фоновых. Исключение составили два вида (*D. haemobaphes* и *R. harrisi*), численность которых на фоновых участках была выше, чем на опытных. При этом *D. haemobaphes* вносил заметный вклад (12%) в общую численность макрозообентоса на фоновых участках. Остальные виды ракообразных здесь были немногочисленны. На опытных участках заметный вклад в общую численность помимо *S. similis* внес еще один вид ракообразных из отряда *Cumacea* – *S. graciloides* (4%). Остальные виды были также немногочисленны.

Существенные различия обнаруживаются при сравнении видовых списков ракообразных, обитающих на опытных и фоновых участках. Так, в первом случае зарегистрировано 8 видов, а во втором описано только 5 видов.

На опытных участках было встречено 7 видов моллюсков, а на фоновых – только 5 видов. При этом численность моллюсков на фоновых участках бы-

ла в 10 раз выше, чем опытных. Из четырех видов, отличающихся сравнительно большой численностью особей, один вид доминировал на основном полигоне (*T. pallasii*), три вида доминировали на фоновом полигоне при этом на первом месте по численности стоял *Mytilaster lineatus*, на втором – *C. lamarcki*, а на третьем – *A. ovata*. Интересно, что все три вида являются вселенцами в Каспийское море.

Численность червей на фоновых участках также была выше, чем на опытных. Это было характерно как для *Oligochaeta*, так и для *Polychaeta*, причем последние были представлены единственным видом *H. diversicolor*. На обоих участках по численности преобладали *Oligochaeta*.

Средняя биомасса макрозообентоса на опытных участках составила 50 г/м², а на фоновых участках 60 г/м². При этом данные участки слабо отличались друг от друга по структуре биомассы макрозообентоса (рис.4).

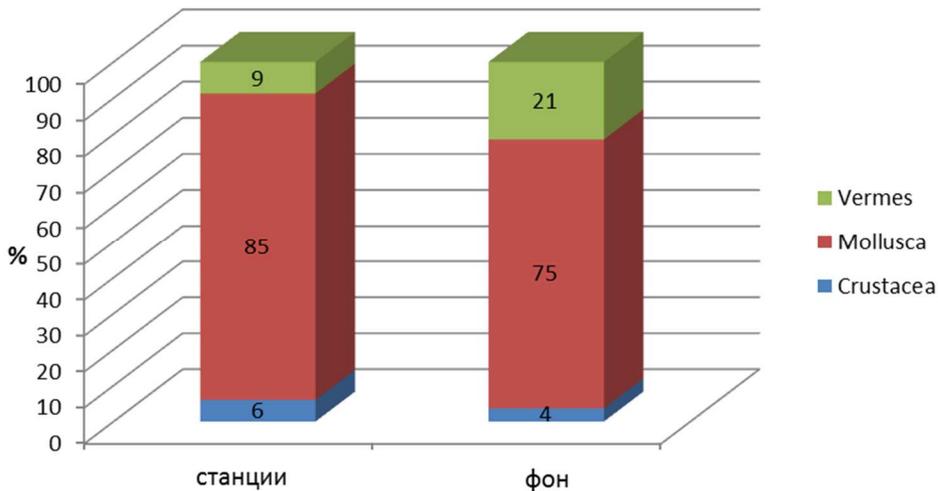


Рис. 4 Структура биомассы донной фауны в районе донных станций и на фоновых участках

На обоих участках по биомассе преобладали моллюски (75-85%), затем шли черви (9-21%) и ракообразные (4-6%). Также на обоих участках среди червей по биомассе доминировал *H. diversicolor*, среди ракообразных – *S. similis*. Биомасса моллюсков на двух рассматриваемых участках идентична

(42 и 44 г/м² на опытных и фоновых участках, соответственно), но при этом эти участки отличаются друг от друга по разнообразию моллюсков и структуре их биомассы.

Так, на опытных участках зарегистрировано 6 видов моллюсков против 4 на фоновых участках. Доминировавшая по биомассе на опытных участках *D. bardotdemarnyi*, отсутствовала на фоновом участке, однако этот факт, по всей видимости, объясняется ограниченностью числа проб в фоновом районе. На фоновых участках по биомассе, также как и по численности, преобладал *M. lineatus* (рис. 5).

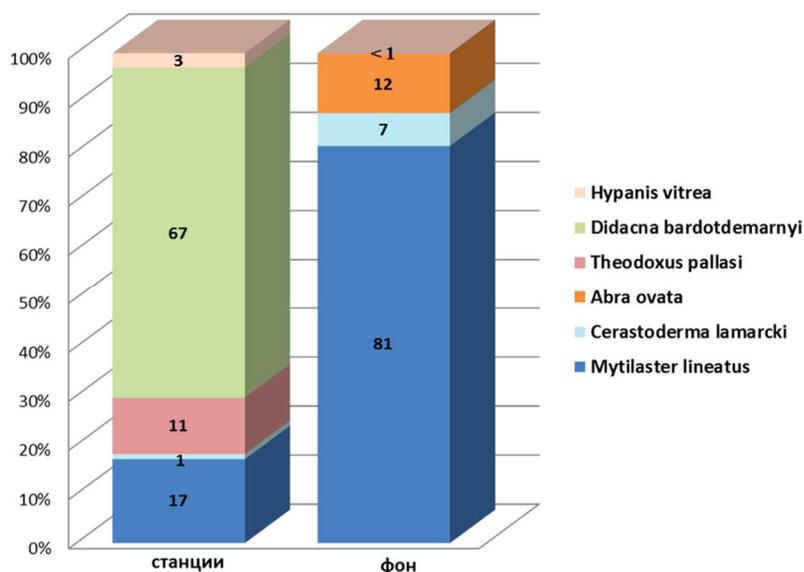


Рис. 5 Структура биомассы моллюсков в районе донных станций и на фоновых участках

Для массовых видов макрозообентоса, присутствующих на обоих участках, была рассчитана доля каждого из них в дыхании сообщества, что позволило установить дополнительные различия между этими участками по гидробиологическим условиям (рис. 6).

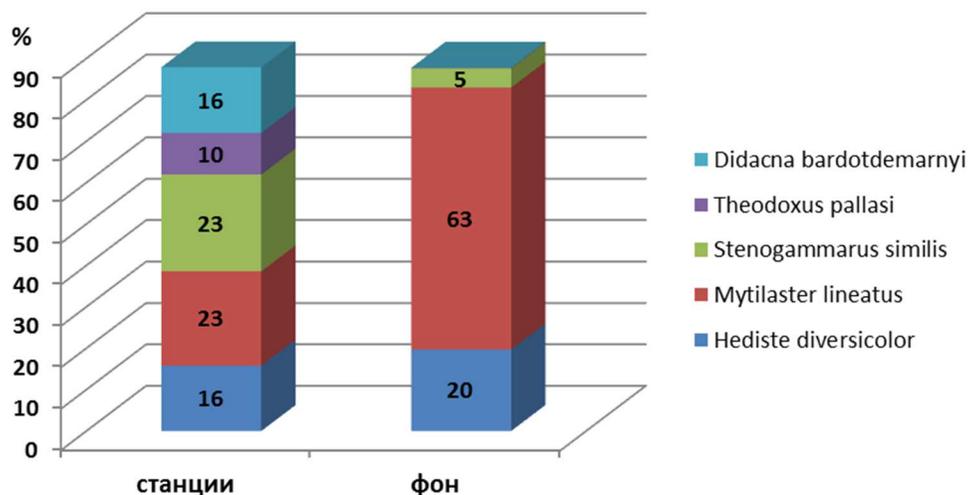


Рис. 6 Доли участия массовых видов макрозообентоса в дыхании сообщества в районе донных станций и на фоновых участках

Так, хорошо заметна роль *S. similis* и *M. lineatus* в метаболизме сообщества на опытных участках, на долю которых приходится 46% дыхания. Это сообщество дополняется полихетами *H. diversicolor* и моллюсками *D. bardotdemarnyi*. Доля этих четырех видов в дыхании сообщества макрозообентоса составляла 78%.

На фоновом участке наблюдается четкое доминирование *M. lineatus* в метаболизме сообщества, что обусловлено его высокой численностью и биомассой на рассматриваемых участках. Таким образом, здесь наблюдается устойчивое сообщество *M. lineatus*, дополненное полихетами *H. diversicolor*.

Заключение

Донная фауна на опытных участках отличается большим разнообразием по сравнению с фоновыми участками, но биомасса и, особенно, численность макрозообентоса на фоновых участках выше, чем на опытных. Большое разнообразие объясняется усложнением экотопа, обусловленным установкой донных станций.

Снижение численности и биомассы макрозообентоса на опытных участках, по нашему мнению, объясняется пищевой активностью бентосоядных рыб, главным образом, бычков (в основном *Neogobius melanostomus affinis* и *N. pallasii*), численность которых в районе расположений донных станций, по данным визуальных наблюдений на порядок выше, чем на фоновых участках. Отметим в связи с этим, что результаты исследований, посвященных питанию бентосоядных рыб в Северном Каспии, показывают важную, порой ведущую, роль этого фактора в динамике макрозообентоса [2,11,12].

В пользу нашего предположения свидетельствуют следующие факты:

1) численность и биомасса червей (как Polychaeta, так и Oligochaeta), являющихся объектами питания бентосоядных рыб, на опытных участках ниже, чем на фоновых;

2) численность и биомасса мелких ракообразных (*S. similis*, *S. graciloides*, *S. scabriusculus*), недоступных или малодоступных рыбам, на опытных участках выше, чем на фоновых. При этом численность крупных ракообразных (например, хорошо поедаемых рыбами *D. haemobaphes*) распределена противоположным образом.

3) численность и биомасса крупных мало используемых рыбами моллюсков, а также мелких, но хорошо защищенных гастропод *T. pallasii* на опытных участках выше, чем на фоновых, где преобладают мелкие, поедаемые рыбами моллюски (митилястер, церастодерма и абра).

Следует также отметить, что установка донных станций привела к изменению метаболизма донного сообщества. Заметную лепту в его дыхание теперь вносят несколько видов, тогда как на фоновом участке в дыхании, так же, как в численности и биомассе, лидирует только один вид.

С точки зрения стратегической задачи исследований, состоящей в мониторинге и оценке изменений экосистемы Северного Каспия в районах обустройства месторождений, важно отметить большее разнообразие, повышенную численность и биомассу ракообразных, отличающихся высокой чувстви-

тельностью к загрязнению, вокруг донных станций, установленных в непосредственной близости от нефтяной платформы. Этот факт указывает на хорошее качество среды обитания гидробионтов в этом районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов А.Ф. Интенсивность обмена у водных пойкилотермных животных // Общие основы изучения водных экосистем. – Л.: Наука, 1979. – С. 5-20.
2. Ардабьева А.Г., Тарасова Л. И., Малиновская Л.В. Кормовая база Северного Каспия в 2003 г. // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2003 г. – Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2004. - С. 112-123.
3. Водовский Н.Б. Влияние формы поверхности донных отложений на распределение сообществ зообентоса Северного Каспия // Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых «Комплексные исследования биологических ресурсов южных морей и рек». – Астрахань, 2010. – С 33-34.
4. Карпинский М.Г. Еще раз к вопросу о глубоководной донной фауне Каспия // Журнал Сибирского федерального университета. – 2010. – Вып. 3. – С. 322-324.
5. Карпинский М.Г. Экология бентоса Среднего и Южного Каспия. - М.: Изд-во ВНИРО, 1984. - 283 с.
6. Кучерук Н.В. Сублиторальный бентос Североперуанского апвеллинга // Экология фауны и флоры прибрежных зон океана. - М.: ИО АН СССР, 1985. - С. 14–31.
7. Кучерук Н.В., Савилова Т.А. Количественная и экологическая характеристика донной фауны шельфа и верхнего склона района Североперуанского апвеллинга // Бюлл. МОИП, Отд. биол. - 1985. – Т. 89. - Вып.4. - С. 59-70.
8. Малиновская Л. В. Роль вселенцев в формировании донной фауны Северного Каспия // Виды вселенцев в европейских морях России. – Мурманск, 2000. – С. 57–59.
9. Малиновская Л. В. Роль отдельных видов беспозвоночных в формировании бентоса Северного Каспия в современный период 2000–2001 гг. // Тез. Междунар. конф. «Современные проблемы океанологии шельфовых морей России». – Мурманск, 2002. – С. 150–151.
10. Малиновская Л.В., Зинченко Т.Д. Многолетняя динамика сообществ макрозообентоса Северного Каспия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2010. - Т. 12. - №1.- С. 179 – 184.
11. Чиженкова О.В., Камакин А.М. Зайцев В.Ф. Особенности распределения видов вселенцев северной части Каспийского моря // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. - 2010. - № 1. - С. 66 – 68.

12. Яблонская Е.А., Осадчих В.Ф., Винецкая Н.И. Кормовая база рыб Каспийского моря // Тр. ВНИРО. – 1975. – Т. 58. – С. 81–97.
13. Azovsky A.I., Chertoprood M.V., Kucheruk N.V. et al. Fractal properties of spatial distribution of intertidal benthic communities // Marine Biology. 2000, v. 136, pp. 581-590.
14. Azovsky A.I., Chertoprood E.S., Saburova M.A., Polikarpov I.G. Spatio-temporal variability of micro- and meiobenthic communities in a White Sea intertidal sandflat // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2004, v. 60, pp. 663-671.
15. Bjørgesæter A. Environmental effects of oil and gas exploration on the benthic fauna of the Norwegian Continental Shelf. An analysis using the OLF-database. Dissertation presented for the degree of PhD. University of Oslo, 2008, 50 p.
16. Olsgard F., Gray J.S. A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1995, vol. 122, pp. 277-306.

ОСОБЕННОСТИ БЕНТОФАУНЫ В РАЙОНАХ ЛИКВИДИРОВАННЫХ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ СКВАЖИН В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Н.Б. Водовский

Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

Ключевые слова: Северный Каспий; ликвидированные скважины; макрозообентос; видовой состав; численность; биомасса.

Keywords: Northern Caspian; abandoned wells; macrozoobenthos; species composition; abundance; biomass.

Abstract

In July 2015, “LUKOIL” Oil Company surveyed 20 abandoned appraisal wells at “Rakushechnaya”, “Shirotnaya”, “Sarmatskaya” and “Khvalynskaya” blocks to implement post-production control of the abandoned wells. 5 samples of macrozoobenthos were taken in the close proximity of each well with help of sampling of 0.01 m² of bottom sediments at the depth of 0.15 m. Background studies of 10 macrozoobenthos samples were carried out in the distance of 2-3 km from each group of wells. The analysis made it possible to characterize the bottom fauna and its changes in the areas where abandoned wells are located to assess the impact on the bottom communities.

Введение

Хозяйственная деятельность по разведке и добыче углеводородного сырья на шельфе моря должна сопровождаться на всех этапах экологическими исследованиями, направленными на оценку, контроль и минимизацию их воздействия на морскую среду [9]. Северный Каспий в этом отношении не стал исключением.

Для осуществления постпроизводственного контроля за состоянием ликвидированных скважин нефтяная компания «ЛУКОЙЛ» проводит ежегодные исследования состояния среды и биоты в непосредственной близости от каждой ликвидированной скважины. В рамках этих работ проводится сбор и обработка проб макрозообентоса для оценки воздействия ликвидированных скважин на морскую биоту [4].

Целью данной работы является анализ характеристик донной фауны в районах ликвидированных скважин и ее изменений для оценки их воздействия на донные сообщества.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на лицензионном участке «Северный» ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» в июле 2015 г. Было обследовано 20 поисково-оценочных ликвидированных скважин на структурах «Ракушечная», «Широтная», «Сарматская» и «Хвалынская». Средние глубины в месте расположения скважин структуры «Ракушечная» составляют около 7 м, «Широтная» – 12 м, «Сарматская» – 14 м, «Хвалынская» – 27 м.

В непосредственной близости от каждой скважины было отобрано 5 проб макрозообентоса при помощи водолазных пробоотборников с площадью захвата грунта 0,01 м² и глубиной погружения в грунт 0,15 м. Помимо этого, для каждой группы скважин на удалении 2-3 км была выполнена фоновая станция с отбором 10 проб макрозообентоса.

Разбор проб проводился по стандартным методикам, промывка проб осуществлялась через сито с диаметром ячеек 0,5 мм. Отобранные в результате промывки и отмучивания организмы зообентоса фиксировались 4 % раствором формальдегида для последующей видовой и размерно-весовой идентификации в лаборатории. Всего, таким образом, было отобрано и обработано 140 проб макрозообентоса.

Для определения значимости вида в сообществе использовали долю его дыхания в суммарном дыхании сообщества [2, 3, 5, 6]. На основе полученных данных проведен кластерный анализ в программе «Primer 6.0» для выявления устойчивых сообществ в составе макрозообентоса.

Для оценки нарушений в структуре сообществ макрозообентоса использовался метод ABC [10, 11] в модификации Meire-Dereu [8].

Результаты исследований и их обсуждение

1. Биологическое разнообразие донной фауны

В районе 20 ликвидированных скважин и 4 контрольных точек обнаружено 39 видов в составе макрозообентоса (табл. 1).

Таблица 1

Число видов макрозообентоса и показатели биологического разнообразия в районе исследований

Показатель	Весь район	Широтная	Ракушечная	Сарматская	Хвалынская
Crustacea	30	6	13	16	19
Mollusca	7	3	4	5	4
Vermes	2	2	2	2	2
Всего	39	11	19	23	25
Индекс Шеннона	2	1,73	1,62	2,53	2,74
Индекс Симпсона	0,35	0,42	0,44	0,25	0,21

Наибольшим разнообразием отличались ракообразные, к которым относились 80 % всех обнаруженных видов. Моллюски характеризовались значительно меньшим разнообразием (7 видов).

О полноте раскрытия видового состава можно судить по данным, приведенным на рис. 1. На нем видно, что кривая накопления видов практически выходит на плато на уровне собранного материала (24 станции), что, хотя и свидетельствует о наличии в пределах исследованных акваторий незарегистрированных видов, но позволяет отнести их к группе редко встречающихся.

Средний уровень биологического разнообразия сообществ, оцененный по индексам Шеннона и Симпсона, составляет 2 и 0,35 соответственно (табл. 1). При этом наблюдаются значительные колебания, связанные, по-видимому, с высоким уровнем неоднородности абиотических факторов, наблюдаемых на полигоне. Максимальный уровень биоразнообразия наблюдался в районе скважины «2 Западно-Сарматская» (3,06 и 0,16 соответственно). Минимум разнообразия видов наблюдается в районе скважины «8 Ракушечная». В пределах групп максимальное разнообразие характерно для группы скважин «Хвалынская», минимальное – для групп «Широтная» и «Ракушечная». На

последних двух структурах уровень биологического разнообразия был ниже среднего по полигону, но выше или близок наблюдаемому на фоновых станциях.

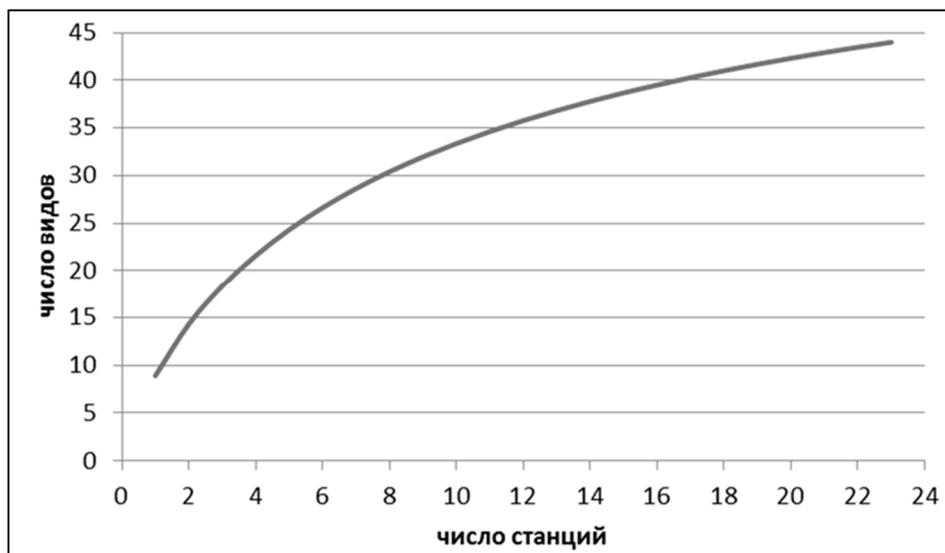


Рис. 1 Изменение числа видов по мере увеличения количества станций

К массовым видам, отмеченным для всех групп ликвидированных скважин можно отнести только 3 вида: *Hediste diversicolor*, *Mytilaster lineatus*, *Niphargoides similis*, а также малощетинковых червей. Для этих животных характерна встречаемость по станциям на уровне выше 70 %. При этом видов, которые присутствовали бы на всех исследованных скважинах, не зарегистрировано. Максимальная встречаемость характерна для *H. diversicolor* (88%) и *M. lineatus* (80%).

Наименьшее число видов донных животных отмечено для структуры «Широтная» – 11 видов). Шесть из них относится к ракообразным, три вида моллюсков и как минимум два вида червей (табл. 1). К массовыми видами, найденным на всех скважинах в пределах структуры относятся: *H. diversicolor*, *M. lineatus*, *N. similis*, *Theodoxus pallasii* и *Oligochaeta*. Для них характерна 100 % встречаемость в пределах всего полигона. Количество ви-

дов, зарегистрированных в районе каждой скважины, варьируется в пределах от 5 до 9. Высокий уровень биологического разнообразия отмечен в районе ликвидированной скважины «5 Широтная», где к массовым видам добавились *Gammarus pauxillus* (отряда *Amphipoda*) и моллюск *Abra ovata*, встречающиеся в пределах группы скважин «Широтная» только в этой точке. Индекс биоразнообразия Шеннона на акватории группы «Широтная» варьировал в пределах 1,34-2,12, индекс Симпсона 0,34-0,53.

На структуре «Ракушечная» было отмечено 19 видов, из которых к массовым можно отнести пять. При этом массовые виды, характерные для этой акватории (за исключением *A. ovata*), были также характерны для всего полигона исследований. Среднее количество видов на станцию составляет 6,4 при разбросе значений от 4 до 9 видов. Индекс биоразнообразия Шеннона на акватории группы «Ракушечная» менялся в пределах 0,7 – 2,1, индекс Симпсона 0,22 – 0,8. Значительные колебания показателей биоразнообразия связаны, по-видимому, как с большим количеством точек наблюдения, так и с разнообразием условий среды в пределах этой группы скважин.

Донная фауна в районе расположения группы ликвидированных скважин «Сарматская» отличалась высокими показателями биоразнообразия: здесь обитали 23 вида донных животных, большая часть которых (16 видов) относится к классу *Crustacea*. Среди них наиболее массовым были представители отряда *Amphipoda* – 11 видов. Моллюски также характеризовались относительно высоким разнообразием: их насчитывалось пять видов. К массовым видам, характерным для донной фауны в этом районе, можно отнести 7 видов: червя *H. diversicolor*, моллюсков *Didacna barbotdemarnyi* и *M. lineatus*, ракообразных *Balanus improvisus* и *Gammarus ischnus*, *G. behningi* и *N. similis*. Для перечисленных видов характерна встречаемость в пределах группы скважин на уровне 75 – 100 %. Индекс биоразнообразия Шеннона на акватории структуры «Сарматская» варьировал в пределах 1,9 – 3, индекс Симпсона 0,22 – 0,33.

В районе ликвидированных скважин на структуре «Хвалынская» было зарегистрировано максимальное для всего полигона число видов. Здесь, в районе трех ликвидированных скважин и одной контрольной станции, обитали как минимум 25 видов донных животных. Для этого района, так же как и для предыдущего, было характерно высокое разнообразие ракообразных – 19 видов. Моллюски были представлены 4 видами, черви – двумя. Обращает на себя внимание факт обитания в районе одной из ликвидированных скважин представителей подкласса *Oligochaeta*, характерных для опресненных участков Каспийского моря.

Среди массовых видов (с уровнем встречаемости не менее 75 %) также преобладают ракообразные: *B. improvisus*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *Amatilina cristata*, *Corophium chelicorne*, *C. monodon*, *Schizorhynchus bilamellatus*. Моллюск *M. lineatus*, один из массовых видов, представлен и в данном районе, его встречаемость – на уровне 80 %. Индекс биоразнообразия Шеннона на структуре «Хвалынская» имеет небольшой диапазон колебаний: 2,5 – 2,9, индекс Симпсона: 0,18 – 0,24.

2. Численность донной фауны в районах ликвидированных скважин

Средняя численность донной фауны в районе 20 ликвидированных скважин составляла в исследуемый период 4500 экз/м², с изменениями от 200 до 22000 экз/м² (табл. 2). Минимальные значения зарегистрированы для структуры «Широтная», а также в районе ликвидированной скважины «2 Ракушечная». Наибольшая численность донной фауны отмечена в районе скважины «1 Сарматская» (22000 экз/м²).

Основу численности зообентоса в большинстве случаев на исследуемой акватории составляют ракообразные (67 – 99 %). Иная картина наблюдается в районе структуры «Ракушечная»: здесь основу численности (65 %) составляют черви, представленные на 90 % *H. diversicolor*, а ракообразные составляют не более 28 % общей численности. Разброс значений тотальной численности

в пределах этой группы скважин достаточно велик и составляет от 200 до 4600 экз/м². Столь значительные колебания определяются неравномерностью распределения численности двух массовых видов, характерных для рассматриваемого района: *H. diversicolor* и *N. similis*.

Таблица 2

Численность таксономических групп в составе бентофауны в районе ликвидированных скважин (экз/м²)

Класс	Широтная	Ракушечная	Сарматская	Хвалынская
Crustacea	1000	650	7000	9900
Mollusca	160	180	1050	110
Vermes	380	1500	220	80
Всего	1500	2300	8300	10000

Структура «Широтная» при тех же доминирующих видах в составе донной фауны отличается иной структурой численности и соотношением массовых видов. Так доля *H. diversicolor* составляет около 20 % численности, а на *N. similis* приходится до 60 % численности.

Вклад ракообразных в общую численность в районе ликвидированных скважин структуры «Сарматская» еще выше. Они составляют 84 % от общего числа донных животных. В то же время видовой состав доминантов по численности отличается от всех остальных групп скважин. Здесь преобладают *Gammarus behningi* (35 % общей численности зообентоса), *G. ischnus* (15 %) и *N. similis* (10 %). На отдельных скважинах в пределах рассматриваемой группы (скважина «1 Сарматская») наблюдаются высокое обилие *G. behningi*, – его численность доходит до 10000 экз/м², что составляет около половины всех организмов в составе зообентоса. Интересен факт отсутствия моллюска *M. lineatus* на фоновой станции, в то время как в составе донной фауны вокруг ликвидированных скважин его доля достигает 10 % численности всего бентоса.

Численность различных систематических групп сильно меняется при переходе от одной группы скважин к другой. При этом наблюдается устойчи-

вый тренд увеличения доли ракообразных и снижения доли червей с увеличением глубины (рис. 2).

В то же время, для моллюсков наблюдается слабое увеличение относительной численности до глубины 14 м (на структуре «Сарматская»), затем резкое падение до 1 % в районе расположения скважин структуры «Хвалынская».

Наибольшее количество ракообразных наблюдается в районе ликвидированных скважин на структуре «Хвалынская»: они составляют до 99 % всей численности бентоса. Видовой состав доминантов по численности здесь уникален. Свыше половины численности приходится на четыре вида рода *Corophium*.

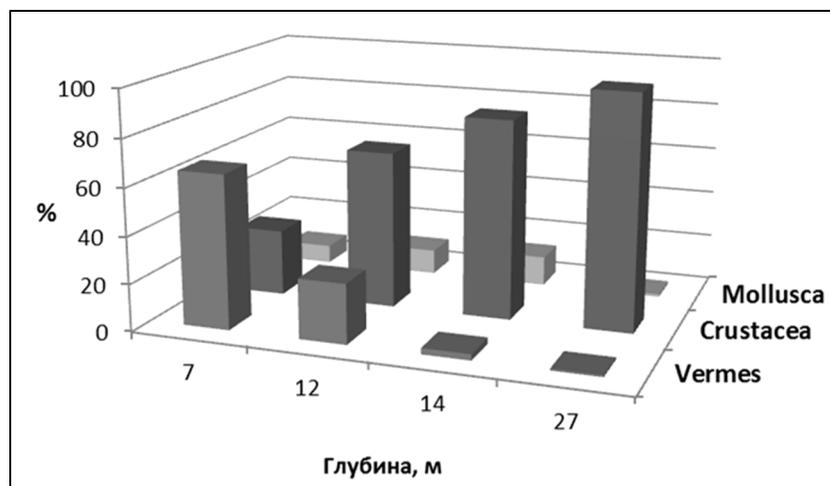


Рис. 2 Изменение относительной численности различных систематических групп в составе макрозообентоса в районах ликвидированных скважин при изменении глубины

Среди них выделяется *C. chelicorne* численность которого достигает 8000 экз/м². Средняя доля этого вида в образовании численности донной фауны составляет 33 %. Второй по численности вид *C. monodon* образует в среднем 12 % численности зообентоса. Аналогично району группы скважин «Сарматская», на фоновой станции для группы скважин «Хвалынская» отсут-

ствует *M. lineatus*, стабильно встречающийся в районе ликвидированных скважин.

3. Биомасса донной фауны в районах ликвидированных скважин

Биомасса донной фауны в районе 20 ликвидированных скважин составляет в среднем 74 г/м^2 , меняясь в диапазоне от 3 до 750 г/м^2 . Минимальное значение отмечено для структуры «Широтная» (табл. 3), здесь же зарегистрирован минимум биомассы всего района исследований (3 г/м^2 , скв. «3 Широтная»). Наибольшая биомасса донной фауны наблюдалась в районе скважины «1 Сарматская» (750 экз/м^2).

Таблица 3

Биомасса таксономических групп в составе бентофауны в районе ликвидированных скважин (экз/м^2)

Классы	Широтная	Ракушечная	Сарматская	Хвалынская
Crustacea	0,6	2	10,6	29
Mollusca	4	22,4	230	14,5
Vermes	2,5	15,2	0,8	2,8
Всего	7	40	240	46

Четкого тренда изменений биомассы таксономических групп в зависимости от глубины не наблюдается (рис. 3). Тем не менее, стоит отметить значительное увеличение доли ракообразных и уменьшение относительной биомассы моллюсков в районе с наибольшей глубиной (структура «Хвалынская»).

Биомассу донной фауны в районе расположения ликвидированных скважин группы «Широтная» на 35% составляют черви *H. diversicolor* и на 32% моллюски *M. lineatus*. Несмотря на относительно высокую долю червей, основу биомассы (57%) образуют моллюски. Помимо *M. lineatus* это: *Abra ovata* и *Theodoxus pallasii*, составляющие 4% и 19% биомассы зообентоса соответственно. Доля доминирующих по численности ракообразных не превышает 9% общей биомассы донных животных.

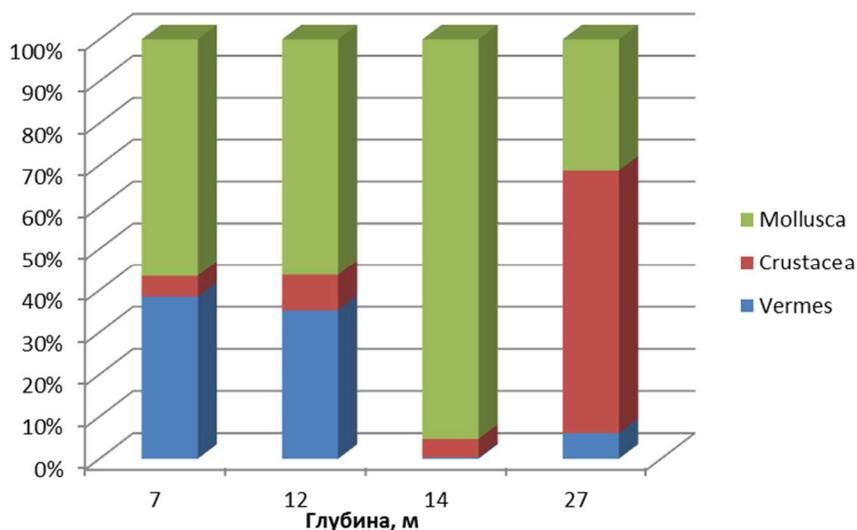


Рис. 3 Изменение относительной биомассы различных систематических групп в составе макрозообентоса в районах ликвидированных скважин в зависимости от глубины

Сходная структура биомассы наблюдается в районе структуры «Ракушечная». Здесь моллюски также составляют 57% массы всего бентоса. Роль червей тоже значительна – 38%. Ракообразные составляют не более 5%. Однако, несмотря на такое сходство, состав доминирующих по биомассе видов на «Ракушечной» совсем другой. Так, доля *M. lineatus* не превышает 2,5 %, а основу биомассы (46%) образует моллюск *A. ovata*. В целом, для структуры «Ракушечная» характерно доминирование моллюсков инфауны. Они составляют 54% общей биомассы зообентоса. За счет этих моллюсков биомасса здесь в 6-7 раз выше аналогичных показателей зарегистрированных на структуре «Широтная».

Наибольшие значения биомассы макрозообентоса характерны для группы скважин «Сарматская». Биомасса в этом районе составляет в среднем 240 г/м², меняясь в диапазоне от 35 до 750 г/м² (скв. «1 Сарматская»). Столь большая величина биомассы в районе скважины «1 Сарматская» обусловлена обилием моллюсков *M. lineatus* (биомасса достигает 83 г/м²) и *D. barbotdemarnyi* (620 г/м²). Эти два вида составляют на структуре «Сармат-

ская» до 87 % биомассы бентоса. Вклад всех моллюсков в биомассу сообщества макрозообентоса оценивается в 96 %.

Структура биомассы донной фауны на структуре «Хвалынская» отличается от других тем, что доля моллюсков здесь не превышает 32 %, а основу биомассы составляют ракообразные (63%). Некоторые доминанты по численности играют существенную роль в образовании биомассы, например, *S. chelicorne* (17%), крупные амфиподы *Dikerogammarus haemobaphes* (17%) и *Amatilina cristata* (до 9%). Из-за низкого обилия крупных моллюсков биомасса донной фауны здесь не велика, всего 46 г/м².

4. Анализ сходства сообществ

Для анализа сходства сообществ в районах ликвидированных скважин был выполнен расчет долей каждого вида в общем метаболизме сообщества и проведена кластеризация, результаты которой представлены на рис. 4.

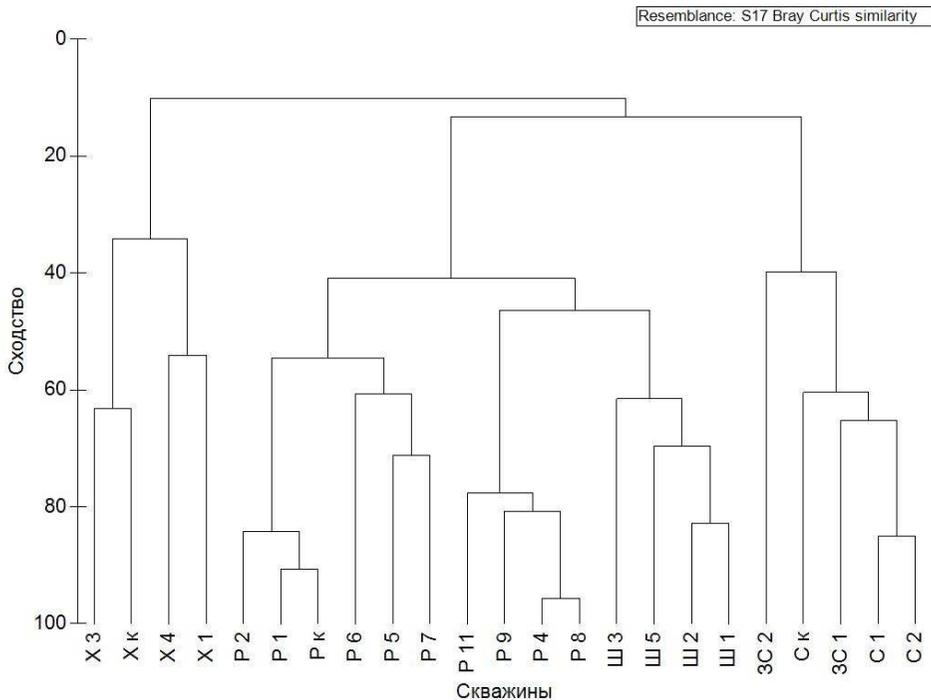


Рис. 4 Дендрограмма сходства сообществ зообентоса ликвидированных скважин

Дендрограмма показывает кластеризацию сообществ макрозообентоса в районах ликвидированных скважин, проведенную по индексу Bray-Curtis [7]. Согласно расчетам, более всего от других отличались станции на структуре «Хвалынская», что, по-видимому, объясняется их расположением в глубоководной зоне с наибольшей соленостью вод.

Акватория структуры «Ракушечная» характеризовалась наиболее высокой вариабельностью условий обитания донных биоценозов, в связи с чем там было выделено 3 кластера при уровне сходства 60%.

Результаты оценки нарушений структуры сообществ макрозообентоса по методике АВС представлены на рис. 5.

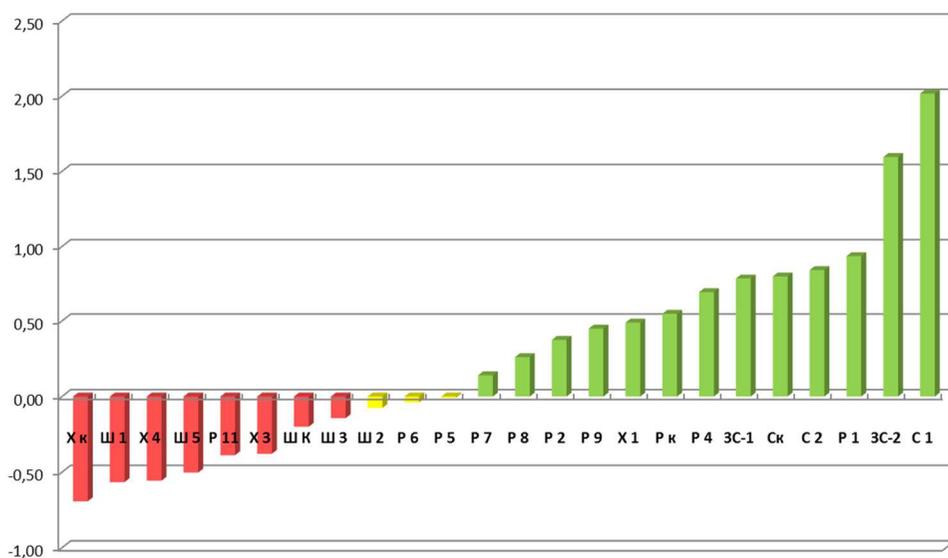


Рис. 5 Результаты анализа нарушений структуры сообществ макрозообентоса по методике АВС (красным цветом выделены нарушенные сообщества, желтым – переходные, зеленым – устойчивые, ненарушенные сообщества)

Из 24 наблюдаемых точек ненарушенная структура сообществ зообентоса характерна для 12 ликвидированных скважин и двух фоновых станций (рис. 5). Бентофауна трех ликвидированных скважин характеризуется слабо нарушенной структурой («2 Широтная», «5 Ракушечная», «6 Ракушечная»). Примечательно, что нарушения в структуре сообществ донных животных за-

регистрированы и на двух фоновых станциях (обозначены на рисунке «Хк» - фоновая станция структуры «Хвалынская», «Шк» - фоновая станция структуры «Широтная»).

Заключение

Проведенные исследования выявили особенности донной фауны в районах ликвидированных скважин. В районе структуры «Ракушечная» наблюдается снижение характеристик биоразнообразия относительно фона, однако наблюдаемый диапазон колебаний индексов биологического разнообразия вполне укладывается в пределы естественной изменчивости этих показателей. В районах скважин на остальных структурах показатели биоразнообразия донной фауны были даже выше, чем на фоновых участках.

Обилие и биомасса донной фауны в районе ликвидированных скважин в большинстве случаев превышают фоновые показатели. Такая ситуация характерна для всех групп обследованных скважин.

Высокая численность доминирующих видов, относящихся к массовым формам Каспийского моря на акватории группы скважин «Ракушечная» (*N. diversicolor* и *N. similis*) определяется близостью этого района к устьевому взморью р. Волги, отличающемуся наибольшей биопродуктивностью [1].

Отсутствие или малая численность прикрепленного моллюска *M. lineatus* на фоновых станциях при почти 100 % встречаемости в непосредственной близости от ликвидированных скважин свидетельствует о благоприятных условиях обитания этого моллюска в районе ликвидированных скважин.

Донная фауна в непосредственной близости от 8 ликвидированных скважин характеризуется нарушенной структурой. Об этом свидетельствует преобладание в составе макрозообентоса относительно мелких форм с довольно высокой скоростью размножения, с выраженной способностью к колонизации, с высокой, но нестабильной численностью. Это отражается в отрицательных значениях индекса ABC.

В районе трех скважин («2 Широтная», «5 Ракушечная», «6 Ракушечная») наблюдается состояние неустойчивого равновесия или восстановление сообществ бентофауны после перенесенного стресса, характеризующееся значениями индекса АВС около нуля. При этом происходит перестройка размерной структуры, однако направленность этих изменений (в сторону нарушений или в противоположном направлении) можно определить только при более длительных наблюдениях.

Выявленная на двух фоновых станциях нарушенная структура зообентоса свидетельствует о влиянии факторов, не связанных с воздействием скважин и определяющих общие тенденции изменения донной фауны исследованной части Каспийского моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. - М.: Наука, 1986. – 262 с.
2. Кучерук Н.В. Сублиторальный бентос Североперуанского апвеллинга // Экология фауны и флоры прибрежных зон океана. - М.: ИО АН СССР, 1985. - С. 14–31.
3. Кучерук Н.В., Савилова Т.А. Количественная и экологическая характеристика донной фауны шельфа и верхнего склона района Североперуанского апвеллинга // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1985. – Т. 89. - Вып.4. - С. 59-70.
4. Ушивцев В.Б., Водовский Н.Б., Галактионова М.Л. и др. Опыт исследования устьев ликвидированных поисково-разведочных скважин в Каспийском море // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. - № 5. – С. 37-44.
5. Azovsky A.I., Chertoproud M.V., Kucheruk N.V. et al. Fractal properties of spatial distribution of intertidal benthic communities // Marine Biology. 2000, v. 136, pp. 581-590.
6. Azovsky A.I., Chertoproud E.S., Saburova M.A., Polikarpov I.G. Spatio-temporal variability of micro- and meiobenthic communities in a White Sea intertidal sandflat // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2004, v. 60, pp. 663-671.
7. Bray J. R., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin // Ecol. Monogr. 1957, v. 27, pp. 325 – 349.
8. Meire P.M., Dereu J. Use of the abundance/biomass comparison method for detecting environmental stress: some considerations based on intertidal macrozoobenthos and bird communities // J. Appl. Ecol. 1990, v. 27, № 1, pp. 210-223.
9. OGP. Offshore Environmental Monitoring for the Oil & Gas Industry. Report No. 457. 2012, 32 p.

10. Warwick R. M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities // *Marine Biology*. 1986, v. 92, pp. 557–562.
11. Warwick R. M., Pearson T. H., Ruswahyuni. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method // *Marine Biology*. 1987, v. 95, pp. 193–200.

АНАЛИЗ ПРОХОЖДЕНИЯ НЕРЕСТОВЫХ МИГРАЦИЙ МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ НИЖНЕЙ ЗОНЫ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ В 2013-2015 ГОДАХ

К. В. Литвинов^{1,2}, С. А. Подоляко²

¹Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

²ФГБУ «Астраханский государственный биосферный заповедник», г. Астрахань, Набережная реки Царев, 119

Ключевые слова: дельта Волги; паводок; нерест рыб; нерестовые миграции.

Keywords: the Volga delta; flooding; spawning fish; spawning migrations.

Abstract

The article describes the decline of the basic characteristics of the lower reaches of the Volga delta flood in 2013-2015. The duration of the floods was reduced by 4 times (from 123 to 31 days). The starting date of flooding changed significantly in 2014-2015. This resulted in changes in the timing, intensity of spawning migration of fish. Semianadromous fish species, which populations breed once a year, were more affected by these changes in hydrologic regime than fluvial ones, which populations spawn portion by portion.

Введение

Согласно классификации, предложенной А.Ф. Белевич [2], дельта Волги делится на верхнюю, среднюю, нижнюю и култучную зоны. Нижняя зона играет существенную роль, как для естественного воспроизводства массовых видов рыб, так и для их транзита в верхнюю и среднюю зоны дельты и Волго-Ахтубинскую пойму. Ключевыми факторами, влияющими на эффективность воспроизводства массовых промысловых видов рыб в дельте, являются доступность нерестилищ для производителей в период нерестовой миграции и продолжительность периода обводнённости пойменных массивов, которые определяются гидрологическими условиями. Анализ связи сроков и интен-

сивности прохождения нерестовых миграций с гидрологической обстановкой позволит, на наш взгляд, прояснить некоторые особенности воспроизводства массовых видов рыб в 2013-2015 гг.

В различных зонах дельты гидрологическая обстановка формируется неодинаково. Если в верховьях дельты (верхняя и средняя зона) гидрологический режим формируется только за счёт волжского стока, то в низовьях Волги (нижняя, култучная зоны дельты) гидрологический режим в период повышения уровня Каспийского моря (1978-2005 гг.) формировался под влиянием двух факторов: подпорного влияния уровня моря и весенне-летнего половодья в дельте Волги. Подпорное влияние Каспия на уровенный режим нижней и култучной зон дельты прекращается при снижении уровня моря до отметки ниже минус 27,00 м) [13]. В 2010–2013 гг. среднегодовой уровень моря упал на 38 см (с -27,25 м до -27,63 м БС), и влияние уровенного режима моря на гидрологию нижней зоны дельты перестало проявляться с 2011 г. [5-10]. В последние годы гидрологический режим нижней зоны дельты Волги формируется только за счёт волжского стока.

Утрата подпорного эффекта уровня Каспийского моря усилила процесс сокращения площадей пойменных нерестилищ (полоев) – заливных лугов, являющихся основными нерестовыми участками массовых полупроходных видов рыб в нижней зоне дельты Волги.

Для обеспечения возможности проникновения производителей на поймы минимальная глубина в местах захода должна составлять 5–10 см. В то же время, при превышении уровня над минимальной высотой бровок прирусловых валов более чем на 40 сантиметров наблюдается возникновение речного течения через затопленные острова, единого с течением в постоянных водотоках [3], что существенно сокращает время стояния пойменных нерестилищ. Приток больших объемов холодной воды негативно сказывается на развитии молоди и скорости воспроизводства кормовых организмов [4]. Таким образом, для обеспечения эффективного нереста рыб и благоприятных сроков

развития молоди в полоях оптимальной является амплитуда уровня воды в протоках на 5–35 см выше минимальной высоты бровок прирусловых валов (эта величина была получена по данным многолетних наблюдений за процессом формирования полоев нижней зоны дельты Волги, проводившихся в Астраханском государственном заповеднике в 1965–2012 гг.).

В западной части дельты, имеющей большие уклоны поверхности в сторону Каспийского моря, минимальная высота бровок прирусловых валов протока Быстрая в нижней зоне Дамчикского участка Астраханского государственного заповедника соответствует уровню -24,95 м БС. Для полоев по берегам протока Быстрая оптимальные значения амплитуды заливания полоев укладываются в диапазон уровней с -24,95 до -24,55 м БС.

Еще одним фактором успешного воспроизводства является продолжительность стояния полоев - период от начала заливания полоев до момента их отшнурования от постоянных водоёмов (протоков или ериков) при спаде половодных уровней. Полои формируются постепенно, в течение нескольких дней, путём переливания воды из протока через мелкие ерики (в этот период уровень воды в полоях, как правило, ниже, чем в протоке). Обратный процесс наблюдается на спаде половодья. Отшнурование полонных нерестилищ, не связанных напрямую с крупными водотоками, может завершиться через несколько недель после падения уровня воды в водотоке.

Длительность нахождения производителей рыб на полонных нерестилищах различна и зависит от продолжительности стояния полоев и типа нерестовой стратегии, характерной для данного вида. Под типом нерестовой стратегии понимается совокупность биологических, биоэкологических и этологических особенностей рыб, связанных с их воспроизводством на полонных нерестилищах низовьев дельты Волги.

В качестве объектов исследования для данной работы были выбраны наиболее массовые виды рыб (для каждого типа нерестовых стратегий):

1) вобла *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) – фитофильный полупроходной (анадромный) разово нерестующий вид. Обитает в море, заходит на пойменные нерестилища низовьев дельты Волги на короткий период для одновременного нереста на мягкой луговой растительности.

2) обыкновенная краснопёрка *Scardinius erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758) – фитофильный туводный (потамодромный) порционно нерестующий вид. Обитает в водоёмах низовьев дельты, заходит в поймы для икрометания первой порции икры на растительности, повторный нерест проходит в постоянных водоёмах.

3) речной окунь - *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758) – фитофильный туводный (потамодромный) разово нерестующий вид. Обитает в водоёмах низовьев дельты, заходит в поймы для нереста. Период икрометания продолжителен. В качестве нерестового субстрата может использоваться как мягкая, так и жесткая растительность.

Целью данной работы является оценка миграционной активности рыб с разными типами нерестовых стратегий на Дамчикском участке Астраханского заповедника в годы с различным гидрологическим режимом. Для достижения этой цели был проведен анализ данных о гидрологических условиях в низовьях дельты Волги в 2013-2015 гг. на примере Дамчикского участка Астраханского заповедника, а также о динамике численности производителей речного окуня, краснопёрки и воблы на путях нерестовой миграции. Кроме того, была проанализирована миграционная активность рыб в годы с различной водностью Волги в период половодья (апрель – июль).

Материалы и методы исследований

Численность и соотношение видов рыб, сроки и продолжительность миграции определяли по данным контрольных ловов, которые проводили еженедельно с третьей декады марта по третью декаду июля в 2013-2015 гг. на

двух многолетних станциях Дамчикского участка Астраханского государственного заповедника в западной части нижней зоны дельты Волги.

Стации располагались в протоке Быстрая и ерике Лотосный, служащих основными путями миграции производителей в пределах западного кластера Астраханского заповедника. В течение трех лет было проведено 317 сетепостановок, в том числе 122 сетепостановки в 2013 г., 97 - в 2014 г. и 98 - в 2015 г. Единовременно устанавливался порядок из 6 сетей с ячейей 28, 36, 40 и 55 мм.

При анализе миграционной активности использовалось значение относительной численности в улове. Этот показатель характеризует число пойманных рыб конкретного вида на приложенное усилие (сетепостановку), в экземплярах на сеть. Расчет показателя осуществлялся подекадно. Для определения сроков нереста у отловленных особей определялся пол и стадия зрелости половых продуктов по [11].

Данные по прохождению половодья и гидрологическому режиму в полях заповедника за 2013-2015 гг. основаны на сведениях гидропостов Астраханского государственного заповедника с привлечением общедоступных данных Астраханского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета. Первичный анализ и сбор сведений проведен н.с. Благовой Ю.А.

Результаты исследований и их обсуждение

Степень соответствия сложившихся условий требованиям воспроизводства рыб в дельте Волги в 2013–2015 гг. была различной. Так, 2013 г. следует отнести к средним по водности годам, в то же время 2014 можно охарактеризовать как маловодный с позиции оценки стока Волги в половодье. Водность же 2015 года в период паводка была минимальной за всю историю гидрологических наблюдений в Астраханском заповеднике, которые ведутся с 1947 г. [1].

Общегодовой объём стока Волги у Волгограда в 2013 г. был выше среднесуточного значения (за период 1959-2013 гг.) на 18 км^3 и составлял 271 км^3 . Сток Волги в половодье был равен 140 км^3 . Максимальный уровень воды наблюдался с конца третьей декады мая до конца июня (41 день) и составлял 309 см. Окончание половодья пришлось на 28 июля. Общая продолжительность половодья составила 122 дня. Формирование покоев началось 25 апреля, отшнурование от протоков произошло 22 июня, продолжительность стояния покоев составляла 59 дней [12].

Из графика половодья 2013 г. можно заметить, что «рыбохозяйственная полка» была выдержана согласно минимальным требованиям к ней по высоте и продолжительности (рис. 1).



Рис. 1 График прохождения половодья 2013 г. (по данным рейки в пр. Быстрой)*

*Здесь и далее: вертикальная ось слева – уровенные значения пр. Быстрой: отметка 305 – уровень начала залития полойных нерестилищ (соответствует -24,95 БС), 340 – уровень «перелива» над бровками прирусловых валов; вертикальная ось справа – относительная численность вида в улове (экз./сеть), среднее значение за декаду (сплошная линия – вобла, штрих-пунктир – речной окунь, точечная – обыкновенная красноперка)

Попуски с плотины Волгоградской ГЭС оказались разделены на две неравномерные фазы подъема уровней. Пик первого подъема оказался ниже бровок прирусловых валов островов дельты и был достигнут в первой декаде апреля.

Ступенчатый характер графиков частоты встречаемости рыб в контрольных сетных уловах обусловлен расчетом среднедекадного значения этого показателя.

В 2013 г. подход косяков производителей к местам лова продолжался с середины марта до первых чисел мая. Появление полупроходных видов (воблы) в уловах в районе проведения исследований отмечалось со второй декады апреля. При благоприятных для нереста уровнях половодья нерест проходит «по первой воде» - непосредственно по мере залития нерестилищ.

В 2013 г. эти процессы проходили в первую декаду мая, сразу после пика встреч в сетных уловах. К концу первой декады в протоках появились и первые отнерестившиеся особи. Нерест и скат полупроходных видов крайне скоротечен и к третьей декаде мая в уловах отмечались лишь единичные особи воблы. Максимальное значение частоты встречаемости в уловах 2013 г. составило 5,6 экз./сеть в период подхода производителей к местам нереста.

Начавшийся в первой декаде мая нерест красноперки стал массовым к второй-третьей декаде мая, после прогрева воды. Со второй декады мая доля красноперки в уловах вновь начала расти. В уловах преобладали особи, отнерестившие первую порцию, либо (в случае молодых особей) - единственную порцию икры, и скатывающиеся в авандельту для нагула. Скат красноперки продолжался третью декаду мая – первую декаду июня.

В относительно благоприятных условиях 2013 г. отмечался ранний подход производителей речного окуня к районам нереста. Пиковые значения встреч в уловах отмечены в марте. При этом появление в улове крупных особей (700-800 г), не наблюдавшееся в нижней зоне в другие периоды свидетельствовало о подходе части популяции, нагуливающейся в авандельте. В

период, предшествующий среднемноголетним срокам начала половодья (2-3 декады апреля), частота встреч речного окуня существенно снижалась, что было обусловлено распределением производителей по ерикам и транзитному проходу в верховья дельты.

Массовый нерест речного окуня в нижней зоне дельты (по данным вскрытий) обычно проходит во второй-третьей декаде мая, однако после его прохождения существенного роста числа встреч в уловах не отмечается, что, скорее всего, объясняется продолжением нагула производителей на полонных нерестилищах. В пользу этого утверждения свидетельствует совпадение пика встречаемости речного окуня в сетных уловах с падением уровня вод ниже отметки «305», что подтверждает его массовый скат с полонных нерестилиц лишь незадолго до отшнурования.

График прохождения половодья 2014 г. отличался значительным отклонением от среднемноголетних показателей. В апреле-июле среднемесячные расходы воды у Волгограда колебались в пределах от 5430 м³/с (июль) до 17100 м³/с (май) (в предыдущем году расходы составляли 5640-19800 м³/с). Продолжительность максимальных сбросов воды (25000 м³/с и выше) в 2014 г. составила лишь 5 дней. Такой режим стока воды р. Волги определил максимальный уровень в водотоках дельты, меньший по сравнению со среднемноголетними значениями. Подъем половодных уровней воды в 2014 г. начался 27 апреля, на месяц позже, чем в предыдущем году.

Залитие полонных нерестилиц началось во второй декаде мая, что практически совпало с пиковыми значениями уровней. Наибольшая интенсивность подъема зафиксирована в конце апреля - начале мая. Максимальный уровень воды на пр. Быстрая у 3-го кордона наступил 15 мая и составил 298 см (в 2013 г. – 317 см). Продолжительность стояния максимальных уровней, превышающих уровни залития полонных нерестилиц (305 см и выше), составила 9 дней. Общая продолжительность половодья (от меженного до межен-

ного уровня) составила 67 дней, в то время как в 2013 г. она была вдвое больше – 120-123 дня.



Рис. 2 График прохождения половодья 2014 г. (по данным рейки в пр. Быстрая)

Подход производителей в нижнюю зону дельты в 2014 г. отмечался в даты, близкие к среднемуголетним. В марте был отмечен рост числа речного окуня, в первой-второй декаде апреля – обыкновенной красноперки и в третьей декаде апреля – воibly. Однако существенная (до 14 дней) задержка сроков подъема уровней привела к задержке производителей в протоках и более поздним срокам икрометания, о чем свидетельствовал рост встречаемости производителей всех описываемых видов в уловах.

Первые отнерестившиеся особи воibly были зарегистрированы в первой декаде мая, в этот период подъем уровней лишь начался и нерест проходил вне полонных нерестилищ – в руслах затапливаемых ериков и стариц. Частота встреч воibly в уловах этого периода была несколько выше аналогичного

периода 2013 г. (7,6 экз./сеть). К моменту начала залития полонных нерестилищ частота встреч производителей воблы в уловах уже существенно упала.

Скоротечность половодья 2014 г. вынудила большинство видов одновременно нереститься на одних и тех же, сравнительно небольших, участках нерестилищ. В этих условиях обыкновенная красноперка, как типичный представитель порционно нерестующих туводных видов, обладает большими возможностями. В годы с более благоприятным режимом обводнения (например, в 2013 г.) первая порция икры, как правило, выметывается на полонных нерестилищах во второй-третьей декаде мая, при этом, вне зависимости от длительности половодья, к третьей декаде мая–первой декаде июня существенная доля производителей скатывается в авандельту, где особи, имеющие несколько порций икры, осуществляют повторный нерест.

В 2014 г. отмечалось совпадение сроков схода воды с полонных нерестилищ нижней зоны дельты (отметка «305») со сроками ската производителей красноперки и речного окуня. Кратковременность половодья привела и к более раннему, в сравнении с 2013 г., скату речного окуня.

В апреле-июне 2015 г. среднемесячные расходы воды у Волгограда колебались в пределах от 5000 м³/с (июнь) до 16000 м³/с (май). Продолжительность максимальных сбросов воды (16000 м³/с и выше) в 2015 г. составила всего 9 дней. Такой режим стока воды р. Волги определил наименьшие за всю историю наблюдений значения максимального уровня в водотоках дельты.

Подъём половодных уровней воды в 2015 г. начался 4 мая (рис. 3). Наибольшая интенсивность подъёма зафиксирована в первой декаде мая.

Максимальный уровень воды в пр. Быстрая у 3-го кордона наступил 31 мая и составил 266 см (в 2014 г. – 298 см). Продолжительность стояния максимальных уровней на пике половодья (266 см и выше) составила 3 дня. Общая продолжительность половодья (от меженного до меженного уровня) составила 31 день, в то время как в 2014 г. она была вдвое больше (67 дней).

Данные 10.04–02.05 отсутствуют по причине обсыхания водомерной рейки на пр. Быстрая.



Рис. 3 График прохождения половодья 2015 г. (по данным рейки в пр. Быстрая)

Особенностью графика прохождения половодья 2015 г. является крайне низкий уровень обводнения в меженный период, предшествующий паводку. В период с 10 апреля по 2 мая (среднепогодные сроки нереста воблы) водомерный пост был осушен и наблюдения не велись.

Подход производителей красноперки был отмечен несколько позже среднепогодных сроков и совпал с ростом числа производителей воблы в уловах. Не имея возможности рассредоточиться по ерикам, поскольку они не были обводнены к моменту подхода, рыба скапливалась в крупных протоках, о чем свидетельствует резкий и значительный прирост частоты встречаемости в сетных уловах проток нижней зоны дельты в третьей декаде апреля. К примеру, максимальная частота встречаемости речного окуня достигла значения 26,17 экз./сеть, (в 2014 г. – 3,92 экз./сеть, а в 2013 г. – 1,33 экз./сеть).

Задержка сроков начала половодья привела к задержке сроков нереста воблы. Подъем уровня паводковых вод начался в период среднемноголетней даты залития пойменных нерестилищ. Лишь к середине мая началось затопление русел ериков и понижений русловых водотоков, активно использовавшихся всеми производителями для икрометания. Массовый нерест воблы так и не был зафиксирован, в сетях до третьей декады мая попадались лишь отдельные отнерестившиеся особи.

Сроки нереста красноперки (по данным вскрытий) соответствовали многолетним, однако частота встреч в уловах в период ската была существенно ниже многолетних показателей. Активный нерест красноперки в авандельте (подтвержденный сетными ловами в этом районе) позволяет предположить о возможном перераспределении части производителей в маловодном 2015 г. и переносе мест первичного нереста части производителей с пойменных нерестилищ в авандельту.

Несмотря на значительное увеличение числа отловленных производителей речного окуня в преднерестовый период, в период ската существенных количеств особей этого вида не отмечалось.

Заключение

Таким образом, в период 2013–2015 гг. условия обводнения нерестилищ нижней зоны дельты Волги год от года ухудшались. Наблюдалось снижение высоты продолжительности паводковой волны, падение максимальных отметок уровня воды. Продолжительность половодья сократилась в 4 раза (с 123 дней в 2013 году до 31 дня в 2015г.). В 2015 г. залития пойменных нерестилищ на территории заповедника вообще не наблюдалось. Существенным фактором воздействия на ход нерестовых миграций явилась также задержка сроков начала подъема паводковых вод в 2014-2015 гг.

При наличии благоприятных для нереста рыб гидрологических условий (в 2013 г.) в нижней зоне дельты Волги наблюдались последовательная смена

видов на нерестилищах и поэтапный скат отнерестившихся производителей в протоки, сроки и длительность которого определяются типом нерестовой стратегии вида. В условиях короткого (2014 г.) и экстремально короткого (2015 г.) и позднего половодья естественная очередность претерпевает значительные трансформации, вплоть до переноса сроков и мест нереста.

Следует также отметить, что в целом все последнее десятилетие характеризуется низкими уровнями обводнения в период паводка, которые, негативно сказавшись на условиях нереста, безусловно, приведут к существенному сокращению рыбных запасов Волго-Каспийского региона. Исследования показывают, что особенности экологии полупроходных разово нерестующих видов делают эту группу ценных промысловых рыб наиболее подверженной негативному воздействию в условиях маловодья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байдин С.С., Линберг Ф.Н., Самойлов И.В. Гидрология дельты Волги. - М.: Гидрометеиздат, 1956. - 331 с.
2. Белевич Е.Ф. Районирование дельты Волги / Труды Астраханского государственного заповедника. - 1963. - Вып. 8. - С. 401-421.
3. Горелиц О.В., Землянов И.В. Исследование сезонных процессов в устьевой области Волги с использованием данных дистанционного зондирования // Водные ресурсы. - 2005. - Т. 32. - №3. - С. 261-273.
4. Земская К.А., Кузьмин А.Г. О закономерностях воспроизводства полупроходных рыб Каспия // Труды ВНИРО. - 1972. - Т. LXXXIII. -С. 54-71.
5. Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря. - 2010. - Информационный бюллетень № 1. - Ноябрь 2010. - 3 с. [Электронный ресурс] URL: <http://www.caspc.com/index.php?razd=bullet&lang=1>
6. Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря. - 2011. - Информационный бюллетень № 2. - 1 августа 2011 г. - 3 с. [Электронный ресурс] URL: http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin2_1.pdf
7. Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря. - 2012а. - Информационный бюллетень № 3. - 10 января 2012 г. - 2 с. [Электронный ресурс] URL: http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin3_1.pdf
8. Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря. - 2012б. - Информационный бюллетень № 4. - 10

августа 2012 г. - 3 с. [Электронный ресурс] URL: http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin4_1.pdf

9. Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря. - 2013а. - Информационный бюллетень № 5. - 25 марта 2013 г. - 2 с. [Электронный ресурс] URL: http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin5_1.pdf

10. Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря. - 2013а. - Информационный бюллетень № 6. - 1 октября 2013 г. - 3 с. [Электронный ресурс] URL: http://www.caspc.com/files/CASPCOM_bulletin6_1.pdf

11. Литвинов К.В., Подоляко С.А. Методические основы ведения многолетних рядов данных по первичноводным организмам в Астраханском государственном заповеднике. – Астрахань: Изд. Сорокин Роман Васильевич, 2015. - 28 с.

12. Подоляко С.А. К вопросу соответствия параметров половодья в нижней зоне дельты Волги требованиям к воспроизводству рыб в полях нижней зоны дельты в 2010 – 2013 гг. на примере территории Астраханского государственного заповедника (Дамчикский участок) / Астраханский вестник экологического образования. - 2014. - №3 (29). - С. 60–67.

13. Рыбак В.С. Изменения гидрологического режима в водоёмах дельты и авандельты Волги, вызванные колебаниями уровня Каспийского моря / Структурные изменения экосистем Астраханского биосферного заповедника, вызванные подъёмом уровня Каспийского моря. – Астрахань, 2003. - С. 21–36.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА РАЗВИТИЕМ ВЕСЛОНОГОГО РАЧКА *CALANIPEDA AQUAEDULCIS* В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Р.И. Умербаева^{1,2}, Е.К. Курашова²

¹Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

²ООО «НИИ экологии южных морей», г. Астрахань, пл. Свободы, 45

Ключевые слова: Северный Каспий; зоопланктон; веслоногий рачок *Calanipeda aquaedulcis*; каспийские копеподы; размерные характеристики.

Keywords: Northern Caspian; zooplankton; *Calanipeda aquaedulcis*; Caspian copepods; dimensional features.

Abstract

This paper summarizes briefly data on development of the copepod *Calanipeda Aquaedulcis* in the Northern Caspian. The copepod is a typical and most abundant plankton species in the area that plays an important role in feeding of many juvenile fishes. Dimensional features of the mature specimens were examined in this study. Seasonal variations in the features were revealed. Compared to the previous studies in 1930th higher parameters of the copepod were found.

Северная часть Каспийского моря отличается высокой продуктивностью, повышенным обилием и разнообразием живых организмов. Здесь встречается значительное количество рыб, пищей которым служит зоопланктон.

Каспийские веслоногие – типичные планктонные животные, которые развиваются в массовом количестве и составляют основу питания молодежи многих видов рыб [7]. Одним из массовых видов веслоногих ракообразных в Северном Каспии является средиземноморский вселенец *Calanipeda aquaedulcis* Kritschagin, 1873 [6, 8, 10]. Этот эвригалинный вид постоянно встречается в составе зоопланктона с начала 50-х годов прошлого столетия, составляя при этом значительную часть биомассы планктона [8].

По представителям морских каспийских копепод следует отметить работы, опубликованные до зарегулирования стока Волги. Б.И. Гарбер наблюдал в 1939 году на Каспийском море за биологией, развитием и размножени-

ем *Calanipeda aquaedulcis* [1]. Е.Н. Куделиной экспериментальным путем было выявлено влияние температуры на размножение, развитие и плодовитость каспийских ракообразных *C. Aquaedulcis* [4]. Позже были проведены эксперименты по отношению вида к солености [3, 5, 11] и питанию [2].

В настоящее время гидробиологические исследования в основном сосредоточены на анализе пространственного распределения и влияния факторов среды на состояние популяций беспозвоночных [8]. Однако анализ количественных сборов планктона не всегда дает достоверные данные о сроках развития и числе генераций, особенно это справедливо для полициклических видов южных морей.

На наш взгляд, изучение структуры сообществ живых организмов также представляет научный интерес. В этой статье мы решили показать, как меняется в зависимости от времени наблюдений размерная структура популяции одного из наиболее значимых видов веслоногих ракообразных - *Calanipeda aquaedulcis*.

Материалом для настоящей работы послужили наблюдения, сделанные одним из авторов статьи – Е.К. Курашовой. Результаты этого исследования не были опубликованы, но, учитывая важность этого вида в сообществе планктонных беспозвоночных Каспийского моря, мы сочли необходимым представить эти материалы в настоящий момент.

Планктон был собран сетью Апштейна. Материал собирался в течение вегетационного сезона с апреля по октябрь. Для проведения данного исследования были отобраны пробы зоопланктона в районах, где отмечалась высокая численность исследуемых организмов: в районе острова Кулалы и банки Кулалинская. В своем развитии Copepoda, в том числе и *C. aquaedulcis*, проходят через 2 этапа – науплиальный и копеподитный, каждый из которых состоит из 6 стадий [9]. В данном исследовании проводились измерения особей, находящихся на копеподитных стадиях. Всего было измерено 300 экземпляров каланипеды, у которых определялись общая длина (L), длина цефалото-

ракса (l), ширина цефалоторакса (h), у самок подсчитывалось и измерялось количество яиц в яйцевом мешке. В период исследований температура морской воды составляла: в апреле – 10,7-14,3°C, августе – 22,1-24,0°C, октябре – 10,1-12,6°C.

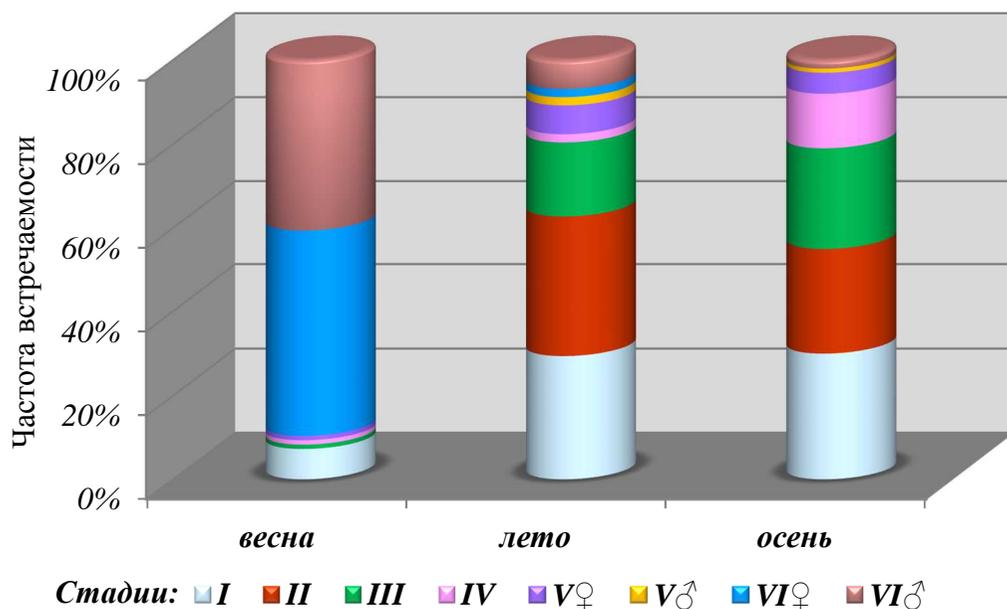


Рис. 1 Частота встречаемости *Calanipeda aquaedulcis* на разных стадиях развития в зависимости от сезона наблюдений

На рис. 1 представлена частота встречаемости вида на разных стадиях развития. Как показано на рис. 1, в апреле состав копеподитных стадий *C. aquaedulcis* определялся массовостью половозрелых самок и самцов (VI ст.), т.е. маточным поголовьем, составлявшим 89,6 % популяции вида, а 7,3 % от всех рачков данного вида приходилось на особей, находящихся на I стадии. Особи II – IV стадий присутствовали единично. Соотношение самок к самцам составляло 1,2:1. Преобладание весной в структуре зоопланктона зрелых особей *C. aquaedulcis* и особей I стадии говорит о том, что в зоопланктоне присутствовали особи еще зимней генерации.

При увеличении температуры воды летом, в августе, в составе зоопланктона Северного Каспия присутствовали в большей степени рачки более

младших возрастов (I и II стадии – в сумме 62,7 % и III стадия – 17,6 %) (рис. 1). Это увеличение в планктоне младших копепоидитных стадий произошло вследствие отмирания старших зимних и прекращения их размножения, а только что созревающие особи не успели еще вполне сформироваться.

Осенью, в октябре, состав калянипед был представлен, как и летом, в основном рачками младших и средних возрастных категорий (I – IV стадии – суммарно 92 %). В этот период было отмечено лишь единичное присутствие самцов и самок на V стадии (6 %) и самцов – VI стадии (2 %). Это указывает на то, что молодое поколение летних генераций еще не созрело, а маточное поголовье будет сформировано в осенне-зимний период.

Изучение размерных характеристик *Calanipeda aquaedulcis* в разные сезоны года показало, что весной размеры особей вида были выше по сравнению с последующими периодами исследований (рис. 2).

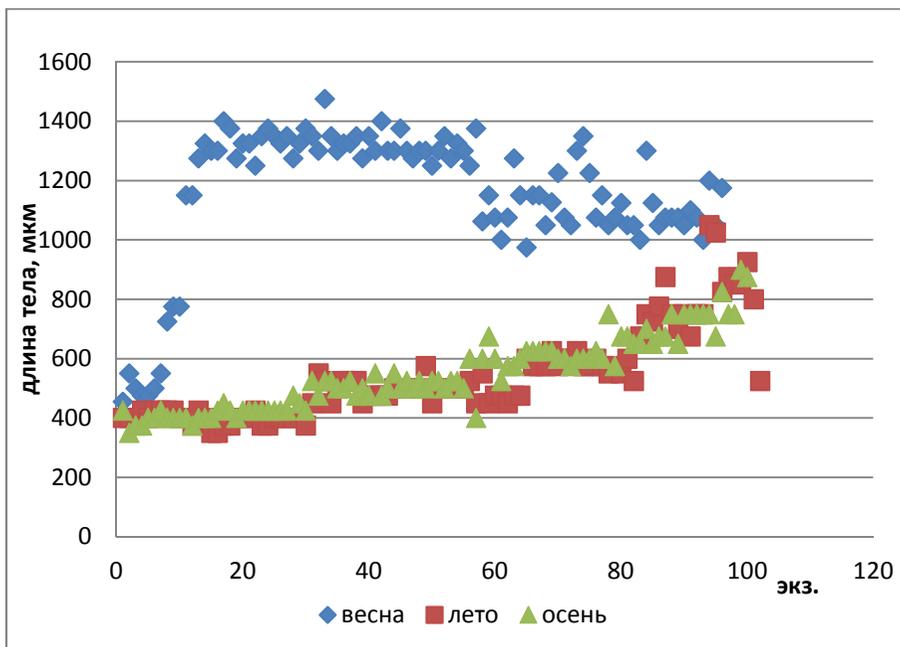


Рис. 2 Длина тела измеренных особей *Calanipeda aquaedulcis* в разные сезоны года

В табл. 1 приведены размерные ряды *Calanipeda aquaedulcis* в разные периоды вегетационного сезона. У половозрелых особей весной L колебалась от 0,975 до 1,425 мм, l – от 0,525 до 0,925 мм, h – от 0,225 до 0,400 мм, у неполовозрелых особей – соответственно в диапазоне 0,455...0,775 мм, 0,325...0,550 мм и 0,125...0,225 мм. Самки были крупнее самцов по всем параметрам в среднем в 1,2 раза. В целом, размерный состав *C. aquaedulcis* был несколько выше, чем наблюдаемый Б.И. Гарбером в 30-е годы.

При проведении весенних наблюдений было обнаружено 89,4 % самок с яйцевыми мешками. Число яиц в одном мешке колебалось от 1 до 42. В среднем на одну самку приходилось по 20 яиц в мешке, а если одна самка в течение жизни может дать 15 пометов, то плодовитость ее, таким образом, равна 300 яиц.

В летний период размерный состав рачков несколько отличался от весенних значений – особи были мельче (рис. 2). Летом максимальная длина тела у копеподитов I стадии (0,425 мм) и VI стадии (1,050 мм) была ниже минимальной весенней величины. В целом для всей выборки длина тела *C. aquaedulcis* была меньше в среднем в 2,2 раза.

Осенью размеры особей рачка были на уровне летних величин: общая длина тела не превышала 0,900 мм, а длина и ширина цефалоторакса – 0,500 и 0,200 мм (рис. 2, табл. 1).

В целом, результаты данной работы согласуются с проведенными ранее исследованиями [1]. Наши данные показали наличие значимой сезонной динамики структурных характеристик популяции веслоногого рачка. В весенний период помимо особей зимней генерации отмечалось появление созревших особей нового поколения, в дальнейшем отмечалось сокращение количества зрелых особей, что было связано с вытеснением особей зимней генерации и их отмиранием при повышении температуры воды. Исследуемый вид является наиболее продуктивным и быстро развивающимся из морских планктонных копепод.

Таблица 1

Размерные характеристики *Salampeda aquaedulcis* в разные периоды вегетационного сезона

Стадии	L				l				h				
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	лето	осень	весна	лето	осень	лето	осень
I	<u>0,455-0,550</u> 0,501	<u>0,350-0,425</u> 0,398	<u>0,350-0,475</u> 0,413	<u>0,325-0,400</u> 0,357	<u>0,275-0,300</u> 0,293	<u>0,250-0,375</u> 0,298	<u>0,275-0,300</u> 0,293	<u>0,250-0,375</u> 0,298	<u>0,125-0,175</u> 0,150	<u>0,125</u>	<u>0,125-0,175</u> 0,137	<u>0,125</u>	<u>0,125</u>
II	–	<u>0,425-0,525</u> 0,481	<u>0,475-0,550</u> 0,510	–	<u>0,300-0,425</u> 0,351	<u>0,350-0,375</u> 0,361	<u>0,300-0,425</u> 0,351	<u>0,350-0,375</u> 0,361	–	<u>0,125-0,175</u> 0,152	<u>0,125-0,150</u> 0,136	<u>0,125-0,150</u> 0,136	<u>0,125-0,150</u> 0,136
III	0,725	<u>0,525-0,675</u> 0,582	<u>0,400-0,675</u> 0,600	0,500	<u>0,400-0,450</u> 0,417	<u>0,300-0,425</u> 0,417	<u>0,400-0,450</u> 0,417	<u>0,300-0,425</u> 0,417	0,200	<u>0,125-0,175</u> 0,152	<u>0,125-0,175</u> 0,154	<u>0,125-0,175</u> 0,154	<u>0,125-0,175</u> 0,154
IV	0,775	<u>0,675-0,750</u> 0,713	<u>0,650-0,750</u> 0,698	0,550	<u>0,425-0,500</u> 0,463	<u>0,425-0,500</u> 0,467	<u>0,425-0,500</u> 0,463	<u>0,425-0,500</u> 0,467	0,225	<u>0,150-0,200</u> 0,175	<u>0,150-0,200</u> 0,170	<u>0,150-0,200</u> 0,170	<u>0,150-0,200</u> 0,170
V _♀	0,775	<u>0,675-0,875</u> 0,750	<u>0,750-0,825</u> 0,788	0,625	<u>0,475-0,575</u> 0,507	<u>0,500-0,525</u> 0,513	<u>0,475-0,575</u> 0,507	<u>0,500-0,525</u> 0,513	0,225	<u>0,175-0,225</u> 0,189	<u>0,200-0,200</u> 0,200	<u>0,175-0,225</u> 0,189	<u>0,200-0,200</u> 0,200
V _♂	–	<u>0,750-0,750</u> 0,750	0,750	–	<u>0,500-0,500</u> 0,500	0,500	<u>0,500-0,500</u> 0,500	0,500	–	<u>0,150-0,175</u> 0,163	0,175	<u>0,150-0,175</u> 0,163	0,175
VI _♀	<u>1,245-1,425</u> 1,316	<u>1,025-1,050</u> 1,038	–	<u>0,675-0,925</u> 0,805	<u>0,675-0,675</u> 0,675	–	<u>0,675-0,675</u> 0,675	–	<u>0,300-0,400</u> 0,318	<u>0,250-0,275</u> 0,263	–	<u>0,250-0,275</u> 0,263	–
VI _♂	<u>0,975-1,350</u> 1,113	<u>0,800-0,925</u> 0,807	<u>0,875-0,900</u> 0,888	<u>0,525-0,800</u> 0,679	<u>0,525-0,600</u> 0,543	<u>0,550-0,575</u> 0,563	<u>0,525-0,600</u> 0,543	<u>0,550-0,575</u> 0,563	<u>0,225-0,300</u> 0,267	0,200	<u>0,200-0,200</u> 0,200	0,200	<u>0,200-0,200</u> 0,200

Примечание: в числителе - пределы колебаний размеров, в знаменателе – средняя величина.

Общая продолжительность развития калянипеды колеблется от 14 до 26 дней. Принимая во внимание максимальное число потомства, даваемое одной самкой (а в нашем случае их количество составило 300 особей), общее число особей (дочерних, внучатых и т.д.), которое потенциально может быть получено к концу октября от одной самки первой весенней генерации, составляет весьма значительную величину.

В заключение отметим, что изучение сезонных изменений структурных характеристик популяций отдельных видов гидробионтов существенно для понимания процессов формирования и оценки биологической продуктивности водоемов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарбер Б.И. Наблюдения за развитием и размножением *Calanipeda aquaedulcis* Kritcz. (Copepoda, Calanoida) // Тр. Карадагск. биол. ст. АН УССР, 11. – 1951. – С. 3-55.
2. Гунько Л. Ф., Алдакимова А. Я. Материалы о питании *Calanipeda aquaedulcis* // Тр. АЗНИРХ. – 1963. – Вып. 6. – С. 71–82.
3. Карпевич А.Ф. Отношение беспозвоночных Азовского моря к изменению солености // Труды ВНИРО. – 1955. – Т. 31. – С. 240-275.
4. Куделина Е. Н. Влияние температуры на размножение, развитие и плодовитость *Calanipeda* // Тр. Каспийского бассейнового филиала ВНИРО. – 1950. – Т. 11. – С. 265.
5. Курашова Е. К., Кузьмичева В. П. Отношение к солености воды отдельных видов и комплексов зоопланктона Северного Каспия // Рыбохозяйственные исследования планктона. Ч. II. Каспийское море. – М.: ВНИРО, 1991. – С. 19-27.
6. Курашова Е.К., Асейнова А.А. Зоопланктон Северного Каспия в 1980-1987 гг. и его влияние на урожайность обыкновенной кильки // Рыбохозяйственные исследования планктона. Ч. II. Каспийское море. – М.: ВНИРО, 1991. – С. 10-19.
7. Курбанова З.С., Устарбеков А.К., Курбанов З.М. Питание молоди некоторых видов рыб в западной части Среднего Каспия // Поволжский экологический журнал. – 2013. – №2. – С. 164-174.
8. Лесников Л.А., Матвеева Р.П. О характере влияния волжского стока на зоопланктон Северного Каспия / Труды ВНИРО. – 1959. – Т. 38. – С. 176-203.
9. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 495 с.

10. Тарасова Р. А., Шипулин С. В., Тарасова Л. И. Влияние абиотических факторов среды на популяцию *Calanipeda aquaedulcis* // Вестник АГТУ. – 2007. – № 3. – С. 29-33.
11. Яблонская Е.А. Возможные изменения кормовой базы рыб Азовского моря при зарегулировании рек // Труды ВНИРО. – 1955. – Т. 31. – С. 151-198.

ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНОЙ СКВА- ЖИНЫ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

**В.Б. Ушивцев¹, А.А. Курапов¹, Н.Б. Водовский¹, Е.В. Островская^{2,1},
М.Л. Галактионова¹**

¹Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

²ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14

Ключевые слова: Северный Каспий; локальный биоценоз; искусственный риф; нефтегазовые платформы.

Key words: Northern Caspian; local biocoenosis; artificial reef; oil drilling platform.

Abstract

The paper analyzes the results of bottom landscape and benthos surveys near the location of the platform installed at Khvalynskaya-1 appraisal well. The research revealed the formation of the local biocoenosis in the platform vicinity, which was quite different from common deepwater Northern Caspian's. The results show that the platform functions as an artificial reef and acquires the relevant properties. The formation of the local community attracts seals and valuable species of fish which are of high economic importance among the Caspian Sea biological resources, providing them with additional feeding and spawning grounds. After the drilling platform leaves the working site the local biocoenosis remains at the site of the abandoned well and continues to develop.

Деятельность нефтегазодобывающих компаний по освоению месторождений на шельфе Каспийского моря предусматривает создание и развитие подводной инфраструктуры. При этом объекты, возведенные на морском дне или опирающиеся на него, оказывают влияние на состояние донных сообществ.

ществ. В масштабе моря, возможно, это влияние невелико, однако непосредственно в точках расположения подводных конструкций возможны существенные изменения в состоянии биологических сообществ [4].

Первыми объектами подводного строительства являются поисково-оценочные скважины. Используемые для их сооружения плавучие буровые установки устанавливаются в точках бурения на срок около 3-6 месяцев, соответственно их воздействие на биоту является временным. Тем не менее, даже краткосрочное пребывание опорных конструкций на морском дне существенно изменяет состояние водных сообществ, в том числе приводит к образованию локальных экосистем [2].

Покажем это на примере скважины Хвалынская-1, пробуренной в 2000 г. на Каспийском море, отметив, что ранее эти данные нигде не публиковались. В точке бурения на глубине 30 м была установлена самоподъемная буровая установка со следующими подводными техническими характеристиками: количество опор – 3; площадь каждого башмака опоры - 75 м²; площадь рабочей площадки на дне - 4 тыс. м²; пенетрация опор - 1,5 м. СПБУ стояла на точке бурения 5 месяцев, в период с апреля по август 2000 г.

Проведенная в 500 метрах от СПБУ ландшафтная съемка фонового состояния показала равнинный рельеф дна, однообразный донный ландшафт с редкими пятнами фитобентоса, представленного полисифонией (рис.1).



а)



б)

Рис. 1 Вид донного ландшафта в районе СПБУ: а) в 500 метрах от места установки; б) в 5 метрах от башмака

Поверхностный слой донных осадков был представлен смесью из крупного песка, битой и целой ракушки.

Фоновая бентосная съемка в этом районе показала, в целом, довольно типичную для этого района моря картину распределения (табл.1; рис. 2).

Таблица 1
Характеристики донных сообществ на фоновом полигоне, расположенном в 500 метрах от СПБУ

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	30	0,53
<i>Corophium chelicorne</i>	250	0,86
<i>Gammarus ischnus</i>	100	0,08
<i>Amathillina cristata</i>	5	0,1
<i>Gammarus pauxillus</i>	3	0,004
<i>Niphargoides similis</i>	35	0,09
<i>Balanus improvisus</i>	759	29,8
<i>Mytilaster lineatus</i>	320	51,1
<i>Didacna protracta</i>	3	1,2
<i>Theodoxus pallasii</i>	12	0,65
<i>Oligochaeta</i>	10	0,01
<i>Nereis diversicolor</i>	45	1,76
<i>Polysiphonia caspia</i>		5,6
Всего	1572	90,85

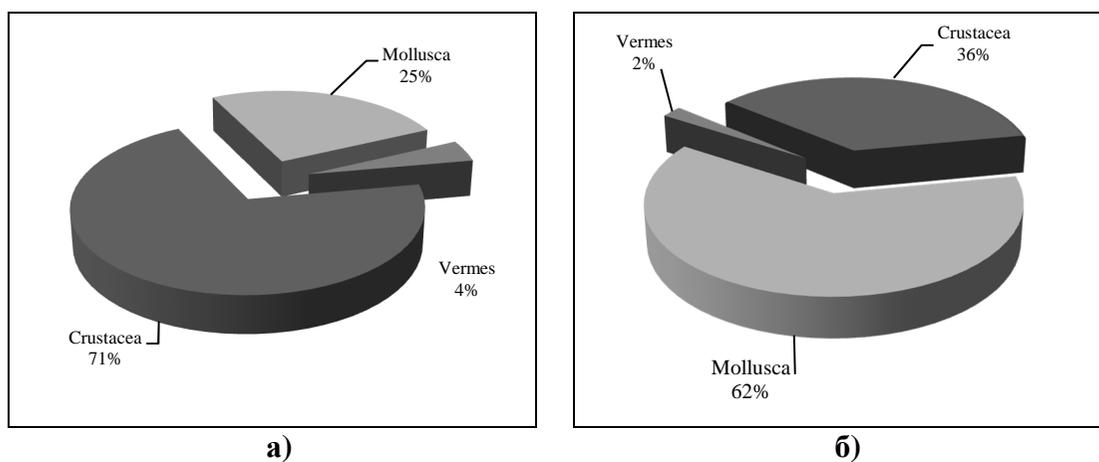


Рис. 2 Структура донной фауны в 500 метрах от СПБУ: а) по численности, б) по биомассе

Донный биоценоз на удалении 500 м от СПБУ на 70% был образован ракообразными, среди которых доминировал *Balanus improvisus*. Вклад этого вида в численность сообщества достигал 50%. Было обнаружено также обилие ракообразных отряда Amphipoda, представленных 6 видами. Общая численность амфипод достигала 450 экз/м², доля их в формировании численности зообентоса составляла 27%. Основу биомассы составляли прикрепленные формы *Balanus improvisus* и *Mytilaster lineatus*, на долю которых приходилось до 90% биомассы сообщества. Индекс биологического разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности, составлял 2,19.

В месте установки СПБУ состояние донного сообщества существенно отличалось от того, что наблюдалось на удалении от нее. Прежде всего, такой крупный объект, как подводная часть буровой установки существенно изменила характеристики придонных течений (аналогичные эффекты обсуждаются в [4, 7]), что привело к аккумуляции вокруг нее различного рода органики (детрита, остатков высших водных растений и т.п.). Это, по-видимому, способствовало изменению ландшафта и увеличению биомассы макрофитов (рис. 1б). Выступая в роли крупного искусственного рифа, буровая установка стала формировать вокруг себя локальную экосистему с высоким биоразнообразием и численностью организмов, о чем свидетельствовали результаты проведенной бентосной съемки (табл. 2; рис. 3).

Зообентос вокруг СПБУ отличался большим, чем фоновый участок, биологическим разнообразием: насчитывалось 15 видов животных, среди которых по числу вводов преобладали ракообразные: 8 видов разноногих, 1 вид кумовых и 1 вид усонюгих.

Численность донной фауны вокруг СПБУ на 80% была сформирована за счет ракообразных. Наибольшей численностью выделялись *Balanus improvisus* (до 1500 экз/м²), *Corophium chelicorne* (1100 экз/м²), *Gammarus ischnus* (до 1500 экз/м²).

Таблица 2

Характеристики донных сообществ вокруг СПБУ

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	158	4,0
<i>Corophium chelicorne</i>	1080	3,3
<i>Gammarus ischnus</i>	1440	0,8
<i>Corophium mucronatum</i>	650	1,5
<i>Amathillina cristata</i>	50	1,2
<i>Niphargoides similis</i>	105	0,32
<i>Corophium nobile</i>	65	0,51
<i>Cardiophilus baeri</i>	37	0,07
<i>Schizorchynchus bilamellatus</i>	8	0,004
<i>Balanus improvisus</i>	1500	45,3
<i>Mytilaster lineatus</i>	900	75,3
<i>Didacna parallella</i>	18	16,4
<i>Didacna protracta</i>	15	18,3
<i>Theodoxus pallasi</i>	50	2,1
<i>Nereis diversicolor</i>	210	4,8
Всего	6286	170,85

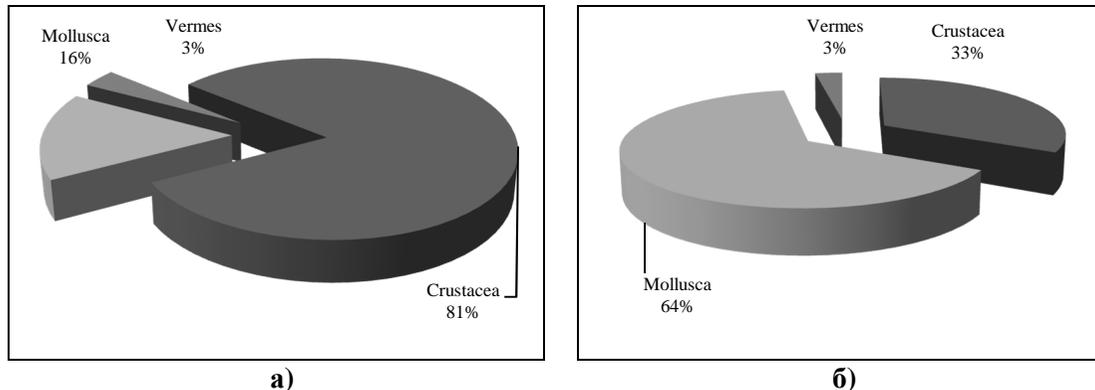
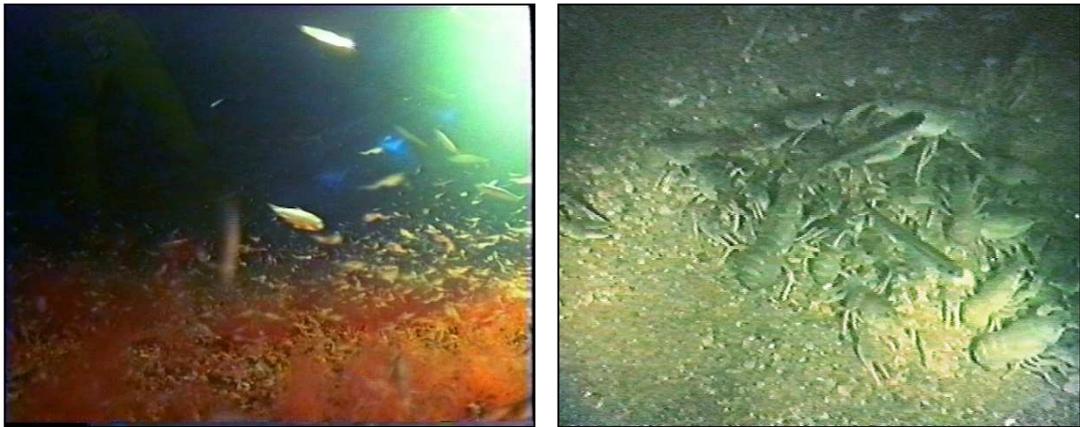


Рис. 3 Структура донной фауны вокруг СПБУ: а) по численности, б) по биомассе

Основу биомассы донных сообществ составляли моллюски – 66%, при этом 44% общей биомассы приходилось на *Mytilaster lineatus*. Высокая биомасса ракообразных была обусловлена обилием *Balanus improvisus* на долю которого приходилось 80% биомассы ракообразных и до 27% биомассы всего сообщества. Биологическое разнообразие донных сообществ, рассчитанное

по индексу Шеннона вокруг СПБУ составляло 2,83 (на фоновом участке - 2,19).

Кроме того вокруг СПБУ сформировалось богатое по биомассе и видовому составу сообщество макробентоса - крупных ракообразных, таких как креветки, длиннопалые каспийские раки, мизиды. Особенно обильно их присутствие проявлялось в ночное время суток при ярком освещении огнями СПБУ прилегающей акватории моря и участка дна, что способствовало повышению концентрации фотофильных животных в наиболее освещенных местах (рис. 4).



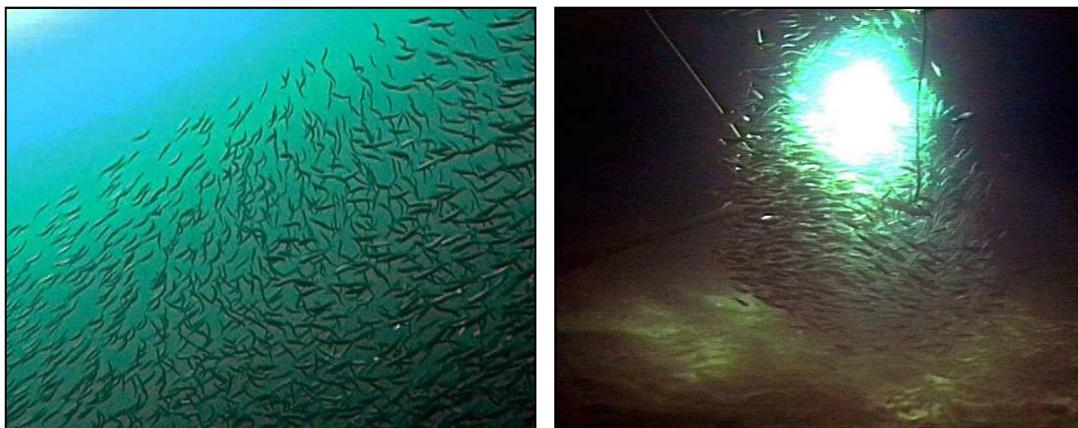
а)

б)

Рис. 4 Ночное скопление животных в придонных слоях воды вокруг СПБУ: а) мизиды, б) раки

Возникшая локальная экосистема привлекла к месту расположения СПБУ различных рыб. Из пелагических рыб наиболее многочисленными были кильки. Днем отдельные косяки килек численностью по несколько тысяч особей курсировали вокруг опор и башмаков установки, активно питаясь планктоном (рис. 5а). Ночью их численность и плотность скоплений резко возрастали, мелкие косяки сливались в крупные. Рыбы активно питались планктонными скоплениями ракообразных и ночью в зоне света мощных фонарей СПБУ (рис. 5б). Скопления килек привлекали следующее трофическое

звено - хищных сельдей, которые постоянно курсировали вокруг СПБУ, совершая набеги на килек и поедая их.



а)

б)

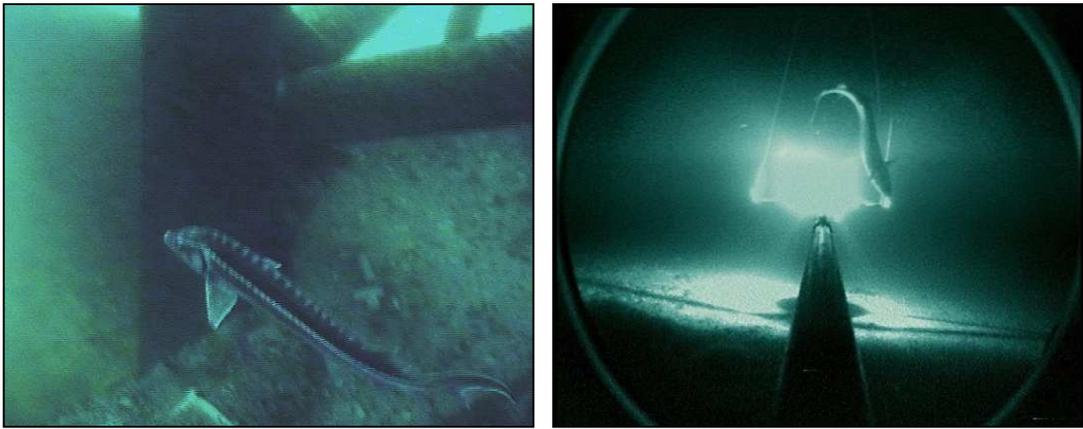
Рис. 5 Скопления килек вокруг СПБУ при строительстве скважины Хвалынская -1: а) днем, б) ночью, в освещенной зоне у основания установки

В дневное время возле СПБУ часто наблюдались косяки воблы (рис. 6). Проявляя отрицательную фотореакцию, в темное время суток вобла избегала световой зоны вокруг платформы. Днем косяки воблы активно нагуливались поедая многочисленных мелких ракообразных, находящих убежища на опорах в зарослях макрофитов.



Рис. 6 Скопления воблы возле СПБУ

Довольно часто в месте установки СПБУ наблюдались осетровые рыбы. Их присутствие фиксировалось круглые сутки. Днем среди опор чаще встречались мелкие особи длиной 30-50 см (рис. 7а). Ночью к вышке подходили более крупные экземпляры длиной 80-150 см. Проявляя слабую положительную фотореакцию, эти рыбы заходили в зону света и даже на короткое время подходили к подводным источникам света, применяемых нами при исследованиях (рис. 7б).



а)

б)

Рис. 7 Осетровые в месте установки СПБУ: а) питание двухлетки осетра на башмаке установки в светлое время суток, б) подход осетра ночью к подводному источнику света у основания СПБУ

Летом, когда вода в придонных слоях прогревается до температуры 12⁰С и выше, вокруг СПБУ концентрировалось большое количество бычков. Плотность их скоплений достигала 20-30 экз/м² [1] (рис. 8а). Бычки активно питались обрастаниями и размножались, используя башмаки и опоры в качестве нерестилища и убежища (рис. 8б).

Кроме вышеперечисленных рыб, которых часто можно было увидеть вокруг СПБУ, изредка встречались косяки кефалей, преимущественно в верхних, хорошо прогретых слоях воды. Кефали питались организмами и растениями перифитона обильно развитого на субстрате опор. Также встречались особи леща, кутума, сазана. Среди опор буровой установки ближе к

поверхности воды можно было встретить тюленей, привлеченных скоплениями рыб.

Таким образом, результаты наблюдений показывают, что даже в течение одного вегетационного периода вокруг буровой установки формируется богатое по видовому составу и по биомассе локальное сообщество, привлекающее ценные виды рыб, входящих в фонд биоресурсов Каспийского моря. После ухода буровой установки с рабочей площадки возникший вокруг нее локальный биоценоз остается на месте ликвидированной скважины [2].



а)

б)

Рис. 8 Бычковые рыбы возле СПБУ: а) скопления бычков под башмаком, б) кладки икры бычков на субстрате башмака

Мировое научное сообщество последние двадцать лет активно обсуждает преимущества и недостатки формирования локальных биоценозов вокруг морских гидротехнических сооружений. Особенно жаркие споры развернулись по поводу программы ликвидации отработавших нефтегазовых платформ “Rigs-to-Reefs” [3, 5-9]. Например, в территориальных водах США подобным образом утилизируется каждая десятая глубоководная платформа. Они часто используются как средство восстановления нарушенных производственными работами экосистем, увеличения рыбных запасов и привлечения туристов для дайвинга и спортивного рыболовства [7].

Однако в работах [5, 8] эти экологические плюсы подвергаются сомнению, приводятся факты о том, что вокруг платформ формируются поля повышенных концентраций загрязнителей, в том числе токсичных, и что сами платформы становятся источником загрязнения в результате постепенного разрушения материалов, из которых они изготовлены. В работе [9] обсуждается слабость имеющихся в настоящее время в руках правительств инструментов для адекватного регулирования этой области, что позволяет многим нефтяным компаниям лоббировать этот способ ликвидации старых платформ без проведения достаточных исследований по их безопасности для окружающей среды для того, чтобы избежать огромных затрат на их полную утилизацию. Накопление негативной информации привело к тому, что конвенцией OSPAR эта программа была вообще запрещена для акватории Северного моря [3, 6].

Приведенный в статье пример формирования локальных биоценозов в месте строительства поисково-оценочной скважины вносит определенный вклад в эту дискуссию, указывая на положительное влияние подводных сооружений на биоразнообразие и обилие морской фауны в северной части Каспийского моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водовский Н. Б. Особенности функционирования искусственных рифовых субстратов в Каспийском море // Сборник тр. Международной научно-практической конференции «Проблемы управления экологическим состоянием территории Каспийского бассейна», Актау, 23 октября 2009 г. - Актау: Каспийский госуниверситет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, 2009. - С. 25 – 30.
2. Ушивцев В.Б., Галактионова М.Л., Ушивцев В.В. Особенности донных биоценозов, возникающих в местах расположения ликвидированных скважин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2011. - № 10. – С. 63-67.
3. Baine M. The North Sea rigs-to-reefs debate. ICES Journal of Marine Science. 2002, Vol. 59, pp. S277-S280.

4. Davis N., VanBlaricom G.R., Dayton P.K. Man-Made Structures on Marine Sediments: Effects on Adjacent Benthic Communities. *Marine Biology*. 1982, Vol. 70, pp. 295-303.
5. Holbrook, S. J., R. F. Ambrose, L. Botsford et al. Report to the University of California Marine Council by the Select Scientific Advisory Committee on Decommissioning. University of California. 2000, 41 p.
6. Jorgensen D. OSPAR's exclusion of rigs-to-reefs in the North Sea. *Ocean and Coastal Management*. 2012, Vol. 58, pp. 57-61.
7. Macreadie P.I., Fowler A.M., Booth D.J. Rigs-to-reefs: will the deep sea benefit from artificial habitat? *Front Ecol. Environ*. 2011, Vol.9, Issue 8, pp. 455–461.
8. Schroeder D.M., Love M.S. Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the Southern California Bight. *Ocean & Coastal Management*. 2004, Vol. 47, pp. 21–48.
9. Techera E.J., Chandler J. Offshore Installations, Decommissioning and Artificial Reefs: Do Current Legal Frameworks Best Serve the Marine Environment? *Marine Policy*. 2015, Vol. 59, pp. 53-60.

ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА БИОТУ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

В.Б. Ушивцев¹, А.А. Курапов¹, Н.Б. Водовский¹, В.В. Ушивцев¹,
Е.В. Островская^{2,1}, М.Л. Галактионова¹

¹Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

²ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», г. Астрахань, ул. Ширяева, 14

Ключевые слова: Северный Каспий; месторождение им. Ю. Корчагина; подводные трубопроводы; морская нефтедобывающая платформа; гидробионты; численность; биомасса.

Keywords: Northern Caspian; Yu. Korchagin oilfield; submerged oil pipeline; offshore drilling platform; hydrobiota; abundance; biomass.

Abstract

The paper summarizes results of the study of bottom biocenoses along the submerged oil pipeline at the Yu. Korchagin oilfield in 2012. The results of the study show that benthos biomass and abundance near the pipeline 3.3-5.8 times higher than their background values characteristic for the areas located in 100 m far from the pipeline. This depicts the fact that the pipeline plays a role of an artificial reef there and creates favorable conditions for biota to flourish around.

Введение

Инфраструктура морской нефтедобычи обычно имеет сеть подводных трубопроводов, которые лежат на поверхности дна. Имея большую протяженность, эти объекты оказывают значительное по силе и продолжительности влияние на состояние и развитие донных сообществ [3].

Рассмотрим реальную ветку подводного нефтепровода, расположенного на дне моря на свале глубин Северного Каспия соединяющего стационарную нефтедобывающую платформу на месторождении им. Ю.Корчагина (МЛСП) с плавучим нефтехранилищем (МПК), расположенным в 56 км южнее (рис.1).

Подводное сооружение имеет следующие технические характеристики и находится в следующих гидрологических условиях. Труба диаметром 325 мм, облаченная в антикоррозийную пластиковую рубашку, отходит от морской ледостойкой платформы МЛСП-1, установленной на месторождении им.

Ю. Корчагина для добычи углеводородов. Глубина моря в месте установки платформы составляет 11 м. От платформы на протяжении 56 км трубопровод пролегает практически с севера на юг по свалу шельфа моря. И на глубине 18 м подходит к стационарному точечному причалу морского перевалочного комплекса с плавучим нефтехранилищем (МПК), который служит резервуаром для добытой нефти, поступающей по трубопроводу.

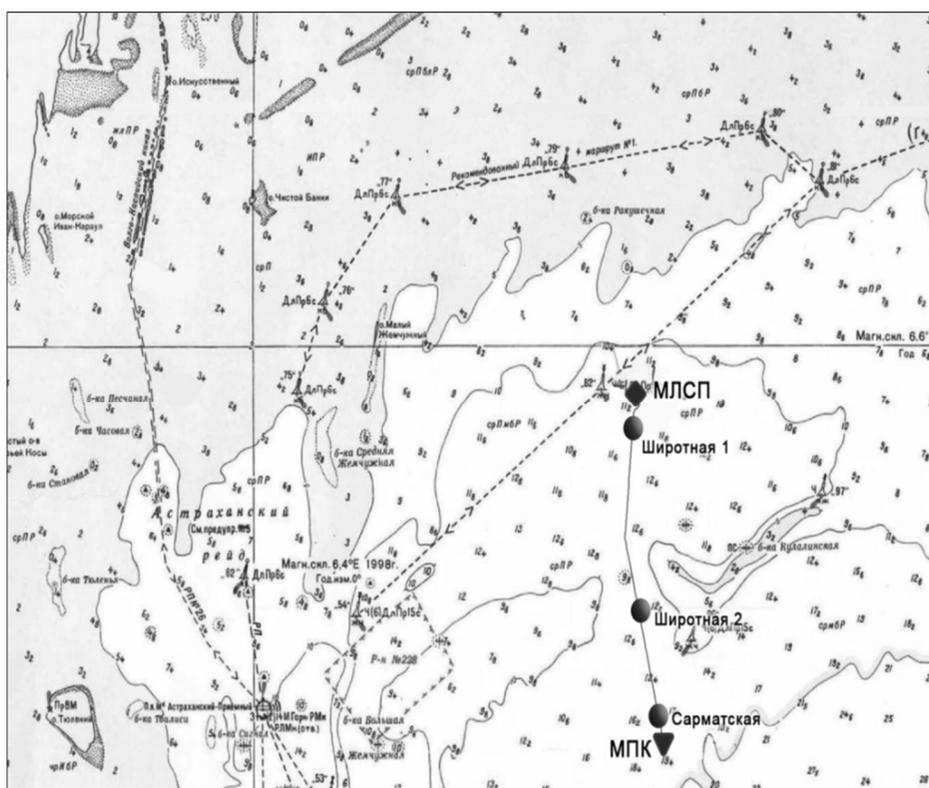


Рис. 1 Расположение ветки подводного трубопровода в Северном Каспии и станций проведения наблюдений

По экологическому воздействию на биоту трубопровод представляет собой искусственный риф протяженностью 56 км 237 м. Пролегая по равнинному рельефу песчано-ракушечных грунтов, ветка трубопровода является существенным препятствием на миграционных путях некоторых видов донной фауны, а также барьером для транзита в придонных слоях воды подвиж-

ных грунтов, взвешенных веществ, водорослей, детрита, и т.д. Аккумулируя вокруг себя донных мигрантов и продукты транзита, трубопровод создает зону повышенного содержания питательных веществ, благоприятную для развития бентоса, как будет показано далее.

Материалы и методы исследований

Для оценки состояния донных сообществ в трех точках трубопровода были проведены ландшафтная и бентосная съемки. Первая станция выполнена на начальном участке трубопровода в 3-х милях от его исходной точки – МЛСП-1. Станция наблюдений в этом районе получила название «Широтная 1». Вторая станция была выполнена на среднем участке трубопровода под названием «Широтная 2», и третья станция – «Сарматская» – на конечном участке трубопровода в 3-х милях от точечного причала (рис. 1). Исследования проводились на пике вегетационного периода в июле 2012 года.

При фоновых отборах (в 100 м от трубопровода в районе вышеупомянутых станций) и на самих трех станциях вблизи трубопровода в специальные контейнеры были взяты по 10 проб бентоса, которые были обработаны по классическому методу, принятому в гидробиологии [1]. На станциях отбиралось по пять проб с восточной стороны и с западной стороны от трубопровода. Всего было обработано 60 проб.

Результаты исследований и их обсуждение

Донный ландшафт на удалении 100 м от трубопровода при фоновом отборе в районе станции «Широтная 1» представлял собой песчано-ракушечное плато с малоподвижными грунтами (рис. 2а). На поверхности грунта пятнами была развита донная растительность, представленная исключительно полисифонией. Биомасса водорослей была в пределах от 5 до 50 г/м². Среди водорослей изредка встречались мелкие ракообразные, в основном мизиды.

В месте прохождения трубопровода на станции «Широтная 1» донный ландшафт был совершенно другим (рис. 2б). Поверхность дна была выстлана песчано-ракушечными грунтами с примесью обломков ракушечника. Биомасса макрофитов была существенно выше и составила $1,5 \text{ кг/м}^2$.

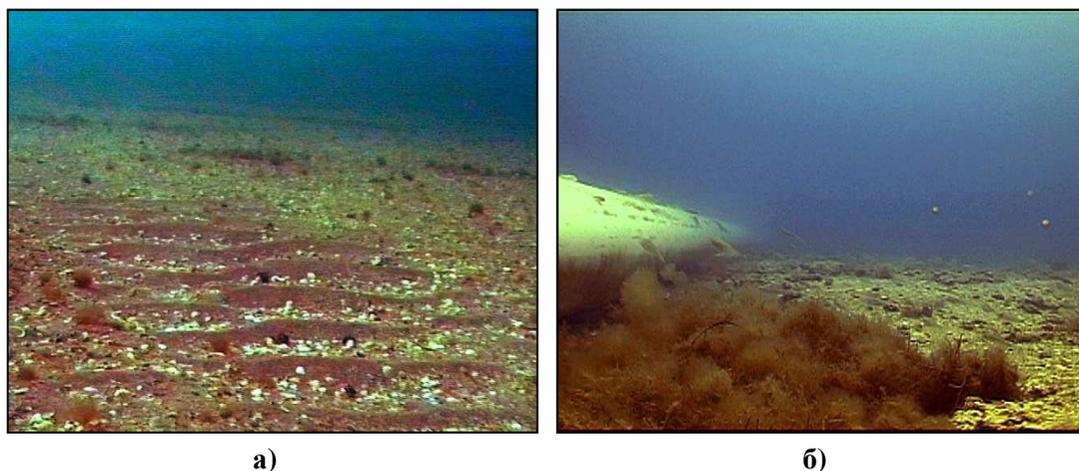


Рис. 2 Донный ландшафт на станции «Широтная 1»: а) фоновый отбор, в 100 м от трубопровода, б) вблизи трубопровода

Особенно много макрофитов было обнаружено с западной стороны трубы. В составе водорослей кроме полисифонии с западной стороны многочисленной отмечалась энтероморфа, а с восточной стороны – зостера. Среди водорослей было обнаружено скопление рыб и ракообразных, представленных мизидами, креветками, крабами, длиннопальными каспийскими раками, молодь бычков, иглой рыбой.

Результаты бентосной съемки при фоновом отборе в районе станции «Широтная 1» представлены в табл. 1 и на рис. 3.

Результаты бентосной съемки на станции «Широтная 1» вблизи трубопровода представлены в табл. 2 и на рис. 4. Как видим, показатели состояния бентоса здесь в 3 и более раз превышают таковые для фонового участка.

Таблица 1
Видовой состав, численность и биомасса бентоса при фоновом отборе в
районе станции «Широтная 1» в июле 2012 г.

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Mytilaster lineatus</i>	320	30,6
<i>Nereis diversicolor</i>	250	1,4
<i>Niphargoides similis</i>	250	0,20
<i>Oligochaeta</i>	210	0,21
<i>Balanus improvisus</i>	35	0,08
<i>Corophium chelicorne</i>	34	0,07
<i>Abra ovata</i>	3	0,06
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	1	0,12
Всего	1103	32,74
Индекс Шеннона	2,2893	1,2319

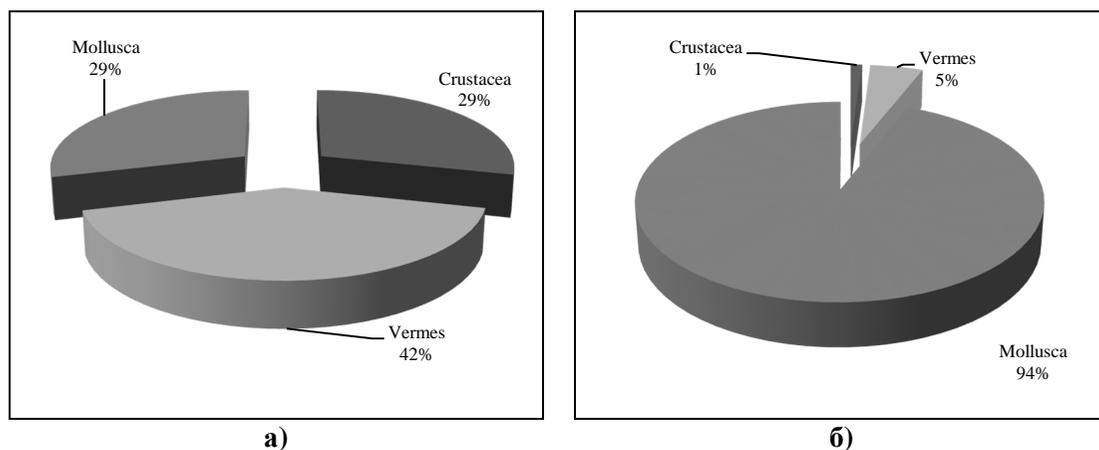


Рис. 3 Структура численности (а) и биомассы (б) донной фауны при фоновом отборе в районе станции «Широтная 1»

Общая же биомасса и биоразнообразие организмов вокруг трубы были значительно больше, чем показатели бентосной съемки, представленные выше. Не включенные в анализ представители мезо- и макробентоса, такие как мизиды, креветки, крабы, раки, донные рыбы, также концентрировались вдоль трубопровода.

Их численность и биомасса в десятки раз превосходила фоновые показатели. Таким образом, экосистема вокруг трубопровода, по сравнению с фо-

ном, представляла собой значительно более богатое сообщество, привязанное к искусственному субстрату большой протяженности.

Таблица 2

Видовой состав, численность и биомасса бентоса на станции «Широтная 1» в июле 2012 г.

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Niphargoides similis</i>	980	0,72
<i>Mytilaster lineatus</i>	910	98,6
<i>Nereis diversicolor</i>	550	2,8
<i>Oligochaeta</i>	450	0,54
<i>Balanus improvisus</i>	355	0,19
<i>Corophium chelicorne</i>	275	0,56
<i>Abra ovata</i>	15	0,18
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	12	0,32
<i>Rhithropanopeus harrissii</i>	5	2,26
Всего	3552	106,17
Индекс Шеннона	2,5025	0,5403

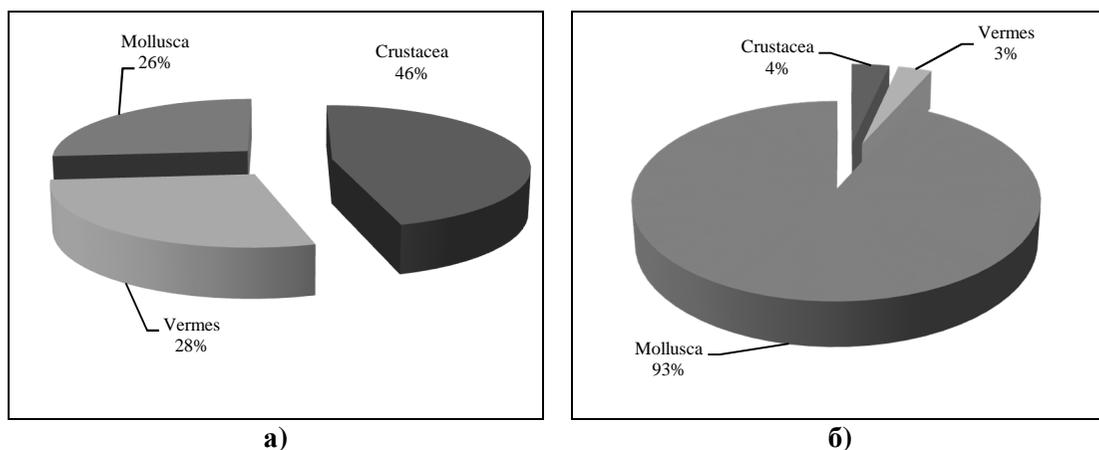


Рис. 4 Структура численности (а) и биомассы (б) донной фауны на станции «Широтная 1»

Расчеты показывают, что вокруг трубопровода длиной один погонный метр в условиях среды на станции «Широтная 1» локальной экосистемой осваивается около 5 квадратных метров дна. Трехкилометровый отрезок трубы, таким образом, способен образовать более 1,5 га площади с биоразнообразием и биомассой сообщества, в 3 и более раз превосходящего фоновые показатели. Общая же расчетная площадь продуктивной зоны в условиях среды,

сходных с таковыми на станции «Широтная 1», при длине трубопровода 32 км (начальный отрезок) могла составить 15,9 га.

На станциях «Широтная 2» и «Сарматская», находящихся на глубинах от 13 до 18 метров (рис. 1), условия среды, влияющие на состояние донных сообществ, отличались от мелководного района, где располагалась станция «Широтная 1». В этом районе в первой половине лета благодаря придонным течениям и апвеллингу часто образуется зона термоклина с температурами поверхностных вод более 20°C и придонных вод менее 12°C [2]. В зависимости от направления преобладающих течений термоклин может залегать в толще воды на разных глубинах, либо вовсе отсутствовать при интенсивном и длительном перемешивании водных масс, что наблюдается в периоды затяжных штормовых ветров.

Например, в результате апвеллинга среднекаспийские глубинные холодные воды в южной части структуры «Широтная» и на структуре «Сарматская» могут подниматься к поверхности и образовывать придонный слой холодной воды толщиной 6 - 8 метров. Однако, во второй половине лета апвеллинг обычно отступает, термоклин размывается, резкого градиента температур практически не наблюдается, вертикальная структура вод становится более однородной. В периоды апвеллинга и длительного присутствия термоклина в придонном слое в этом районе находятся холодные соленые среднекаспийские воды, обогащенные биогенами, но бедные кислородом. Такая ситуация и наблюдалась в июле 2012 года. Температура воды в этот период менялась от 11 до 25°C; содержание растворенного кислорода – от 5,1 до 7,3 мг/л, соленость – от 9,2 до 11,5‰, дальность видимости под водой – от 3,5 до 12,5 м. Условия среды отличались также высокой динамичностью, существенно меняясь в течение нескольких часов.

В таких нестабильных условиях обычно существуют только эвритермные, эвригалинные, эврибионтные виды бентосного населения. Подвижные

мобильные виды, такие как донные рыбы, креветки, мизиды из зоны апвеллинга большей частью уходят.

Другим существенным фактором, влияющим на состояние донных сообществ в месте залегания трубопровода на станциях «Широтная 2» и «Сарматская», является состав и динамика донных осадков.

Южнее банки Кулалинская в их составе начинают преобладать ракушечные и крупнопесчаные фракции. Грунты, состоящие из ракуши, битой ракуши и крупнозернистого песка сыпучи, практически не слеживаются и наиболее подвижны в штормовых условиях. Такие грунты движутся по поверхности дна, образуя песчано-ракушечные полосы, языки, дорожки. Рельеф дна на таких участках крупнорифельный (рис. 5).

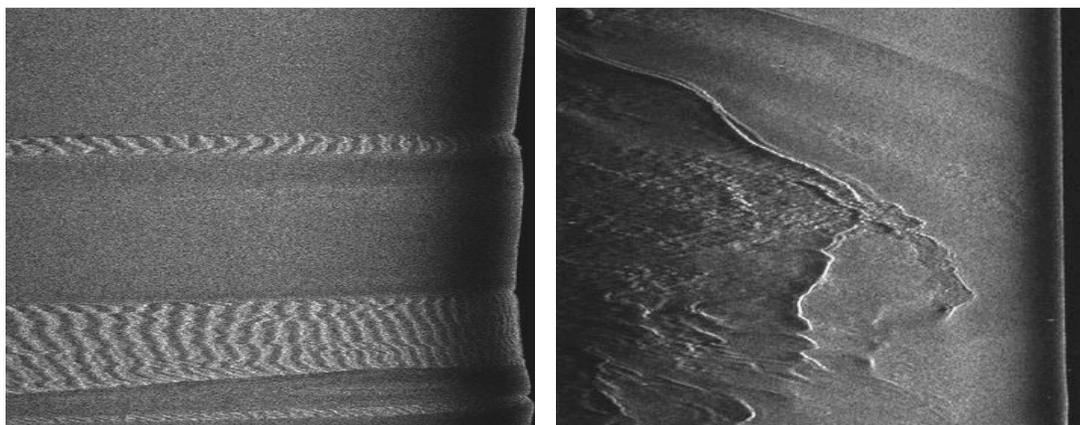


Рис. 5 Эхограммы дна в местах транзита подвижных грунтов

Подводный трубопровод является существенным препятствием на пути движения грунтов и в местах их активной динамики замывается в толщу грунта (рис. 6а). По мере погружения в грунт эффект рифа вдоль трубы ослабевает, и на замытых участках показатели состояния биоты приближаются к фоновым. Поэтому на среднем и конечном участках трубопровода, где отдельные его пролеты замыты, рифовая эффективность образования полезных площадей была в целом на 15% ниже, чем на его начальном участке.

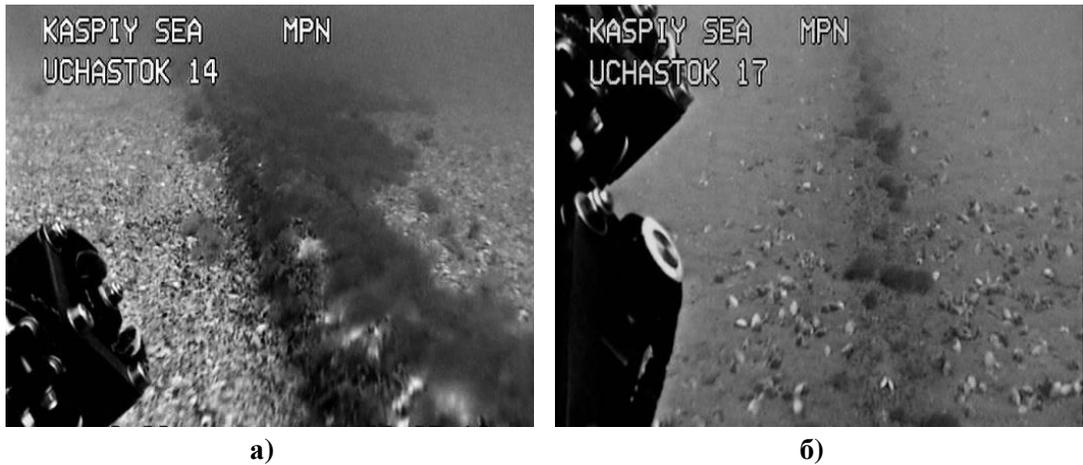


Рис. 6 Ландшафт дна участков трубопровода: а) в зоне подвижных грунтов; б) замытого грунтами

За изменениями условий среды меняется качественный и количественный состав донной фауны, о чем свидетельствуют бентосные и ландшафтные съемки на станциях «Широтная 2» и «Сарматская», результаты которых представлены в таблицах 3-6 и на рисунках 7-11.

Таблица 3
Видовой состав, численность и биомасса донных сообществ при фоновом отборе в районе станции «Широтная 2» в июле 2012 г.

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Mytalaster lineatus</i>	1500	29
<i>Gammarus ishnus</i>	800	1
<i>Jaera sarsi</i>	500	1
<i>Balanus improvisus</i>	400	2
<i>Nereis diversicolor</i>	300	13,5
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	200	2
<i>Corophium nobile</i>	70	< 1
<i>Didacna protracta</i>	20	50
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	10	4
Итого	3800	103,5
Индекс Шеннона	2,4108	2,0001

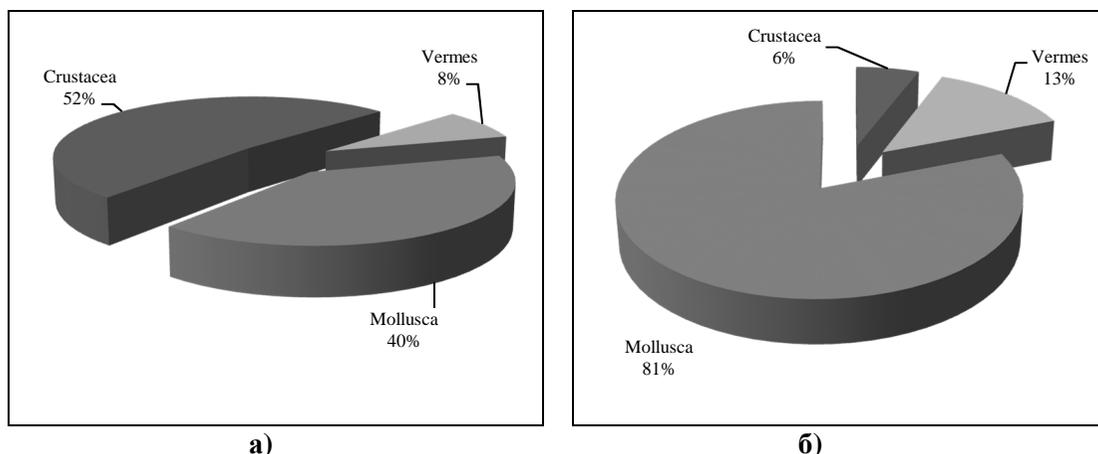


Рис. 7 Структура численности (а) и биомассы (б) донной фауны при фоновом отборе в районе станции "Широтная 2»

Показатели биоразнообразия и особенно величины численности и биомассы гидробионтов на станции «Широтная 2», которые были выше в 7,4 и 5,7 раз соответственно (табл. 4, рис. 8), чем на станции «Широтная 1», указывают на то, что в первой половине лета бентосные сообщества в этом районе моря с глубинами более 13 м были намного богаче, чем на мелководье.

Таблица 4
Видовой состав, численность и биомасса донных сообществ на станции «Широтная 2» в июле 2012 г.

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Gammarus ishnus</i>	12250	10
<i>Mytalaster lineatus</i>	7000	175
<i>Jaera sarsi</i>	3300	1
<i>Balanus improvisus</i>	2250	10
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	700	7
<i>Nereis diversicolor</i>	400	16
<i>Corophium nobile</i>	250	1
<i>Didacna protracta</i>	160	369
<i>Theodoxus pallasii</i>	100	2
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	30	10
<i>Dreissena rostriformis</i>	20	< 1
<i>Derzhavinella macrochelata</i>	10	< 1
<i>Итого</i>	26470	603
Индекс Шеннона	2,0904	1,5479

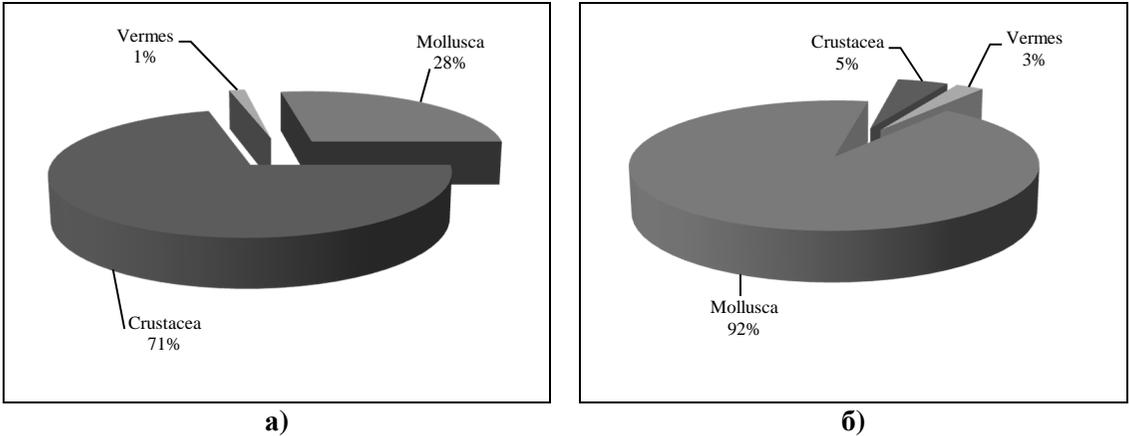


Рис. 8 Структура численности (а) и биомассы (б) донной фауны на станции «Широтная 2»

Скорее всего, это объясняется тем, что в зоне апвеллинга резко снижается численность консументов, потребляющих бентос, таких как донные рыбы и некоторые крупные ракообразные (раки, крабы, креветки). В конце трубопровода на глубине 18 метров, где выполнялась станция «Сарматская», условия среды на дне в еще большей степени определялись апвеллингом.

Толщина слоя холодных придонных вод достигала 6 метров, температура на дне составила 10,3°C, соленость – 11,6 ‰, содержание растворенного кислорода – 4,9 мг/л, дальность видимости под водой увеличилась до 20 м. На конечном участке трубопровода протяженностью 10 км труба в большей степени была замята грунтами (рис. 9).



Рис. 9 Ландшафт конечного участка трубопровода проходящего в зоне активной литодинамики

Несмотря на это, бентосная съемка на станции «Сарматская» показала высокую биомассу животных и увеличение биоразнообразия за счет ракообразных (табл. 5 и 6, рис. 10 и 11).

Таблица 5
Видовой состав, численность и биомасса донных сообществ на фоновой станции «Сарматская»

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Corophium chelicorne</i>	1800	5,5
<i>Gammarus ischnus</i>	1700	1,3
<i>Nereis diversicolor</i>	350	6,6
<i>Mytilaster lineatus</i>	330	27,9
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	300	17
<i>Balanus improvisus</i>	120	3,5
<i>Amathillina cristata</i>	75	2,4
<i>Schizorchynchus bilamellatus</i>	55	< 1
<i>Corophium nobile</i>	35	< 1
<i>Didacna protracta</i>	18	21,3
<i>Didacna parallella</i>	10	9,8
<i>Итого</i>	4793	97,3
Индекс Шеннона	2,2544	2,7907

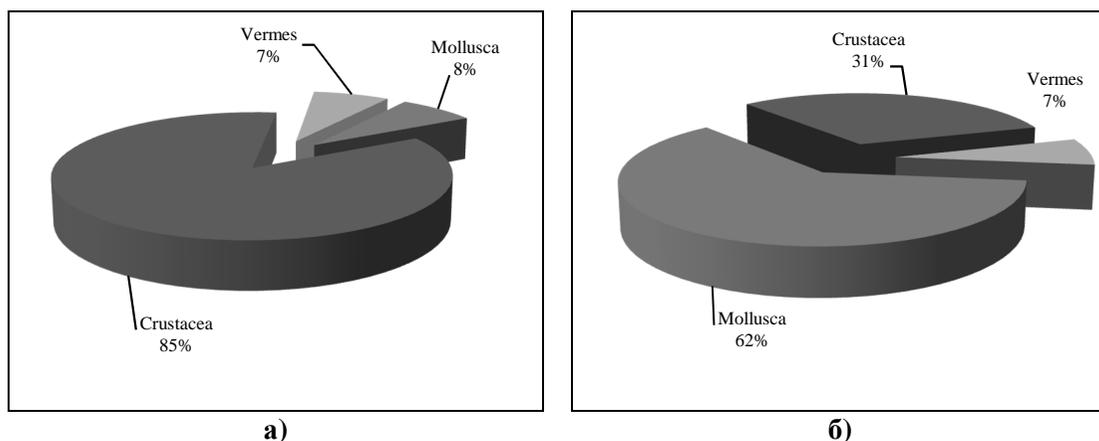


Рис. 10 Структура численности (а) и биомассы (б) донной фауны при фоновом отборе в районе станции «Сарматская»

Таблица 6

**Видовой состав, численность и биомасса донных сообществ на станции
«Сарматская» (конечный участок трубопровода)**

Вид	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Mytilaster lineatus</i>	4000	319
<i>Corophium chelicorne</i>	3500	9,8
<i>Balanus improvisus</i>	2500	73
<i>Gammarus ischnus</i>	2500	1,8
<i>Nereis diversicolor</i>	850	22,1
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	600	35
<i>Schizorchynchus bilamellatus</i>	240	5,4
<i>Amathillina cristata</i>	170	5,8
<i>Corophium mucronatum</i>	150	1,2
<i>Corophium nobile</i>	50	< 1
<i>Theodoxus pallasi</i>	50	1,8
<i>Didacna protracta</i>	35	37
<i>Cardiophilus baeri</i>	30	< 1
<i>Didacna parallella</i>	25	28
Итого	14700	540,9
Индекс Шеннона	2,6488	2,1172

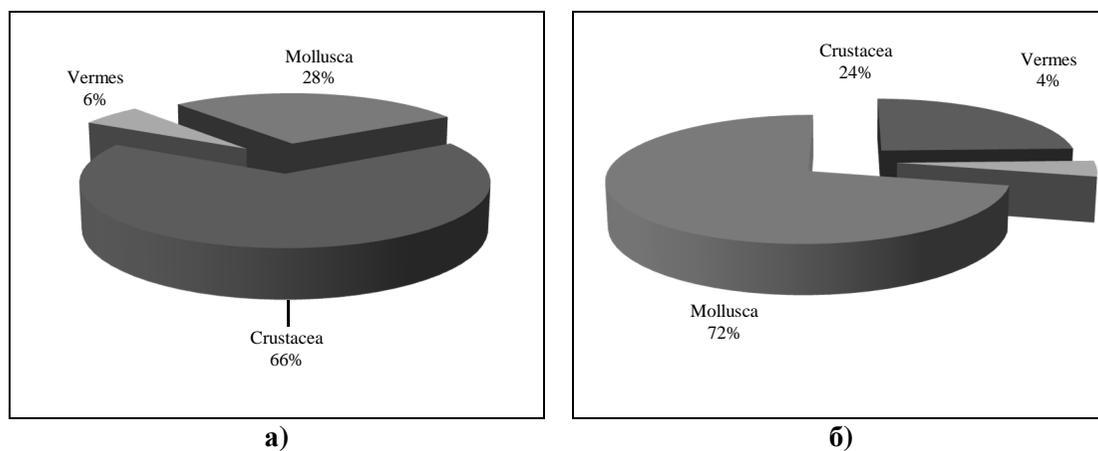


Рис. 11 Структура численности (а) и биомассы (б) донной фауны на станции «Сарматская»

Расчеты показывают, что полезная площадь продуктивной зоны бентоса на среднем и конечном участках трубопровода общей протяженностью 24 км, составила 11,9 га. При средней удельной величине 416,9 г/м² общая биомасса

бентоса составила 115,9 т, что на 94,2 т больше фоновых значений (77, 8 г/м² и 21,7 т соответственно).

Таким образом, сравнительный анализ развития бентоса вдоль трассы трубопровода показывает, что в целом биомасса сообществ, обитающих в зоне влияния трубопровода в 3,3-5,8 раз выше фоновых величин (рис. 12).

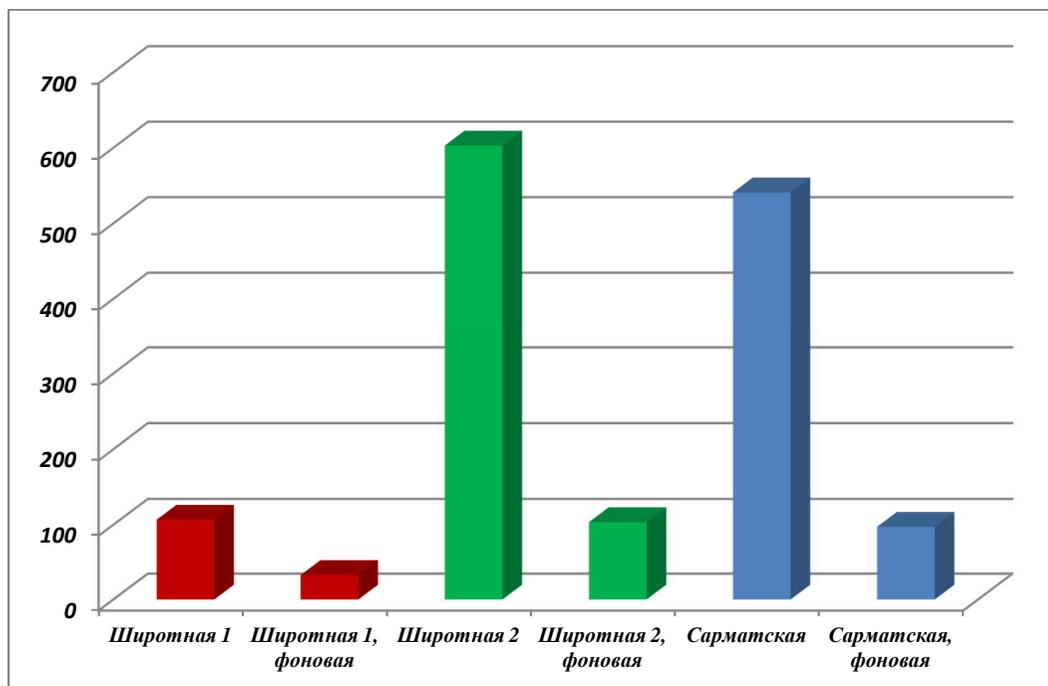


Рис. 12 Распределение общей биомассы бентоса (г/м²) вдоль трассы трубопровода

Заключение

В заключение следует отметить, что подводный нефтепровод, как впрочем, и другие объекты нефтегазового комплекса на Северном Каспии [4] в условиях острого дефицита твердого донного субстрата активно осваиваются биотой, демонстрируя общеизвестные эффекты искусственного рифа [5]. При этом, негативных воздействий на локальные экосистемы со стороны подвод-

ных сооружений при их штатной работе и в отсутствие аварийных ситуаций не обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания. – Астрахань: Изд-во ФГУП «КаспНИРХ», 2011.- 233 с.
2. Байдин С.С., Косарев А.Н. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. – М.: Наука, 1986. – 261 с.
3. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 247 с.
4. Ушивцев В.Б., Галактионова М.Л, Ушивцев В.В. Особенности донных биоценозов, возникающих в местах расположения ликвидированных скважин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2011. - № 10. - С.63-67.
5. Davis N., Van Blaricom G.R., Dayton P.K. Man-Made Structures on Marine Sediments: Effects on Adjacent Benthic Communities. Marine Biology. 1982, vol. 70, pp. 295-303.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ МАРИКУЛЬТУРЫ МОЛЛЮСКОВ

Ю.Б. Елецкий¹, И.Ю.Елецкий², М.Ю. Кужель³

¹ Учреждение Российской академии наук «Южный научный центр РАН», г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: elezkiy@pn.kubannet.ru

² ООО «НК «Приазовнефть», г. Краснодар, ул. Кирова, 99

³ ООО НИЦ «Морские Технологии», г. Краснодар, ул. Красных партизан, 413

Ключевые слова: Черное море; марикультура; культивирование; океанологические условия; фитопланктон; зоопланктон; кормовые ресурсы; загрязнение; антропогенные факторы.

Keywords: Black Sea; mariculture; cultivation; oceanographic conditions; phytoplankton; zooplankton; food stock; pollution; anthropogenic factors.

Abstract

The article covers the results of the study of hydrological and environmental conditions typical of the eastern coastal area of the Black Sea, which are used to implement the opportunity of mussel reproduction and commercial breeding at the hydrobiotechnical facilities adjusted to the local conditions. The paper looks into environmental conditions, mussel (*Mytilus galloprovincialis*) biology and dynamics of some biological parameters of mussel natural habitat in the Black Sea.

Введение

Интенсивное развитие марикультуры в мире обусловлено целым рядом факторов, к которым в первую очередь можно отнести: большое разнообразие объектов культивирования с высокими пищевыми, лечебно-профилактическими и лечебными свойствами; возможность проведения постоянного контроля качества продукции, круглогодичное устойчивое производство сырья и получение экологически чистой продукции в нужные сроки.

В настоящее время более 25% мирового объема сырья морского происхождения получают за счет марикультуры – культивируемых ценных видов рыб, беспозвоночных и водорослей. Темпы наращивания объемов культивирования морских объектов во многих странах мира растут в последние годы.

По прогнозам экспертов ФАО, доля марикультуры в стоимостном выражении мировой продукции достигла 50% [11]. Развитие этого направления во многих странах мира осуществляется на уровне национальных программ и базируется на значительных государственных инвестициях [12].

По оценкам экспертов, потенциальные возможности России в производстве аквакультуры составляют 1-2 млн. тонн [3].

Из многих нерыбных объектов марикультуры для Черного моря наиболее перспективен моллюск мидия (*Mytilus galloprovincialis*). Мидии составляют более 50 % мирового объема марикультуры, годовая продукция их достигает 1 млн. тонн [11].

Культивирование моллюсков в Черном море имеет 3 важных аспекта:

- это вид возобновляемого в контролируемых объемах, импортозамещающего ресурса, который расширяет спектр пищевой, кормовой, медицинской и технической продукции;

- увеличение пояса естественных фильтраторов за счет культивирования моллюсков способствует улучшению экологических условий (биомелиорации) в прибрежной зоне;

- увеличение объемов культивирования мидий расширяет масштабы воспроизводства и поддерживает, таким образом, биоразнообразие в Черном море.

Целью данной работы является исследование экологических условий в восточной части Черного моря с точки зрения их пригодности для развития промышленной марикультуры.

1. Общая характеристика восточного Черноморского побережья

Прибрежная часть Черного моря в пределах Краснодарского края составляет около 2%, имеет протяженность 280 морских миль (518 км) по направлению с северо-запада на юго-восток между 40°30' с.ш. и 45°07' с.ш., и вытянуто узкой полосой от основания Таманского полуострова до реки Псоу,

пограничной с Грузией.

Побережье входит в состав Крымско-Кавказской горной страны и является частью Причерноморско-Кубанской провинции. С севера Черноморское побережье ограничено хребтами Большого Кавказа и характеризуется преимущественно низкогорным рельефом с абсолютными высотами 600-700 м в районе г. Анапа и до 2500 м в районе г. Сочи. Основными орографическими элементами Черноморского побережья являются параллельные эрозионно-денудационные гряды и хребты, разделенные продольными межгорными депрессиями и поперечными речными долинами. Большинство гряд, хребтов, межгорных понижений располагаются в северо-западном направлении.

Эрозионный характер рельефа Черноморского побережья определен антиклинальным строением хребтов и литологическим составом отложений. Это зона меловых и палеогеновых флишевых осадков.

Климат побережья характеризуется как переходный от восточно-средиземноморского типа к влажному субтропическому, отличается сухим и очень теплым летом, отрицательных среднемесячных температур практически не бывает [5].

Основными климатообразующими факторами здесь являются горы, преграждающие путь холодным массам воздуха с севера и северо-востока, и Черное море, оказывающее смягчающее воздействие на климат, как зимой, так и летом.

Количество атмосферных осадков увеличивается в направлении от Новороссийска до Туапсе, Сочи (от 600 мм до 1500 мм с максимумом зимой). В северо-восточной части Черного моря часты сильные шквальные ветры восточных румбов (Новороссийская бора), это зона взаимодействия воздушных масс, которые изменяются по сезонам. Сезонная смена типов атмосферной циркуляции характеризует только преобладающие ветровые потоки и может нарушаться в отдельные периоды под влиянием местных атмосферных условий.

Горные хребты вызывают конденсацию влаги и резкое увеличение атмосферных осадков по сравнению с равнинной частью побережья. Этим в большей мере определяется и распределение водотоков.

Зима на Черноморском побережье Краснодарского края не настолько мягкая, чтобы растения могли вегетировать круглый год, как в субтропиках. На участке от Таманского полуострова до Михайловского перевала холодные континентальные воздушные массы зимой могут прорываться на побережье, перевалив через горы. Здесь довольно часто повторяются низкие температуры зимой (в Новороссийске и Геленджике в отдельные годы бывают морозы до $-21...-24$ °С), однако зима все же более теплая, чем на соседней равнине Предкавказья. Лето обычно ясное и жаркое. Осадки выпадают в осенне-зимний период преимущественно в виде дождя, но количество их за год не велико. Существует вероятность возникновения опасных паводков в реках побережья, в летнее и осеннее время.

2. Соответствие условий окружающей среды задачам воспроизводства и культивирования моллюсков

При выборе места для создания хозяйства по воспроизводству и культивированию моллюсков (мидии), в первую очередь следует ориентироваться на районы с максимальной интенсивностью оседания личинок, а также на районы их возможного подращивания. При организации хозяйств выростные участки должны быть расположены как можно ближе к местам первичной переработки или в районах с развитой транспортной инфраструктурой.

Для определения районов установки мидийных носителей необходимо исследовать температурный режим района, соленость и содержание растворенного кислорода в воде, кормовую базу, плодовитость моллюсков, сроки их размножения и выхода половых продуктов, сезонную динамику численности и распределения личинок мидий, длительность пелагического периода личиночных стадий мидий. Это позволит определить подходящие сроки и

районы для постановки коллекторов, а также глубину их установки. Большое значение при размещении мидийных носителей имеют океанологические исследования циркуляции водных масс, а также изучение рельефа и структуры дна.

Обоснование размещения марихозийств в восточной части Черного моря основывается на анализе соответствия экологической обстановки условиям выращивания мидий. В зависимости от уровня загрязненности районы выращивания можно разделить на пригодные, условно пригодные, ограниченного применения и непригодные. В настоящее время в прибрежной зоне восточной части Черного моря имеются возможности для получения как кормовой, так и пищевой мидии, а также имеются участки, требующие проведения биомелиоративных мероприятий.

Значительное влияние на формирование полей гидролого-гидрохимических параметров в прибрежной зоне восточной части Черного моря оказывают вихревые структуры Кольцевого Циклонического течения (КЦТ), ранее называвшегося Основным Черноморским течением (ОЧТ), и речной сток [6].

При постановке мидийных плантаций необходимо учитывать возможность выноса из района размещения коллекторов продуктов жизнедеятельности моллюсков. Основным фактором, обеспечивающим вынос метаболитов, является местная циркуляция водных масс.

Циркуляция вод. В прибрежной зоне российской части Черного моря циркуляция вод определяется КЦТ с генеральным направлением на северо-запад, а также локальными апвеллингами. На его прибрежной периферии формируются антициклонические вихревые образования, смещающиеся вместе с потоком. Однако скорость их смещения ниже скорости потока и составляет 7-10 см/с. Центр антициклона обычно располагается в зоне свала глубин. При размере вихря 40-60 км его периферия проходит в 1 км от берега. В этом случае интенсифицируется вдольбереговое течение (ВБТ), направлен-

ное на юго-восток. В зоне устьев рек, в условиях интенсивного речного стока, происходит захват речных вод и формирование антициклонических линз с распресненной водой, которые, прокатываясь по периферии топографического антициклона, попадают в струю антициклона. Скорости перемещения линз близки к скоростям основного потока, поэтому они движутся быстрее топографических вихрей. Перспективно размещать мидийные плантации в зоне апвеллинга, так как поднимающаяся вода будет захватывать со дна накопившиеся продукты жизнедеятельности мидий, выносить их на поверхность, где в результате интенсивного ветрового перемешивания будет происходить их распыление и снос дрейфовым течением на удаление до 12 км от берега [10]. Течения и циркуляция водных масс не ограничивает развитие марикультуры.

Мидии чувствительны к изменению *температуры* и оптимальными для их жизнедеятельности является температура воды зимой не ниже 3°C, летом – не выше 30°C. По средним многолетним показателям температурные условия не ограничивают размещение хозяйств.

Соленость. Поскольку у мидий отсутствуют механизмы регуляции осмотического давления и концентрации ионов в гемолимфе, они способны переносить широкие колебания солености. Однако при солености ниже 11‰ молодь не оседает, а при 8‰ происходит резкое замедление роста. Оптимальная соленость находится в пределах 15-20‰, что обеспечивает нормальный гаметогенез, рост, нерест, развитие и оседание личинок [8].

Речной сток оказывает значительное влияние на формирование полей гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик поверхностного слоя воды прибрежной зоны. В соответствии со степенью влияния речного стока прибрежная зона восточной части Черного моря подразделяется на районы, подверженные постоянному распреснению, районы с сезонным распреснением и районы с незначительным влиянием речного стока. Наиболее благоприятны для размещения мидийных плантаций районы с незначительным распреснением. В зонах с сезонным и постоянным

распреснением наблюдается значительная элиминация (опадение) мидий с коллекторов - искусственных носителей [2, 5].

Содержание растворенного кислорода. Мидии, используя гликолиз, какое-то время могут существовать в условиях кислородного дефицита. Так при понижении насыщения воды кислородом менее 40% рост мидий замедляется в 2,5 раза, а при 20% - в 27 раз. При 10% насыщении мидии не растут [8]. Для обеспечения нормального роста мидий необходимо, чтобы морская вода была насыщена кислородом не менее чем на 80%. Дефицита растворенного кислорода в поверхностном слое морских вод прибрежной зоны в восточной части Черного моря не обнаружено.

Минеральные кормовые ресурсы. Гидрохимические исследования в районах размещения мидийных хозяйств приобретают особое значение, поскольку позволяют объективно оценить уровень концентрации биогенных элементов, определяющих степень первичного продуцирования и в итоге "кормность" выбранного района. Анализ соотношений минеральных и органических форм биогенных элементов дает важную информацию об обеспеченности фитопланктона биогенными веществами, накоплении органики в тех или иных зонах, о поступлении в море неорганических форм биогенов со стоком рек.

Исследования показывают [4], что процентное содержание органического азота в общем азоте в водах восточного побережья Черного моря составляет 60-90% на глубоководных и 50-75% на прибрежных станциях. Понижение доли органического азота вблизи берега преимущественно связано с выносом береговыми стоками неорганических форм азота. В то же время увеличение содержания органических форм азота в направлении берег-море свидетельствует об убывании концентрации неорганических форм, в результате смешения прибрежных вод с водами открытого моря, а также вследствие активного потребления минеральных соединений азота фитопланктоном. Наименьшие концентрации органического азота наблюдаются в период

летней "депрессии" фитопланктона - около 1,0-2,0 мкг-ат/л. Во время "вспышек" развития водорослей концентрации органического азота значительно возрастают - 15,0-20,0 мкг-ат/л. Наибольшие концентрации органического азота в целом соответствуют наиболее продуктивным участкам восточной части Черного моря и достигают 40,0 мкг-ат/л.

Кормовые ресурсы для культивируемых моллюсков. Содержание хлорофилла "а" в морской воде - важный биогидрохимический показатель, дающий ценную информацию о продуктивности данного участка моря, а также об эколого-физиологическом состоянии фитопланктона - неперенного звена трофических цепей морских экосистем и кормового объекта многих культивируемых гидробионтов.

Различия в содержании хлорофилла в водах различных районов шельфа определяются с одной стороны, климатическими особенностями, с другой - местными океанологическими условиями. Анализ многолетних данных по распределению хлорофилла "а" в шельфовых водах Черного моря [3], показал, что прибрежные участки (полигоны) восточного шельфа моря можно разделить на следующие группы:

1. Группа полигонов с явно выраженным высоким уровнем трофности вод: юго-восточный шельф (район Адлер-Сочи). Концентрация хлорофилла "а" на этих участках в течение всего года выше условной границы между мезо- и эвтрофными водами, составляющей 1 мг/м³, в периоды "вспышек" развития фитопланктона достигает 3-5, на отдельных участках до 10 мг/м³. Основной причиной, приводящей к поддержанию таких концентраций, является сток кавказских рек, создающих обширную зону распреснения в районе Адлера и поставляющих большое количество биогенных элементов, что вызывает активное развитие фитопланктона.

2. Группа полигонов с временно эвтрофными водами (районы Тамань, Утриш, Новомихайловский, Головинка, Небуг, Геленджикская бухта). Содержание хлорофилла в этих районах большую часть года колеблется в пре-

делах 0,5- 1,0 мг/м³ и лишь в периоды максимального развития фитопланктона может достигать 1,5-2,0 мг/м³. На северо-восточном шельфе (район мыса Утриш) наибольшие концентрации этого пигмента отмечаются после действия апвеллинга, а в районе Тамани они связаны с выходом азовоморских вод. В Геленджикской бухте определяющими являются береговые стоки и рекреационная нагрузка на воды бухты. Южнее (Новомихайловка, Головинка, Небуг) на продуктивность прибрежной экосистемы влияют стоки рек Шахе, Нечепсухо, Головинка и др.

3. Группа полигонов со средним уровнем трофности (Пшада, Озереевка, Мысхако). Содержание хлорофилла “а” в течение года редко превышает 0,5 мг/м³.

Приведенная классификация полигонов относится к прибрежным водам с глубинами до 50 м. Однако, шельфовые воды далеко не однородны по своей продуктивности и гидролого-гидрохимическим характеристикам. Исследования показали [3,5,6], что вдоль восточного побережья Черного моря отчетливо выделяется фронтальная (конвергентная) зона, которая обычно приурочена к свалу глубин (100-500м) и располагается между прибрежными водами и водами КЦТ. Фронтальная зона хорошо просматривается на картах распределения хлорофилла “а” в поверхностном слое моря. Превышение концентраций пигмента на поверхности фронтальной зоны вдоль восточного шельфа моря в сравнении с прибрежными водами и водами КЦТ составляет 2-3 раза. Так, на северо-восточном шельфе (Геленджик-Анапа) вблизи берега концентрация хлорофилла “а” составляет около 0,5 мг/м³, во фронтальной зоне – 0,8-1,2 мг/м³. Кроме того, анализ вертикального распределения хлорофилла “а” показывает, что в пределах фронтальной зоны наблюдаются подповерхностные максимумы пигмента, глубина залегания которых составляет 20-30 метров.

Во фронтальной зоне также отмечается максимальное содержание хлорофилла “а” в столбе воды в пределах эвфотического слоя (так называемый

“запас”). Севернее содержание пигмента в столбе воды составляет около 45 мг/м³ в районе Гагра-Лазаревское, 25-30 мг/м³ на участке Лазаревское - Геленджик и около 30 мг/м³ в районе Геленджик – Анапа.

Широкомасштабные исследования распределения хлорофилла “а” в Черном море позволили произвести расчет содержания пигмента в эвфотической зоне различных районов моря. Полученные данные позволяют сделать ряд важных выводов. Во-первых, примерно две трети общего количества хлорофилла в Черном море, участвующего в процессе фотосинтеза (в пределах эвфотической зоны), приходится на шельфовые воды и лишь одна треть - на глубоководные районы с глубинами более 1000 м. При этом мелководная северо-западная часть в своих водах содержит около 43% пигмента. Наименее эвтрофированы прибрежные воды Крыма (0,51%) и восточного шельфа в пределах Краснодарского края (1,19%). Последнее обстоятельство объясняется небольшим количеством рек, особенно на северо-восточном участке, способствующих эвтрофированию прибрежных акваторий, а также отсутствием обширных мелководий и относительной близостью свала глубин и струи ОЧТ.

Фитопланктон. Видовой состав фитопланктона прибрежных вод восточной части Черного моря по результатам собственных исследований авторов в 2010-2012 г. был представлен 150 видами. Из них 55 относились к диатомовым, 85 - к перидиниевым, 18 - к зеленым, 13 - к сине-зеленым, 3 - к хризофитовым, 2 - к кренежгутиковым и 1 - к криптомонадам.

Преобладающими были роды: из диатомовых *Chaetoceros* - 10 видов, *Navicula* - 7, *Nitzschia* - 6, *Rhizosolenia* - 3; из перидиниевых *Ceratium* - 3 вида, *Exuviella* - 5, *Glenodinium* - 5, *Goniaulax* - 6, *Gymnodinium* - 5, *Peridinium* -13. Диатомовые водоросли рода *Chaetoceros* встречались преимущественно в июне-августе, что свидетельствует о нарушении хода сукцессии фитопланктона. Только для майского фитопланктона были характерны такие виды как *Coscinodiscus janishii*, *Tahalassiosira nana*, *Th. antiqua* var *septata*, *Th. excentrica*,

Dynophysis ocuta, *D. fortii*, *Phalacroma pulchellum*, *Destephanus speculum*, *Ebria tripastita*. В августе отмечались виды *Chaetoceros insignis*, *Ch. scabrosus*, *Ch. socialis*, *Ch. attinis*, *Ceratulina bergonii*, *Amphora poludosa*, *Ditylum brigwellii*, *Gramatophora serpentina*, *Pinularia longipis*, *P. rigidum*, *Dinophysis caudata*, *D. acuminata*. *Goniaulax polyedra*, *G. spenifera* *Gymnodinium aquile*, *Peridinium brevipes*, *P. depressum*. Остальные виды наблюдались в планктоне с мая по август.

Биомасса планктона отличалась неоднородным пространственным распределением. Максимальные значения биомассы и численности водорослей отмечались южнее Аше и севернее Озереевки (табл.1).

Таблица 1

Среднегодовое распределение численности (в числителе, млн.кл./м³) и биомассы (в знаменателе, мг/м³) фитопланктона восточной части Черного моря в летний период

Полигоны	Глубина, м			Среднее
	0	20	40	
Мацеста	<u>558,4</u>	<u>185,4</u>	<u>48,0</u>	<u>297,9</u>
	2210,2	397,7	145,0	917,6
Головинка	<u>179,3</u>	<u>162,9</u>	<u>130,5</u>	<u>157,5</u>
	631,6	341,2	426,5	466,4
Аше	<u>235,2</u>	<u>66,2</u>	<u>249,7</u>	<u>187,7</u>
	860,1	186,4	624,7	557,1
Магри	<u>125,9</u>	<u>121,8</u>	—	<u>123,8</u>
	657,6	346,2		501,9
Новомихайловский	<u>156,0</u>	<u>249,8</u>	<u>114,0</u>	<u>173,3</u>
	685,6	585,8	412,9	561,4
Бухта Инал	<u>167,1</u>	<u>302,4</u>	<u>264,5</u>	<u>244,6</u>
	693,8	1099,9	650,3	814,6
Озереевка	<u>956,8</u>	<u>545,4</u>	—	<u>751,1</u>
	679,3	839,1		759,2
Б. Утриш	<u>615,5</u>	<u>553,7</u>	<u>152,2</u>	<u>440,5</u>
	752,0	481,1	477,0	570,0

В мае самые высокие показатели биомассы наблюдались в районе банки Мария Магдалина и мыс Железный Рог, где немаловажную роль по-

видимому играет вынос в Черное море азовоморских вод, богатых биогенными элементами. Для района Аше - Новомихайловка характерны более низкие величины биомассы и численности микроводорослей. В формировании продуктивности вод южных полигонов большую роль играет речной сток. В августе биомасса планктона в районе Мацесты на поверхности достигает более 3 г/м^3 .

Таблица 2

Среднегодовое распределение численности (в числителе, млн.кл./м³) и биомассы (в знаменателе, мг/м³) фитопланктона в восточной части Черного моря в весенний период

Полигоны	Глубина, м			Среднее
	0	20	40	
Адлер	<u>82,5</u>	<u>271,4</u>	<u>449,6</u>	<u>147,9</u>
	317,4	420,2	351,5	287,7
Головинка	<u>251,7</u>	-	<u>199,7</u>	<u>157,6</u>
	207,1		170,3	322,1
Аше	<u>75,8</u>	-	<u>509,7</u>	<u>187,9</u>
	163,4		328,8	279,9
Магри	<u>275,3</u>	-	<u>283,2</u>	<u>181,8</u>
	328,9		391,1	207,5
Новомихайловский	<u>467,8</u>	-	<u>166,4</u>	-
	566,9		184,3	
Бухта Инал	<u>918,8</u>	-	<u>768,8</u>	<u>438,8</u>
	578,8		428,2	238,2
Озереевка	<u>746,7</u>	-	<u>476,6</u>	<u>78,7</u>
	1090,0		299,8	137,0
Утриш	<u>188,6</u>	-	<u>865,9</u>	
	884,0		503,4	
Анапа, банка Марии Магдалины	<u>1954,9</u>	-	<u>607,7</u>	<u>180,4</u>
	1130,4		495,3	475,5
Мыс Железный рог	<u>409,4</u>	-	<u>1413,4</u>	<u>782,2</u>
	674,0		856,5	1076,7

В мае максимальная численность токсичной водоросли рода *Dunophysis* не превышала 1800 кл/м^3 в районе мыса Железный Рог. В августе наиболее высокая численность этого вида на свале глубин в районе мыса Утриш (ст.2) - 2000 кл/м^3 и в районе Новомихайловки (ст.1), где численность водорослей

составляла 2800 и 2400 кл/м³ (горизонты 0 и 20 м соответственно). На полигоне Мацеста, где отмечалось летнее “цветение” динофлагеллят, численность этого вида не превышала 1200 кл/м³. Основные количественные показатели фитопланктона в весенний период представлены в табл.2.

Зоопланктон. Наиболее массовыми видами в зоопланктоне в период 2010-2012 гг. были *Acartia clausi*, *Oithona similis* (присутствовали практически все возрастные стадии) (табл. 3). Характерной особенностью весеннего периода является наличие большого количества личинок различных планктеров - *Balanus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Mytilus* и др.

Таблица 3

Видовой состав зоопланктона на различных полигонах и станциях восточной части Черного моря

Полигон	Мацеста			Головинка			Аше		Магри		Новомихайловский			Бухта Инал		Анапа			
	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	4
Виды:																			
<i>Acartia</i> O	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>clausi</i> O	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
III	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
IV	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
V																			

Но наибольшее развитие в весенний период получает *Noctiluca miliaris*. Ее биомасса на всех полигонах восточного шельфа в несколько раз превышала биомассу отдельных планктеров. Летом видовой состав зоопланктона значительно изменяется. Доминирование копепод сменяется массовым развитием видов группы Cladocera - *Evadne spiniphora*, *Penilia*, *Pleopis tergestina* и др. Биомасса кладоцер значительно превышает биомассу отдельных групп на фоне минимального развития ноктилюки.

Бентос и промысловые моллюски. Исследования макрозообентоса показали, что наиболее часто встречаемыми видами на восточном шельфе Черного моря являются *Spisula subtruncata* (численность - 80 экз./м²; биомасса -

48 г/м²) и *Chamelea gallina* (численность - 30 экз./м²; биомасса – 43,5 г/м²) [1]. Реже встречаются *Pitar rudis*, *Nephtis hombergii*, *Abra ovata*, *Amphiura stepanovii*. В районе Утриша доминирующими видами являются *Spisula subtruncata*, *Mytilus galloprovincialis*, *Caliptreae chinensis*. В незначительных количествах встречаются *Abra ovata*, *Polititapes petalina*, *Amphiura stepanovii*, *Nereis diversicolor*, *Mellina palmata*, *Asciidiella aspersa*.

В июле-августе 2014 г. авторами были выполнены работы по предварительной оценке ареала обитания промысловых моллюсков на участке шельфа Адлер - Озереевка. За период работ в обследуемом районе практически повсеместно были отмечены естественные поселения донной мидии. На участках Дагомыс-Сочи наибольшие уловы мидии отмечались на глубинах 50-55 метров. В скоплениях мидий 75 % особей были представлены моллюсками до 40 мм длиной. Модальные размеры вариационного ряда находились в пределах 20-50 мм, возраст крупных особей (50-70 мм) - в пределах 3+ - 4+. На глубинах 55-75 м популяция мидий была представлена особями с длиной створки до 25 мм, из них основная масса мидий (89,3%) имела длину створки 5-13 мм.

На глубинах 30-35 метров концентрация мидий в донных поселениях была на 1-2 порядка ниже, на этих глубинах преобладала рапана, средняя плотность которой составляла 0,192 экз./м². В уловах максимальная длина особей достигала 100 мм. Модальные размеры рапаны в вариационном ряду составляли 40-90 мм.

Кроме рапаны в уловах трала и драги на глубинах 10-35 м практически повсеместно от Адлера до мыса Железный Рог встречалась кунearка, концентрация которой в районах Сочи-Магри в среднем составляет 0,015 экз./м². Пустые створки кунearки в отдельных районах достигали 97,3 % (пустые створки учитывались отдельно). Размеры кунearки в районе Сочи-Озереевка колебались в пределах 20-60 мм.

Искусственное выращивание мидий на коллекторах позволяет сконцентрировать моллюсков до плотности, превышающей естественные поселения в несколько раз. Размерный ряд выращиваемых мидий на коллекторах изменяется в процессе ее роста более равномерно и может искусственно регулироваться за счет выборочного снятия с коллекторов товарной мидии. Длина створок коллекторной мидии в районе Аше-Магри, в августе 2010 г. в среднем составляла 36,6 мм, при этом доля молоди весеннего оседания по численности в процентном отношении достигала 98,7%.

Особенности питания культивируемых моллюсков. Мидии питаются в основном детритом и протистами (диатомовыми, перидиниями), хотя в составе их пищи встречаются одноклеточные организмы, мелкие беспозвоночные. В желудках мидий *M. galloprovincialis* обнаружено 48 видов планктонных водорослей, среди которых 41 вид был представлен диатомовыми. Все встреченные виды водорослей имели округлую или овальную форму. Их размеры колебались от 20 до 90 мкм. Значительную часть кишечника мидий занимал детрит. В качестве второстепенной пищи использовались мелкие беспозвоночные, их личинки, яйца, простейшие. Таким образом, в период цветения фитопланктона основной пищей мидий являются водоросли, которые необходимы им для нормального развития. Наиболее эффективно мидии задерживают частицы размером 2-3 мкм.

3. Факторы, ограничивающие воспроизводство мидии и развитие марикультуры в российской части Черного моря

Факторами, ограничивающими воспроизводство моллюсков и развитие марикультуры, являются загрязнение, а также гидродинамические условия в отдельных зонах моря, и орография дна [3].

Из большого числа загрязнений тяжелые металлы (ТМ), нефть и её производные – самые опасные. По исследованиям, проведенным весной-летом 2012-2014 гг., содержание нефтяных углеводородов превышало предельно

допустимую концентрацию (ПДК) в районе Тамань-Новороссийск (0,06 мг/л) и в районе порта Туапсе (0,08 мг/л), причем область загрязнения распространялась вдоль берега на 10-15 миль как на север, так и на юг. В мористой части (10 миль от берега) содержание нефтепродуктов находилось ниже ПДК и составляло 0,03 мг/л.

По среднемноголетним наблюдениям можно сделать также вывод о максимальном накоплении нефтяных углеводородов (НУ) в воде в летний период вследствие слабого перемешивания в районах активного судоходства, портов Туапсе, Новороссийск, Анапа, и якорных стоянок.

Хлорорганические пестициды (ХОП) при проведении работ в восточной части Черного моря были обнаружены в районе Туапсе: концентрация ДДТ там составляла около 10 нг/л. На остальных акваториях концентрация ДДТ не превышала 0,1 нг/л.

В результате естественного цикла жизни мидий-фильтраторов на искусственных субстратах происходит накопление ими загрязненных компонентов [10]. Например, накопление ХОП в клетках фитопланктона, которыми питаются мидии, может превышать в 10^5 - 10^6 раз их уровень в воде. Одна особь мидии размером 4,5 см пропускает через себя около 100 литров воды в сутки. Установка производительностью 50 тонн в год отфильтровывает 1 км^3 воды в год, при этом мидии извлекают до 1,7 тыс. тонн фитопланктона, усваивая его на 80 - 90%, утилизируя, таким образом, химические соединения, в т.ч. и загрязнения. Как показали исследования, накопление в мягких тканях и створке мидии тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni, Co, Mn, Cr, Zn) особенно интенсивно идет в первый год жизни [10].

Как известно, повышенное содержание тяжелых металлов приурочено обычно к предустьевым участкам рек, местам сбросов сточных вод [9]. В весенне-летний период, по многолетним данным, содержание меди менялось от 5-9 мкг/л в придонном слое в районе Анапы, до 66 мкг/л в поверхностном слое в районе Новороссийска и Туапсе, содержание свинца - от 3 до 9 мкг/л в

целом по побережью, за исключением районов Новороссийска и Туапсе, где оно достигало 69 мкг/л. По кадмию превышения ПДК не зафиксировано, наблюдалось некоторое увеличение его концентрации в районе Новороссийска в поверхностном слое. Содержание ртути и железа не превышало ПДК во всей прибрежной зоне. ПДК по цинку были превышены в 1,5 раза в среднем по российской части Черного моря, и до 30 раз в районах городов Новороссийск, Геленджик, Туапсе. Ниже ПДК концентрация цинка наблюдалась только у мыса Железный Рог.

Таким образом, в результате исследований были определены устойчиво чистые акватории, участки с переменным режимом загрязнения и устойчиво загрязненные акватории.

Эпизоотии черноморской мидии. Для оценки эпизоотической ситуации были проведены паразитологические исследования мидий различных размерно-возрастных групп из донных поселений, обрастаний скал и гидротехнических сооружений, а также моллюсков, выращенных на коллекторах в северо-восточной части Черного моря.

Фауну паразитов и комменсалов мидий изучали методом полного и частичного паразитологического вскрытия. С целью выявления моллюсков-хозяев грегариин кроме мидий на наличие этого паразита дополнительно были исследованы: плоские европейские устрицы, спизулы, хамелея и вселенец в Черное море - куннарка.

В мидиях из донных поселений и обрастании гидротехнических сооружений в районе мыса Б. Утриш были обнаружены следующие паразитологические, комменсальные и свободноживущие организмы: грегарины *Nematopsis legeri*, инфузории (*Ancistrum mytili*, *Peniculistoma mytili*), турбеллярии *Urustoma mytili*, нематоды и копеподы.

Группа перфораторов раковин моллюсков в сборах представлена лишь сверлящей губкой клионой, хотя ранее (1986-1989 гг.) у мидий в этом районе

были описаны [9] еще три вида сверлильщиков (полихета *Polydora oiliata* и двустворчатые моллюски *Petricola lithophaga* и *Gastrochaena dubia*).

Наибольшую опасность для мидий в районе мыса Б. Утриш – Ю. Озеревка представляют грегарины, которые являются возбудителями заболевания, получившего название нематопсиоз. Негативное влияние на мидий при массовой инвазии могут оказывать и турбеллярии.

Кроме мидий грегарины найдены нами также в устрицах и впервые для Черного моря в хамелеи - одном из наиболее массовых видов двустворчатых моллюсков у берегов Кавказа. Таким образом, очаг нематопсиоза может быть спровоцирован и другими видами двустворчатых моллюсков и в тех районах, где поселения мидий отсутствуют.

Проведенные нами исследования выявили сходство паразитофауны между мидиями естественных поселений и моллюсками, выращиваемыми в толще воды на коллекторах. Исключение составляет лишь отсутствие у культивируемых мидий сверлящей губки клионы.

В коллекторных мидиях (сеголетки, годовики) в районе Головинка-Адлер обнаружены только инфузории и копеподы, что, возможно, связано с отсутствием в этом районе крупных поселений мидий, являющихся важнейшим фактором формирования паразитоценоза культивируемых моллюсков.

В целом районы восточной части Черного моря в настоящее время могут быть отнесены к наиболее благополучным по эпизоотической обстановке. Вместе с тем, наряду с организацией постоянного паразитологического контроля в районах размещения мидийных плантаций у берегов Кавказа, особое внимание следует уделить исследованиям в области экологии и патогенеза грегариин – самого массового у берегов Крыма и Кавказа паразита мидий и устриц.

Заключение

Обоснование размещения марихозяйств в восточной части Черного моря должно основываться на анализе соответствия современной экологической обстановки условиям выращивания мидий.

Проведенные исследования показали, что климатические условия восточной части Черного моря в целом благоприятствуют размещению морских ферм. По температурному и соленостному режимам, токсикологическим условиям и кормовой базе были выделены районы, наиболее пригодные для размещения модульных мидийных хозяйств мощностью от 100 до 200 тонн в год. К ним относятся прибрежные воды в районах Тамани, Б. Утриша, М. Утриша, бухты Инал, пп. Новомихайловский, Небуг, Магри, Аше, Головинка, г. Адлер. Отсутствие концентрированных стоков загрязняющих веществ, высокая кормность района, наличие естественных поселений мидий, высокое содержание в планктоне личинок мидии делают эти районы привлекательными для целей промышленной марикультуры.

Как правило, в восточной части Черного моря четко выделяются два пика нереста мидий, в феврале-марте и апреле-мае, с максимумами в конце февраля и середине апреля - начале мая. Наблюдается перенос течением личинок мидии из районов расположенных восточнее (Адлер, Магри, Небуг,) в западные (Бухта Инал, Б.Утриш, Тамань).

Проведенное районирование прибрежной зоны восточной части Черного моря по содержанию загрязняющих веществ позволило выделить районы, в которых нежелательно размещать мидийные плантации для получения пищевой продукции (районы близкие к портам Сочи, Туапсе, Новороссийска, Анапы) в связи с высоким уровнем загрязнения. Ограничивающим фактором для размещения ферм в прибрежной зоне также является сток рек с неравномерным паводком и наличием селевых потоков. Однако его воздействие (распреснение, повышенное содержание взвесей, загрязнение селевыми зал-

повыми сбросами) ограничивается очень узкой прибрежной полосой и не затрагивает зону, расположенную за пределами 0,5 миль от берега.

При создании товарных хозяйств рекомендуется предусмотреть проведение экологического мониторинга и контроля, которые позволят отслеживать и минимизировать неблагоприятные для процесса выращивания факторы: эвтрофирование, загрязнение в т.ч. микробиологическое, другие природные и антропогенные процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Р.П., Синегуб И.А. Микрзообентос и донные биоценозы Черного моря на шельфах Кавказа, Крыма и Болгарии // Экология прибрежной зоны Черного моря. -М.: ВНИРО, 1992. - С. 218-234.
2. Вишневский С.Л., Коваленко Ю.И., Петрашов В.И. и др. Некоторые аспекты выращивания мидий в Азово-Черноморском районе // Тез. докл. Первой междунар. конф. «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки». - М., 2002. – С. 7.
3. Елецкий Б.Д. Концепция сохранения и использования запасов двусторчатых моллюсков мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в восточной части Черного моря: диссертация ... доктора биологических наук: 03.00.32, 03.00.23.- Краснодар, 2006.- 491 с.
4. Елецкий Б.Д., Коновалов С.К., Лукьянова А.Н. Гидрохимические особенности прибрежной зоны Черного моря // Экология прибрежной зоны Черного моря. - М.:ВНИРО, 1992. - С. 42-59.
5. Елецкий Б.Д., Нагалецкий Ю.Я., Тюрин В.Н. Географические аспекты развития промышленной марикультуры в российской части Черного моря // География Краснодарского края. – Краснодар. - 1994.- С. 199-207.
6. Елецкий Б.Д., Ткаченко Ю.Ю., Козлов Ю.И. и др. Атлас карт распределения океанологических параметров в прибрежной зоне восточной части Черного моря. - Краснодар: Агропромполиграфист, 1991. -150 с.
7. Елецкий Ю.Б., Наумов А.В. Основные экономические показатели воспроизводства и товарного выращивания мидий в российской части Черного моря // Наука Кубани. - Краснодар – 2000. -№ 6.
8. Иванов В.Н., Холодов В.И., Сеничева М.И. и др. Биология культивируемых мидий. - Киев: Наукова думка, 1989.-106 с.
9. Петрашов В.И., Вишневский С.Л., Яхонтова И.В. и др. Культивирование мидий на Черноморском побережье России: опыт проблемы, перспективы // Прибрежное рыболовство и аквакультура. Аналитическая и реферативная информация. – М: ВНИЭРХ, 2004. - С 20-39.

10. Петрашов В.И., Елецкий Ю.Б., Крючков В.Г. Экологическая функция моллюсков культивируемых на искусственных носителях // Наука Кубани. – Краснодар, 2000. - №7.
11. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. – Рим: Департамент рыболовства и аквакультуры ФАО, 2010. – 246 с.
12. Стратегия развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 года. – М.: Минсельхоз РФ, 2007. [Электронный ресурс] URL: www.mcx.ru / Новые документы.

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ДОННЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ И БИОТЫ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

А.А. Курапов¹, В.Б. Ушивцев¹, Н.Б. Водовский¹, Е.В. Колмыков²

¹Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина 6, офис 5, e-mail: caspy@bk.ru

²ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, 1/2

Ключевые слова: Северный Каспий; морская среда; морская биота; видовой состав; мониторинг загрязнения; донные станции.

Keywords: Northern Caspian; marine environment; marine biota; species composition; marine pollution monitoring; bottom sampling device.

Abstract

This paper presents an approach to monitoring of the state and pollution of the environment and biota in the Northern Caspian by means of bottom sampling devices installed at the sea floor and playing as submerged artificial reefs. The most suitable shape and construction of the device is described. The choice of the most relevant species to monitor the changes in the environment and biotic communities is justified. The authors argue that the analysis of the species composition at and around these sampling devices provides important information to assess the state and pollution of the marine environment.

Введение

Деятельность нефтегазодобывающих компаний на шельфе морей предусматривает строительство поисково-разведочных, эксплуатационных скважин, стационарных платформ, трубопроводов и прочих сооружений,

представляющих опасность для окружающей среды и биоты моря [5, 10, 11]. В российском секторе Каспийского моря нефтегазодобыча и все операции, связанные с транспортировкой нефти, осуществляются по принципу нулевого сброса [9]. Однако, постоянно отмечаются нефтяные загрязнения, поступающие на лицензионные участки с прилегающих районов моря. Кроме того космический мониторинг свидетельствует о периодической субмаринной разгрузке насыщенных углеводородами верхних ярусов осадочных пород с выходами углеводородов из грифонов и сипов [1]. Идентификация происхождения, определение путей распространения и степени опасности такого рода загрязнений становится все более актуальной проблемой, как на российских лицензионных участках, так и на всей акватории моря [4, 7]. Для решения подобных вопросов и предназначена представленная в этой работе методика экологического мониторинга с применением донных станций.

В основу разработки метода легла идея искусственного формирования локальных экосистем с высокой степенью сравнимости. Такие экосистемы формируются на донных станциях [8]. В составе экосистем обитает ряд организмов-индикаторов, по состоянию которых оценивается качество окружающей среды в конкретной точке наблюдений. Для контроля за экологическим и токсикологическим состоянием того или иного района моря выставляется сетка донных станций, аккумулирующая информацию о наличии, происхождении, траектории движения, составе и степени опасности того или иного загрязнения.

Оценка благоприятности морской среды Северного Каспия для искусственного формирования локальных экосистем

Северный Каспий является наиболее мелководной частью моря, где условия среды складываются под мощным воздействием водного стока рек Волги и Урала [2]. Вынос реками большого количества биогенных веществ создает высокий потенциал для развития биоты. В то же время дефицит твер-

дых субстратов на подвижных песчано-ракушечных грунтах не позволяет биоте реализоваться в полной мере, поэтому любой достаточно стабильный объект на дне становится центром локального сообщества, отличающегося от фоновых показателей обилием и видовым разнообразием.

В основу предлагаемой методологии легла идея создания более благоприятных, чем фоновые, условий обитания для различных групп животных и растений в морской среде, что позволяет сформировать устойчивую локальную экосистему, привязанную к биотопам универсального субстрата – искусственного сооружения, стационарно помещенного в ту или иную точку на шельфе моря. Такое сооружение авторы назвали «донной станцией». Предполагается, что локальное биологическое сообщество такой станции будет накапливать информацию о качестве окружающей его среды. Эту информацию можно использовать для оценки состояния среды, а донную станцию считать объективной точкой экологического мониторинга.

Новизна этого метода заключается в том, что идея построения сетки станций из локальных экосистем с высокой степенью сравнимости и дальнейшим использованием информационного поля этой сетки для мониторинговых экологических исследований применяется впервые.

Обоснование технических особенностей донной станции для мелководного шельфа Каспийского моря

Как показали подводные наблюдения, динамика водных масс на Северном Каспии, особенно в периоды затяжных штормов, имеет огромный разрушительный потенциал, устоять против которого в условиях открытого моря способно только бетонное сооружение, «прозрачное» для волновой нагрузки, т.е. гасящее напор придонной волны и создающее в своем внутреннем объеме турбулентные потоки, не позволяющие подвижным грунтам замыывать конструкцию снаружи и изнутри.

Таким сооружением, отвечающим всем техническим и экологическим требованиям, стала представленная ниже конструкция донной станции. Это авторская разработка, представляющая собой результат многолетних испытаний. Донная часть станции собрана из бетонных решетчатых элементов. В сборе конструкция имеет высокую степень живучести по отношению к воздействию морской среды (рис. 1).

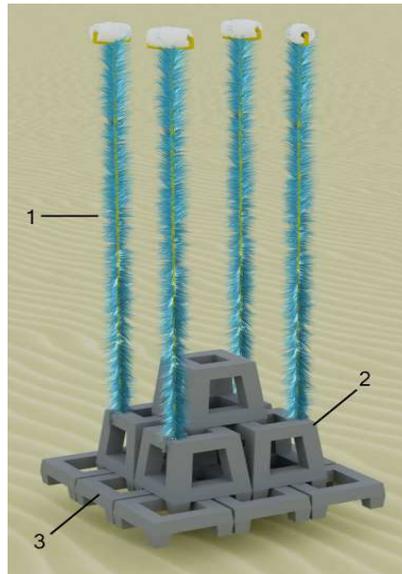


Рис. 1 Общий вид донной станции: 1 - полипропиленовые пелагические модули, 2 - решетчатые донные модули из бетона, 3 - решетчатые модули основания станции

Обоснованием для введения в конструкцию донной станции пелагических модулей послужили этологические исследования, которые показали, что субстрат из полипропиленовых волокон, объединенных в пучки и нанизанных на толстый полипропиленовый канат, создают универсальный биотоп для большого количества животных и растений, предпочитающих обитать именно на нем и дополнять биоразнообразие локального ценоза (рис. 2).



Рис. 2 Общий вид донной станции через 6 месяцев после постановки

Обоснование выбора индикаторных групп животных и растений из ценозов локальных экосистем донных станций

Локальная экосистема донной станции образуется в течение вегетационного периода. На Северном Каспии это время с середины весны до начала осени. Сообщество, пригодное для исследований, формируется уже в июле месяце в первый год установки станции.

Выбор наиболее информативных индикаторных гидробионтов был сделан на основе анализа этологических и экологических особенностей ценозов донных станций (растений, микроорганизмов, беспозвоночных и высших позвоночных организмов) в период проведения тестовых испытаний конструкции в 2006-2009 гг.

Результаты анализа собранных данных о локальных сообществах, населяющих искусственные рифовые конструкции, показали, что их видовой состав в различных районах моря изменялся незначительно и в целом состоял из нескольких основных групп организмов. Большую часть животного сообщ-

щества, стационарно обитающего на субстрате донных станций, занимали обрастатели, прежде всего двустворчатые моллюски (р. *Mytilaster* и р. *Dreissena*) и усоногие раки - *Balanus improvisus*.

Как показали наблюдения, донные станции формировали вокруг себя отложения детрита – остатков органического вещества, входящего в спектр питания многих видов бентофауны, поэтому вокруг станций концентрировались представители инфауны, такие как черви, моллюски, ракообразные, которые по степени оседлости также могут рассматриваться как потенциальные биоиндикаторы. Кроме того наблюдения показали, что вокруг станций, в условиях придонных течений образовывались турбулентные зоны, в которых накапливалась взвешенная органика, переносимая водными потоками. В таких местах концентрировалась индикаторная группа донных фильтраторов – моллюски рода *Didacna*.

В таблицах 1 и 2 показаны представители бентосных сообществ с отметкой о степени их информативности для экологических исследований, которых можно использовать в качестве биоиндикаторов.

Среди *позвоночных гидробионтов* наиболее показательной группой, пригодной для биоиндикации, являются бычки, постоянно обитающие на донных модулях. Находясь на вершине пищевой пирамиды и питаясь преимущественно моллюсками и ракообразными, непосредственно в местах наблюдений, они накапливают в себе информацию об особенностях состояния и загрязнения окружающей среды.

Среди *прикрепленных и подвижных форм*, обитающих на субстрате донных станций, большим разнообразием отличаются микроводоросли.

Ввиду микроскопических размеров этих существ, в разной степени способных к фотосинтезу, их принято обозначать как «микрофиты» - в противоположность макрофитам, имеющим макроскопические размеры. Поскольку микрофиты потребляются в пищу зообентосом и, таким образом, вносят свой вклад в трофические взаимодействия донной экосистемы, а также проявляют

свои реакции на изменения среды, мы рассматриваем эти виды в составе интегральных показателей.

Таблица 1

Численность и биомасса донной фауны на донных станциях и их индикаторные свойства

Вид (группа)	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
<i>Nereis diversicolor</i>	65	0,89
<i>Mytilaster lineatus</i>	75	1,89
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	10	0,13
<i>Abra ovata</i>	3	0,09
<i>Oligochaeta</i>	134	0,12
<i>Stenocuma graciloides</i>	1	0,00
<i>Stenogammarus similis</i>	586	0,38
<i>Hypanis vitrea</i>	0	0,23
<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	1	0,00
<i>Theodoxus pallasi</i>	44	0,95
<i>Didacna bardotdemarnyi</i>	3	5,23
<i>Balanus improvisus</i>	11	0,20
<i>Chaetogammarus ischnus</i>	24	0,01
<i>Niphargoides compactus</i>	0	0,00
<i>Cardiophilus baeri</i>	1	0,00
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	1	0,01
<i>Schizorhynchus scabriusculus</i>	0	0,00
Итого:	956	10,14

Таблица 2

Численность и биомасса рыб и ракообразных на донных станциях и их индикаторные свойства

Вид/группа	Численность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²
р. <i>Neogobius</i>	До 50	До 600
р. <i>Benthophilus</i>	До 5	До 20
<i>Palaemon elegans</i>	До 200	До 200
<i>Palaemon adspersus</i>	До 20	30
<i>Musidae</i>	До 300	3

Примечание. Зеленым цветом выделены информативные индикаторные группы, желтым - потенциально информативные индикаторные группы, красным - неинформативные для биоиндикации группы

Микрофиты – это сборная экологическая группировка организмов, объединённых двумя основными свойствами: микроскопическими размерами и принадлежностью к систематическим группам, в разной степени способным добывать энергию для жизни за счёт фотосинтеза.

Микрофиты населяют самый верхний слой донных отложений, а также поверхности элементов конструкции донных станций. Они образуют сообщества, в составе которых есть организмы, по-разному воспринимающие смену характеристик среды (температуры, солёности, уровня органического загрязнения, в т.ч. эмульгирующего, создаваемого на поверхности частичек донного осадка мазутом и другими вязкими органическими веществами антропогенного происхождения).

На основании сходных реакций на изменения среды, а также размерных, морфологических и физиологических характеристик, микрофиты объединяются в размерно-экологические группы. По соотношению этих групп в составе ценозов можно судить о состоянии среды в текущий момент времени, ибо срок жизни отдельно взятого микрофита составляет, в среднем, не более суток.

Если произошла резкая смена физико-химических свойств среды, то её отражение на структуре микрофитного ценоза можно наблюдать уже через 12-24 часа. За это время сокращается обилие организмов, не приспособленных к новым условиям (одни из них вымирают в ближайшие часы, другие перестают размножаться и, по истечении максимального времени жизни, тоже покидают сообщество). Отдельная группа продолжает жить и размножаться в обычном режиме.

Если форма воздействия на среду не носит радикально-истребляющего характера, то эта группа, получает возможности для эффективного размножения в новых условиях. На основании этих реакций весь набор размерно-экологических групп микрофитов делится на индикаторные группировки.

Например, на поверхности песчинок и фрагментов битой ракуши, образующих поверхностный слой донных отложений, обитают бентические диатомеи (*Bacillariophyta*): одноклеточные существа, одетые в составные панцири из выделяемого их клетками аморфного опала. Их панцири состоят из двух створок, расположенных у большинства диатомей одна над другой, и вставочных элементов между ними. Они используют миксотрофный (смешанный) тип питания, добывая энергию отчасти за счёт фотосинтеза, а также за счёт усвоения растворённых в воде органических веществ.

Поскольку клетка диатомеи одета в прозрачный минеральный панцирь, свет проникает к её хлоропластам свободно, а контакт цитоплазмы с внешней средой происходит через множество пор в панцире. Структура и расположение этих пор, а также форма и размер панциря, и наличие других его элементов, имеющих функциональные нагрузки, служат диагностическими признаками – не только для отнесения диатомеи к определённой систематической группе, но и для её принадлежности к одной из размерно-экологических групп.

В частности, весьма многочисленные в нестрессированных сообществах мелкие диатомеи (до ~15 мкм длиной), обитающие на поверхности минеральных частиц осадка, являются индикаторами отсутствия или же низкой концентрации органического загрязнения (в особенности – эмульгирующего). Эти существа используют неровности минеральной поверхности для прикрепления или же перемещения на незначительные, ввиду своих малых размеров, расстояния.

Поэтому при загрязнении этой поверхности слоем оседающей органики они оказываются неспособны преодолеть создающийся барьер между ними и средой, их панцири покрываются налипающей наноплёнкой органики, переставая пропускать свет, поры закупориваются и клетки вскоре умирают, оставшись погребёнными под слоем эмульгирующего загрязнения прямо на

поверхности своих местообитаний (песчинок и крошек от раковин моллюсков).

Индикаторной группой в биоте Каспия является и *подводная растительность*. Например, такие макрофиты, как лауренсия и полисифония обильно растут в относительно чистых морских водах с невысоким содержанием органики (рис. 3). Другие виды макрофитов такие как энтероморфа, кладофора, напротив, предпочитают обогащенные органикой воды (рис. 4).

Хорошим примером тому могут быть известные всем вспышки развития энтероморфы в прибрежных водах Черного моря, в районах от Анапы до Новороссийска, в пик курортного сезона, когда в воде много органики. Поэтому, в процессе мониторинговых наблюдений на стационарных точках смена состава макрофитов в сообществе служить индикатором изменений качества среды, связанных с органическим загрязнением.



Рис. 3 Заросли полисифонии и лауренсии



Рис. 4 Заросли кладофоры и энтероморфы

Заключение

Таким образом, наши исследования показали, что видовой состав локального сообщества может служить показателем экологического благополучия их местообитания. Например, постоянное присутствие в точке наблюдений того или иного загрязнения сужает спектр видового состава и выводит из

сообщества наиболее чувствительных гидробионтов, что легко определяется сравнительным анализом с показателями подобного сообщества, обитающего в экологически благоприятной фоновой контрольной точке. В случае, если фон загрязнения слабый, а толерантность ценоза достаточно высокая и видовой спектр не меняется, можно определить воздействие токсикантов по физиологическому состоянию (кровь, печень, различные ткани) индикаторных групп животных, либо по концентрации токсикантов в их теле.

Например, бычки, занимающие верхние уровни пищевой пирамиды и питающиеся преимущественно моллюсками-фильтраторами, накапливающими в себе токсические вещества, скорее всего, будут иметь «плохую» кровь, поражения печени и других внутренних органов, что может быть выявлено физиологическими методами исследований. Моллюски, в свою очередь, также являются потенциальными биоиндикаторами. Профильтровывая большие объемы воды, они накапливают в себе токсиканты, которые можно определить химико-аналитическими методами.

Следовательно, формирование локальной экосистемы в заданной точке наблюдений открывает возможность стационарных мониторинговых исследований, позволяющих качественно и разносторонне оценить состояние биоты, его изменения под воздействием не только острого, но и хронического загрязнения. Поскольку исследования показывают [3, 5, 7], что именно хроническое загрязнение морской среды стало в последнее десятилетие основным негативным фактором на исследуемой акватории, изучение его воздействия на биоту особенно актуально.

Методы мониторинга с помощью донных станций постоянно совершенствуются, в ближайшее время планируется провести тестовые исследования по отбору проб биологического материала для химического и физиологического анализа с целью выявления воздействия загрязнения морской среды на биоту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А.Ю., Колмыков Е.В., Бобков А.А. и др. О характере и причинах возникновения мелкомасштабных пленочных slicks в Северном Каспии, обнаруженных по данным спутникового радиолокационного мониторинга // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2014. - № 12 . - С. 17–22.
2. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия / Под редакцией С.Р. Байдина, А.Н. Косарева. - М.: Наука, 1986. - 261 с.
3. Островская Е.В., Колмыков Е.В., Холина О.И., Пронина Т.С., Войнова М.В. Углеводородное загрязнение северо-западной части Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. - 2016. - Т.11. - №1. - С.137-148.
4. Островская Е.В., Холина О.И., Асаева К.И., Колмыков Е.В. Проблема идентификации пленочных загрязнений в Каспийском море // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2014. - № 12 . - С. 13–16.
5. Панин Г.Н., Мамедов Р.М., Митрофанов И.В. Современное состояние Каспийского моря. – М.: Наука, 2005. – 356 с.
6. Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. - М.: ВНИРО. – 2008. – 507 с.
7. Умербаева Р.И., Попова Н.В. Содержание углеводов в органах и тканях рыб, обитающих на лицензионном участке ООО «Каспийская нефтяная компания» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2014. - № 12 . - С. 55–58.
8. Ушивцев В.Б. и др. Сохранение биоразнообразия, усиление продуктивности и резистентности к загрязнению биоты Каспийского моря путем формирования локальных экосистем // Материалы 1-й Международной научно-практической конференции «Проблемы управления экологическим состоянием территорий Каспийского бассейна». – Актау: Изд-во Каспийского гос. университета технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, 2009. – С. 278-291.
9. Экологическая политика ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть». [Электронный ресурс] URL: http://www.nvn.lukoil.com/main/static.asp?art_id=743.
10. Long-term Environmental Effects of Offshore Oil and Gas Development. / D.F. Boesch, N.N. Rabalais, eds. – NY: CRC Press, Taylor & Francis Group. – 1987. – 720 p.
11. NAS (National Academy of Sciences). Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects. National Research Council. – Washington, D.C.: The National Academies Press, 2003. - 265 p.

ТЕХНИКА ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ГРУНТОВ ВОДОЕМОВ

А.Г. Алексеев¹, И. Д. Ермаков², В.Г. Краснов³, Д. И. Ермаков³

¹ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», г. Астрахань, ул. Адмиралтейская, 1/2, e-mail: Andrej.Alexeev@lukoil.com

²Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, офис 5

³ООО «Акваспецсервис», г. Астрахань, ул. Набережная Приволжского Затона, дом 14, литер А, оф. №23

Ключевые слова: донные отложения; температура поверхностного слоя осадков; термальный фон; термометр; блок-схема; Северный Каспий; поисково-разведочные скважины.

Key words: bottom sediments; surface bottom temperature; thermal background; thermometer; block diagram; extrapolation; Northern Caspian; exploratory oil wells.

Abstract

A method for the estimation of the temperature of marine bottom sediment surface layer is described. The method was probed in the areas of oilfields exploration in the Northern Caspian. Upgraded research tool description and its main characteristics are provided. The tool allows for more accurate measurement of the bottom temperature. The paper discusses the measurements scheme for the estimation of the local thermal background that is important to know for delineating oil and gas deposits. A technique for the analysis of experimental data obtained with the tool is also discussed. Its application helps to improve the data accuracy and allows for getting the overall picture of the bottom thermal background.

Одним из важнейших аспектов в изучении термальных процессов в придонных слоях водоемов является обнаружение на локальных участках дна незначительных флюидопроявлений, имеющих различное происхождение. Некоторые из этих проявлений невозможно обнаружить традиционными методами исследования дна водоемов, такими как гидролокаторы бокового об-

зора (ГБО), многолучевые эхолоты, профилографы, телеуправляемые подводные аппараты (ТПА), отбор проб грунта и воды.

Одной из особенностей флюидопроявления, будь то выходы газа или воды, является то, что они сопровождаются тепловым потоком, идущим к поверхности дна с более глубоких горизонтов. Зафиксировав этот поток на локальном участке дна, появляется возможность точечного применения иных методов океанологических исследований.

Исследование термальных процессов в придонных слоях водоемов имеет практическое значение при оценке распределения тепловых полей как в глубоких горизонтах осадочных пород, так и в приповерхностных слоях [1]. Основной причиной возникновения положительных термоаномалий над залежами углеводородов является конвективно-диффузионный тепломассоперенос от кровли залежи к дневной поверхности [2, 3], а также процессы, связанные с формированием скоплений углеводородов [4].

С 2008 г. на Северном Каспии Каспийским филиалом института океанологии РАН осуществляются мониторинговые исследования термального фона в местах поисково-оценочного бурения. Измерения температуры проводятся водолазами по утвержденной сетке наблюдений путем заглубления чувствительной части термометра под слой грунта на глубину 20 см. Для измерения термального фона обычно использовались скважинные манометры-термометры производства ООО «Производственное предприятие лаборатория «САФ» (г. Набережные Челны).

Применение манометров-термометров САФ показало в период исследований неплохие результаты, однако были выявлены и определенные недостатки. Например, нелинейная характеристика зависимости электрического сопротивления полупроводникового чувствительного элемента от температуры, разброс параметров у разных приборов искажали результаты полученных экспериментальных данных, что в дальнейшем могло отразиться на общей картине термального фона. Крупный диаметр прибора усложнял водолазу за-

глубление чувствительного элемента в грунт. Кроме того, высокая стоимость приборов и возможность их сервисного обслуживания только на предприятии-изготовителе создавали дополнительные сложности его использования.

Для преодоления этих трудностей авторами был разработан и опробован на практике специализированный прибор, удовлетворяющий требованиям проведения морских термальных исследований в придонных слоях (рис. 1).

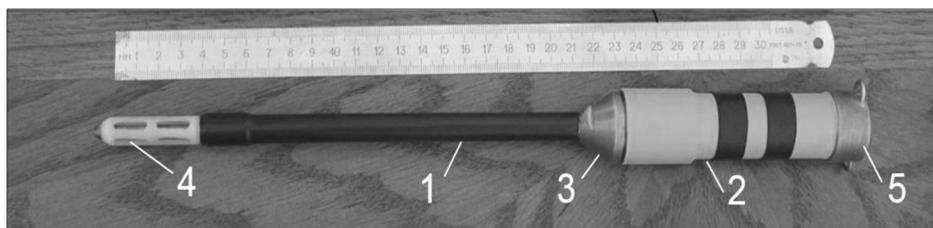


Рис. 1 Внешний вид прибора в собранном виде: 1 - рабочая часть прибора; 2 - электронный блок; 3 - герметизирующая втулка; 4 - термочувствительный элемент; 5 - несъемная крышка

Корпус термометра состоит из двух частей, изготовленных из нержавеющей стали и покрытых защитным теплоизоляционным материалом. Рабочая часть прибора (1) сделана достаточно тонкой для меньшего сопротивления при заглублении прибора в грунт. Термочувствительный элемент находится в медной трубке, помещенной в защитный пластиковый корпус (4). В верхней части корпуса (2) расположен электронный блок. Обе части прибора соединяются латунной герметизирующей втулкой (3). В несъемной крышке (5) имеются «ушки» для крепления карабина и герметичный иллюминатор для контроля режима работы термометра.

Внешний вид прибора в режиме передачи данных на персональный компьютер (ПК) представлен на рис. 2. Электронная плата прибора (1) через разъем (2), переходник (3) и кабель USB подключается к компьютеру, на экране которого отображается график измерения температуры.

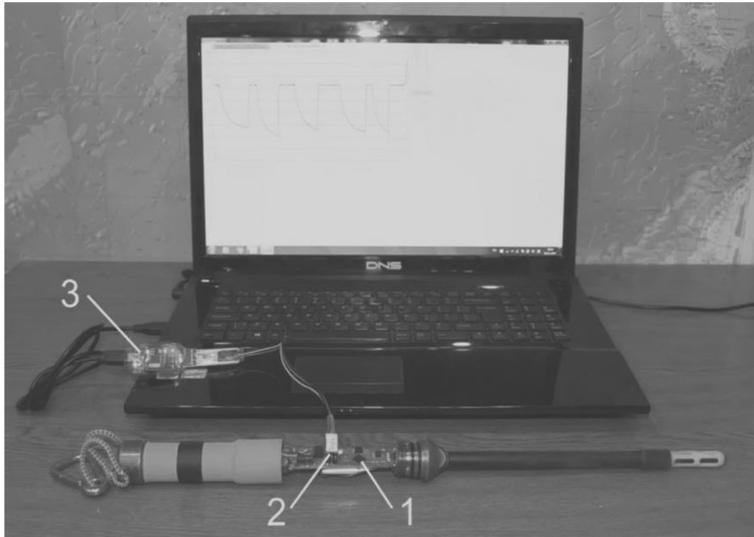


Рис. 2 Внешний вид прибора в режиме передачи данных в ПК: 1 - электронная плата; 2 – разъем; 3 - переходник

Блок-схема прибора представлена на рис. 3. Высокоточное платиновое сопротивление Pt100 (1) через 22-х разрядный сигма-дельта-аналогово-цифровой преобразователь (2) соединен с микроконтроллером (4).

Питание всей схемы прибора осуществляется от литий-полимерной батареи 3,6 В (3). Включение прибора на запись осуществляется простейшим механическим переключателем (9), связанным с заворачивающейся половиной корпуса. В блоке памяти (5) хранится вся полученная информация, часы-календарь (6) синхронизируют данные прибора с реальным временем. Блок USB-RS232 (8) служит для связи прибора с ПК. Маломощный светодиодный индикатор (7) информирует пользователя о состоянии и режиме работы прибора.

Питание всей схемы прибора осуществляется от литий-полимерной батареи 3,6 В (3). Включение прибора на запись осуществляется простейшим механическим переключателем (9), связанным с заворачивающейся половиной корпуса. В блоке памяти (5) хранится вся полученная информация, часы-календарь (6) синхронизируют данные прибора с реальным временем. Блок USB-RS232 (8) служит для связи прибора с ПК. Маломощный светодиодный

индикатор (7) информирует пользователя о состоянии и режиме работы прибора.

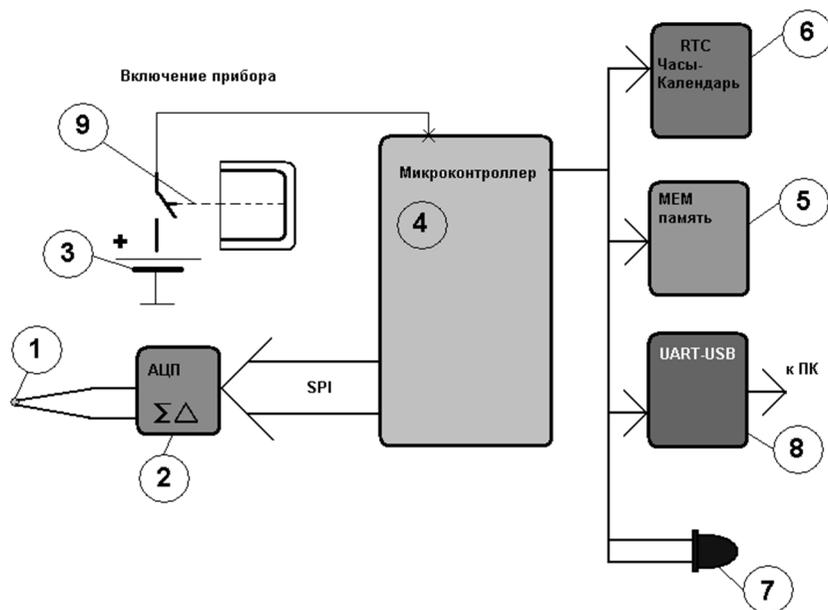


Рис. 3 Блок-схема прибора: 1 - платиновое сопротивление Pt100; 2 - цифровой преобразователь; 3 - батарея 3,6 В; 4 – микроконтроллер; 5 - блок памяти; 6 - часы-календарь; 7 - светодиодный индикатор; 8 - блок USB-RS232; 9 - механический переключатель.

Программа вывода и обработки данных с прибора имеет простой и удобный интерфейс, позволяющий настраивать прибор перед запуском на измерение, сохранять записанные данные-логи на персональный компьютер для дальнейшей обработки (рис. 4).

Предварительно перед работой, необходимо настроить СОМ-соединение с персональным компьютером и термометром. Программа позволяет считывать данные в компьютер и графически отображать зависимость температуры придонного слоя от времени.

Измерения температуры производятся по установленной сетке в зависимости от методики измерений. При этом, на каждой стороне света устанавливается свой термометр.

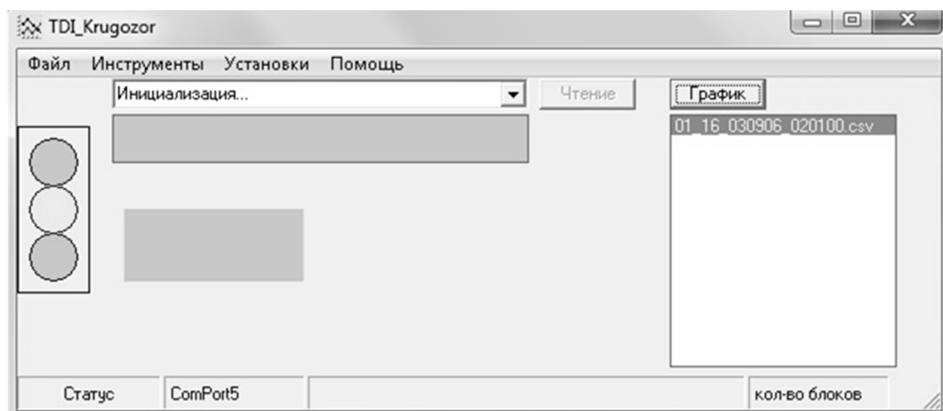


Рис. 4 Интерфейс программы

На рис. 5 для примера изображена сетка измерений, которая применялась при оценке термального фона в месте поисково-оценочного бурения на структуре Ракушечная в точке «1 Контрольная» (WGS-84: N45°04'04,29", E48°29'13,54") в 2015 г.

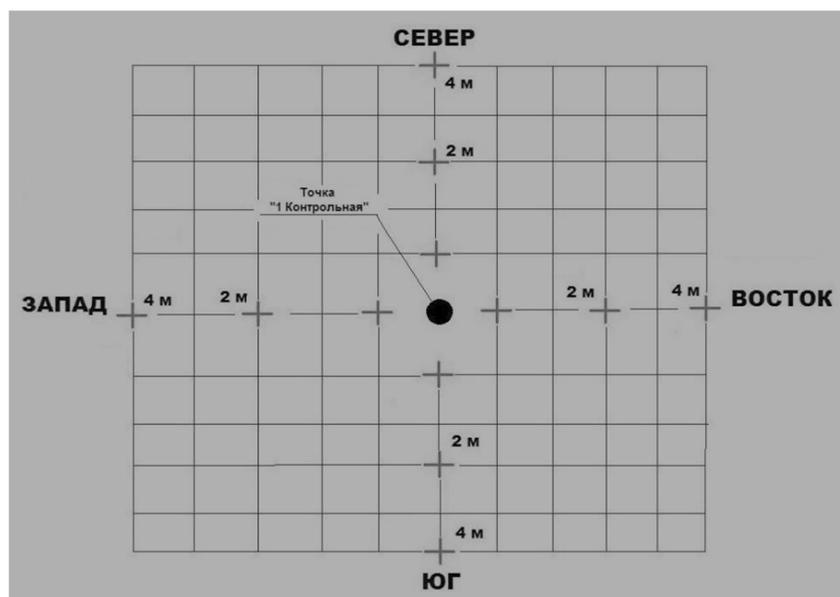


Рис. 5 Сетка измерений термального фона на структуре Ракушечная в точке «1 Контрольная»

На рис. 6 представлен график зависимости температуры от времени, полученный в результате трех измерений под слоем грунта с западной стороны

от места поисково-оценочного бурения. Экспозиция прибора в одной точке составляла около 3-х минут. При наведении курсором «мыши» на линию графика, на экране появляется диалоговое окно со значениями температуры и времени в конкретной точке. Всплески наверху графика говорят о начале механического воздействия на чувствительный элемент в результате силы трения, что приводит к нагреву и повышению температуры. Как только это воздействие прекращается, температура начинает понижаться.

На рис. 6 показано, что при всех измерениях температура не достигает установившегося значения. Чтобы получить участок графика температуры, переходящий в режим, близкий к установившемуся, необходимо выдерживать прибор в точке замера достаточно продолжительное время, около 10-15 минут.

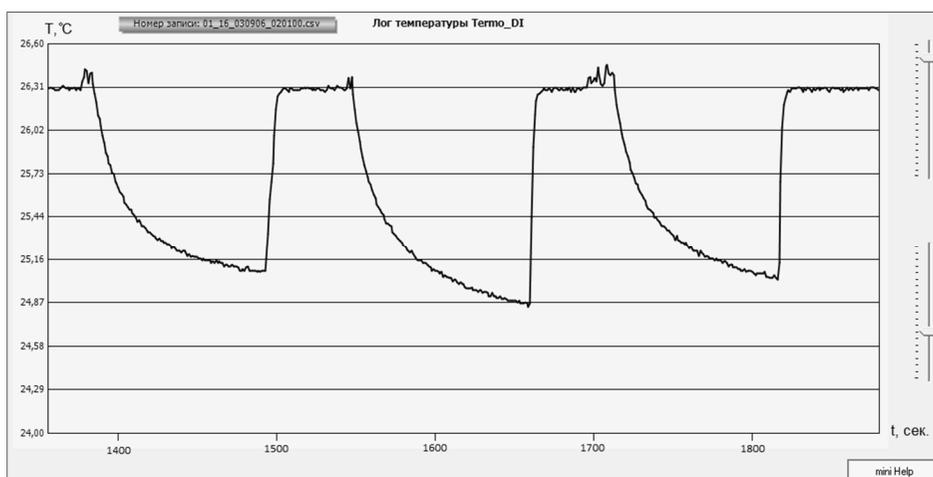


Рис. 6 График полученных измерений с западной стороны от точки «1 Контрольная» структуры Ракушечная

Поскольку такая длительная экспозиция может воспрепятствовать выполнению всех замеров из-за ограниченного запаса воздуха у водолаза, для получения продолжения имеющегося графика необходимо обратиться к математическому анализу. Так как график может быть аппроксимирован четкой гиперболической функцией с уже имеющимися значениями, то, пользуясь

формулой функциональной зависимости, стремящуюся к установившемуся режиму линию можно достроить математическим путём.

Возможное продолжение (экстраполяция) графика представлено на рис. 7, из которого видно, что фактическое значение температуры отличается от значения температуры, выбранного на продолжении графика, на величину Δ .

Значение Δ , последовательно измеряемое на этом участке графика, будет со временем постоянно уменьшаться, достигая допустимой погрешности измерения. Приведенное на рис. 7 значение Δ равно $0,054^{\circ}\text{C}$. Изменение температуры на эту величину может в дальнейшем исказить общую картину термальных измерений.

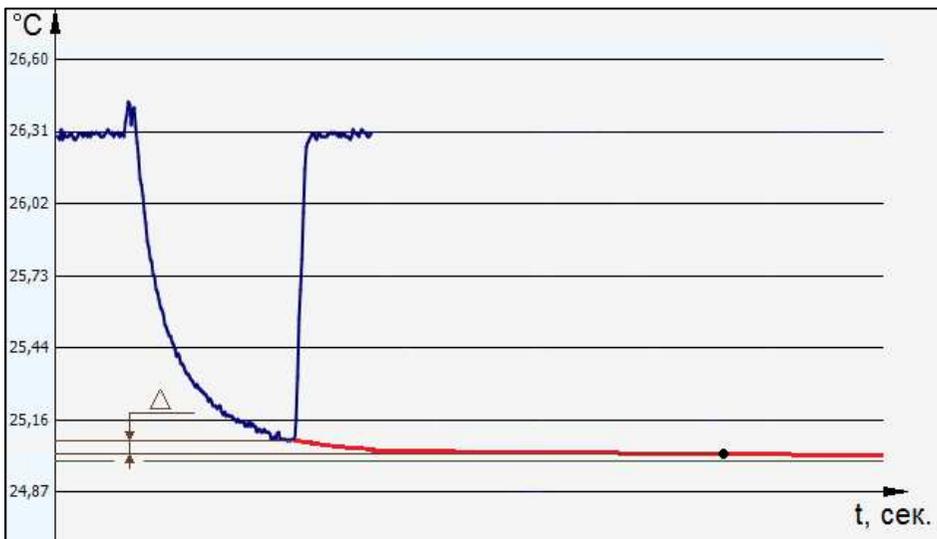


Рис. 7 Математическое моделирование графика установившегося режима

Последующая обработка полученных данных программным методом позволила получить диаграмму изолиний, характеризующую температурный фон места поисково-оценочного бурения на структуре Ракушечная в точке «1 Контрольная» (рис.8).

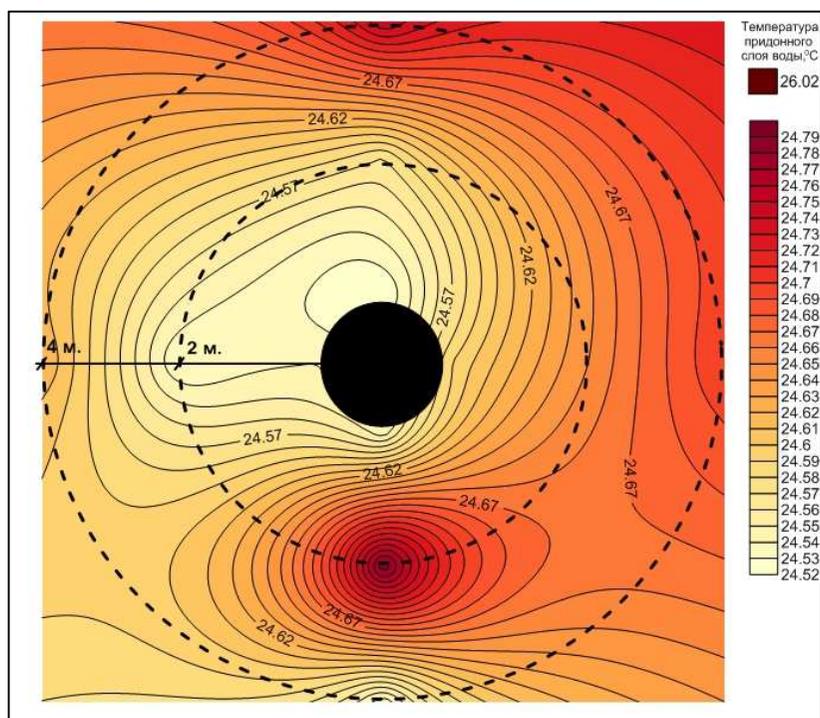


Рис. 8 Карта температурного фона на структуре Ракушечная в точке «1 Контрольная»

В дальнейшем планируется подключить инструменты математического моделирования и анализа, например, такие программные продукты, как Matcad, Matlab, Maple, Surfer. Математическое моделирование и анализ экспериментальных данных позволит оптимизировать исследовательский процесс и получить более точные конечные данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Осадчий В.Г., Лурье А.И., Ерофеев В.Ф. Геотермические критерии нефтегазоносности недр. - Киев: Наукова думка, 1976. – 143 с.
2. Осадчий В.Г., Куксов Г.А., Ковалик В.В. Морская геотермосъемка. - Киев: Наукова думка, 1979. – 102 с.
3. Приборы для научных исследований и системы автоматизации в АН УССР. - Киев: Наукова думка, 1981. – С. 79-82.
4. Сергиенко С.И. Аномалии теплового потока в нефтегазоносных структурах / Изв. АН СССР. Геология. – 1988. - № 2. – С. 115-124.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «СУПЕР ГНОМ ПРО» ДЛЯ МОНИТОРИНГОВЫХ РАБОТ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Б.Я. Розман¹, А.В. Ёлкин¹, А.С. Капцов¹, И.Д. Ермаков², Д.И. Ермаков³,
В.Г. Краснов³, Л.С. Кондрашов³

¹ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», г.Москва, Нахимовский проспект, д.36, e-mail: brozman@mail.ru

²Каспийский филиал ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, г. Астрахань, ул. Савушкина, 6, корп. 27, офис 5

³Общество с ограниченной ответственностью «Акваспецсервис», г. Астрахань, ул.Набережная Приволжского Затона, дом 14, литер А, оф. №23

Ключевые слова: телеуправляемый подводный аппарат (ТПА); подводные поисковые работы; Каспийское море.

Key words: Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV); underwater retrieval operations; the Caspian Sea.

Abstract

Modernization of the Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) "Super GNOM Pro" for increase in control smoothness when carrying out video filming of underwater objects is described. The paper discusses main results of its trial operation after the modernization when the ROV was tested in the survey of bottom biological stations in the northern and central part of the Caspian Sea in 2015.

Для мониторинга состояния морских акваторий, на которых разворачиваются в последние годы беспрецедентные по своим масштабам разведка и разработка месторождений углеводородов, часто требуется проведение подводных работ. В связи с этим в настоящее время интенсивно развивается разработка телеуправляемых подводных аппаратов (далее – ТПА), способных выполнять практически все виды подводно-технических работ. Всё более очевидными становятся преимущества ТПА по сравнению с водолазными методами работ. Прежде всего, повышается безопасность подводных работ, поскольку не требуется участие человека. Кроме того, современные ТПА быстры, маневренны, легко управляются, к тому же их использование снижает и себестоимость проведения подводных работ.

Появление миниатюрных цветных видеокамер, сверхярких светодиодов, высокоэффективных микроэлектродвигателей, микроэлектронной элементной базы нового поколения привело к созданию малогабаритных подводных телеуправляемых аппаратов. В 1998 году сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) представили на конференции в США свое устройство, которое из-за миниатюрных размеров получило название «ГНОМ». В 1999 году впервые с применением ТПА «ГНОМ» учеными ИО РАН, изучающими морских млекопитающих, были проведены видеосъемки в Московском дельфинарии [2].

Каспийский филиал института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (КФ ИОРАН) с 2008 года проводит мониторинговые исследования в районах поисково-оценочного бурения на Северном Каспии. Составной частью этих исследований является детальная фото и видеосъемка технических и биологических особенностей мест наблюдений, выполнение которых возможно с применением водолазного труда и с помощью ТПА. КФ ИОРАН стремится минимизировать применение водолазного труда, используя в работе ТПА «Супер ГНОМ Про», разработанного и изготовленного ИО РАН и ООО «Индэл-Партнер» [5].

ТПА «Супер ГНОМ Про» (рис.1) относится к семейству малогабаритных телеуправляемых подводных аппаратов «ГНОМ» [4]. Основная функция аппаратов семейства ГНОМ – проведение подводных поисково-осмотровых и обследовательских работ на глубинах до 200 м. Его отличительными чертами являются легкость транспортировки, простота использования, быстрое развертывание и высокая маневренность. Малые габариты позволяют ему осматривать подводные объекты не только снаружи, но и проникать внутрь. Питание ряда моделей от аккумуляторной батареи и встроенный плоский жидкокристаллический монитор обеспечивают полную автономность работы. Проводить подводные осмотры можно с маломерных судов, яхт и обыкновенных лодок, что значительно снижает расходы на содержание судна.



Рис. 1 Подводный аппарат «Супер ГНОМ Про»

ТПА «Супер ГНОМ Про» - это новая линия мощных аппаратов ГНОМ [3]. Они предназначены для профессионального использования и оснащены широким спектром дополнительного оборудования.

Подводный телеуправляемый обзорный комплекс (ПТОК) «Супер ГНОМ Про» состоит из следующих элементов (рис. 2):

1. Подводный аппарат "Супер ГНОМ Про" (рабочая глубина 150 м);
2. Катушка развёртывания кабеля, скользящий контакт;
3. Блок питания и управления.

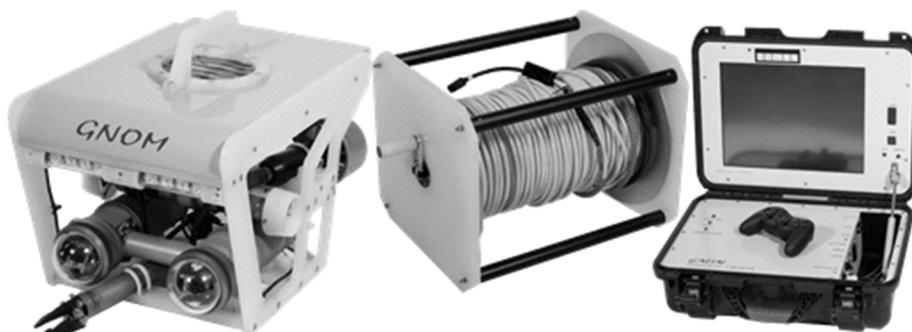


Рис. 2 Элементы ПТОК «Супер ГНОМ Про»

Основные технические характеристики ТПА «Супер ГНОМ Про» приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики ТПА «Супер ГНОМ Про»

Максимальная рабочая глубина	до 150 м (опционально 300 м)
Размеры (ДхШхВ)	450 мм х 300 мм х 300 мм
Вес системы на воздухе / Общий вес	12 кг / 70 кг
Крейсерская скорость (вперед)	до 4-х узлов
Боковая скорость	до 0.5 узлов
Тяга горизонтальная	12 кгс
Видеокамера (кол-во/модель)	2 шт./Sony Super HAD 2 CCD
Наклон камеры	+/- 50°
Манипулятор	одностепенной
Гидроакустическая навигационная система	MicronNav
Осветители	сверхяркие светодиоды белого свечения
Электропитание	сеть 220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	2 кВт

В течение трех лет ТПА «Супер ГНОМ Про» зарекомендовал себя как надёжный, практичный и безопасный инструмент проведения подводных осмотровых работ [1]. Однако за время эксплуатации аппарата были также выявлены и определенные недостатки: низкая мощность двигателей снижала маневренность с полностью вытравленным кабелем; движители периодически забивались водорослями; панорамная съемка крупного объекта была затруднена из-за отсутствия лаговых движителей; поиск объектов усложнялся из-за отсутствия подводной навигации и т.п.

Для устранения выявленных недостатков принимались и реализовывались новые технические решения, внедрение которых позволили проводить исследования более точно, оптимально и комфортно. В частности были увеличены мощности движителей, установлены манипулятор для расширения захвата объектов, вторая видеокамера для работы непосредственно с манипулятором, лаговые движители и система позиционирования для отслеживания фактических координат аппарата.

Последние работы по модернизации ТПА проводились совместно инженерами предприятия-изготовителя и ООО «Акваспецсервис» (г. Астрахань) по рекомендации операторов ТПА Каспийского филиала ИО РАН. Эти работы включали в себя замену пульта управления Logitech на цифровую радиоаппаратуру с системой телеметрии FrSky 2.4GHz ACCST TARANIS X9D (рис. 3).



Рис. 3 Радиоаппаратура TaranisFrSky

Одной из важнейших причин перехода на данную аппаратуру стало требование к плавности управления ТПА, что особенно актуально при проведении видеосъемки объектов под водой. Для получения качественного видеоматериала было необходимо обеспечить плавное, с минимальными ускорениями, движение видеокамеры аппарата как в горизонтальной и вертикальной плоскости, так и вокруг вертикальной оси. Особенно сложные условия управления аппаратом возникают при наличии подводного течения в месте расположения исследуемого объекта. Даже небольшая скорость течения усложняет процесс удержания ТПА на месте из-за значительной парусности кабеля управления и самого аппарата. Все вышесказанное также относится к работе с манипулятором ТПА при захвате подводных объектов. Использо-

ние новой системы управления дает возможность тонкого маневрирования аппаратом и тем самым позволяет успешно справляться с поставленными задачами в сложных гидрологических условиях.

Применение аппаратуры TaranisFrSky перед джойстиком Logitech имеет следующие преимущества:

- благодаря подшипниковым креплениям ручек и увеличения длины их хода (вперед-назад, влево-вправо) значительно увеличилась плавность управления ТПА;

- за счет цифровой, более тонкой, настройки положения ручки управления передатчика удалось плавно регулировать обороты двигателя ТПА;

- возможность управления каждой функцией ТПА отдельным каналом (тумблером) на передатчике устраняет необходимость использования комбинации каналов (микширование). Технические возможности данной аппаратуры позволяют использовать 16 каналов, чего вполне достаточно для управления всеми функциями ТПА;

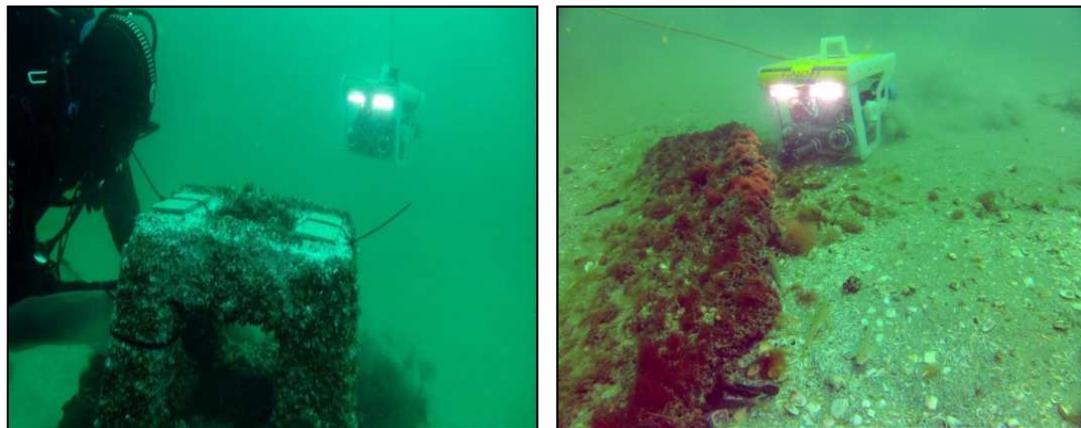
- высокая мощность передатчика позволяет управлять ТПА через металлические переборки судна;

- новейшее программное обеспечение с открытым исходным кодом (Open TX) позволяет оператору ТПА произвести настройку всей системы «под себя»;

- реализуемая в аппаратуре телеметрия удобна при управлении аппаратом на поверхности и при начале погружения (курс, глубина, работа вертикальных движителей и др.).

Для замены аппаратуры Logitech на TaranisFrSky был изготовлен приёмник радиосигнала, поддерживающий цифровой протокол FrSky, который заменил имеющийся в наземном блоке управления ТПА приемник Logitech. Кроме чисто технических преимуществ, пульт управления стал намного комфортнее для оператора. Несмотря на большое количество тумблеров, их удобное расположение позволяет легко управлять ими.

Работы ТПА с интегрированной радиоаппаратурой TaranisFrSky в тестовом режиме проводились в 2015 году в районе установленных донно-пелагических биостанций системы стационарного экологического мониторинга в северной и центральной частях Каспийского моря на глубинах от 5 до 40 метров (рис. 4).



а)

б)

Рис. 4 ТПА «Супер ГНОМ Про» при проведении работ на Северном Каспии:
а) обследование донно-пелагической станции, б) обследование донного ландшафта

При проведении работ были получены качественные фото и видеоматериалы как общего и панорамного планов, так и детальные съемки отдельных элементов конструкций. Установленная дублирующая видеокамера GoPro позволила получить видеоматериалы HD-качества.

Проведенные испытания показали хорошие эксплуатационные результаты модернизированного ТПА «Супер ГНОМ Про», однако работы по освоению новой системы управления продолжаются. В частности, планируется осуществить привязку к системе типового приемника FrSky X8R для повышения ремонтпригодности поверхностного блока.

Намечена также следующая модернизация - установка 2-х степенного манипулятора с функцией вращения и обновление программы управления для работы с ним. Кроме того, ведется разработка нового канала передачи

данных и видео, который позволит получать две картинки одновременно на одном (с квадратором) или двух мониторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. "ГНОМ" на глубине. Морской информационный портал «Корабел.ру». [Электронный ресурс] URL: www.korabel.ru/news/comments/gnom_na_glubine.html.
2. Войтов Д.В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. - М.: Моркнига, 2012. – 506 с.
3. Комолов М.В., Мысливец И.В., Елкин А.В. и др. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты ТНПА Супер Гном ПРО-2 –продолжение линии мощных мини-роботов // Труды XII Межд. Научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». - М.: ИОРАН, 2012. – С. 147.
4. Северов С.П., Розман Б.Я., Ёлкин А.В. Малые подводные аппараты в инженерной океанологии и океанотехнике // Труды VIII Межд. Научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». - М.: ИОРАН, 2009. – С. 201.
5. Телеуправляемый подводный аппарат ГНОМ. [Электронный ресурс] URL: <http://www.gnomrov.ru>.

**Труды Каспийского филиала ИО РАН. Выпуск 1.
Окружающая среда и экосистема Каспийского моря**

Ответственные редакторы:

к.б.н. В.Б. Ушивцев

к.г.н. С.К. Монахов

Издатель: Сорокин Роман Васильевич
414040, Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 5 этаж

Формат В5. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 34,75
Тираж 300 экз.

Отпечатано в Астраханской цифровой типографии
(ИП Сорокин Роман Васильевич)
414040, Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 5 этаж
Тел./факс (8512) 54-00-11
e-mail: RomanSorokin@list.ru