

ВВЕДЕНИЕ

С.В. Бердников, Г.Г. Матишов

С начала XXI в. на Юге России произошла череда опасных природных явлений, которые или непосредственно затронули Южный научный центр РАН, созданный в 2002 г., или стали объектом научных исследований его сотрудников [Матишов и др., 2017].

В Керченском проливе и вдоль черноморского побережья от Новороссийска до Севастополя ночью 11 ноября 2007 г. из-за сильного шторма потерпели крушение 11 судов. Часть из них села на мель, три судна с грузом серы затонули. Танкер «Волгонефть-139» разломился на две части, и в акваторию пролива вылилось более 1200 т мазута. Район бедствия был объявлен зоной чрезвычайной ситуации (ЧС), но оказалось, что ни Россия, ни Украина не готовы к аварийным разливам нефтепродуктов такого масштаба [Матишов и др., 2009; 2010, 2013].

В Азовском море, дельте Дона, Цимлянском и других водохранилищах при определенных гидрометеорологических условиях может происходить экстремальная вспышка численности микроводорослей, подобная той, которая наблюдалась в октябре 2009 г. в районе г. Волгодонска и привела к прекращению подачи питьевой воды жителям крупного города [Матишов, Ковалева, 2010]. Это природное явление называют «цветением» воды. Оно сопровождается ухудшением кислородного режима вод, часто приводит к «заморным явлениям» с массовой гибелью рыб и других водных организмов. «Цветения» воды снижают эстетическую привлекательность водоемов, а некоторые токсичные виды микроводорослей создают угрозу для здоровья людей.

В конце марта 2013 г. в результате сильного штормового нагона значительная территория в дельте Дона чрезвычайно быстро была затоплена водой. В 20 населенных пунктах более 2,4 тыс. домовладений и свыше 5,3 тыс. человек оказались пострадавшими от наводнения. Материальные потери для населения и экономики региона – более 500 млн руб. [Матишов и др., 2014а, б; Матишов, Бердников, 2015].

Спустя полтора года, 24–25 сентября 2014 г., штормовой нагон привел к наиболее сильному наводнению за последние сто лет (аналогичное по масштабу наводнение на донском взморье было зафиксировано в сентябре 1914 г.). Всего, по данным регионального МЧС, в зоне бедствия оказались 26 населенных пунктов, были подтоплены более 3 тыс. жилых домов. Для ликвидации последствий чрезвычайной ситуации из федерального бюджета было выделено 583 млн руб. Значительный ущерб был нанесен и научно-экспедиционной базе Южного научного центра РАН, расположенной на берегу гирла Свиное [Матишов 2015а].

При сильных нагонах наблюдается проникновение морской воды из Таганрогского залива далеко в дельту Дона. Так, 26 сентября 2014 г. соленость донской воды у водозабора г. Азова была более 5 ‰ [Матишов, 2015а, б].

Большая часть берегов Азовского моря подвержена абразии и обвальноподолзновым процессам [Ивлиева, Бердников, 2005; Матишов и др., 2016]. Средняя скорость разрушения берега составляет 1–2 м в год, но есть участки, где скорость абразии измеряется многими метрами. Отступление береговой линии приводит к потерям ценных пахотных земель и селитебных территорий, ухудшаются условия для освоения береговой полосы в хозяйственных и курортных целях.

Наблюдаемые в последние десятилетия и прогнозируемые в будущем климатические изменения и повышение уровня Мирового океана будут способствовать усилению опасных процессов в береговой зоне морей. Расширение масштабов хозяйственного освоения прибрежных территорий усиливает воздействие природных факторов.

Кроме этого, при хозяйственном освоении устьевых областей Дона, Кубани и побережья Азовского моря (как плановом, так и стихийно-рыночном) не учитываются особенности гидрологического режима моря, особенно в его экстремальных проявлениях.

На протяжении почти всего XX в. в Азовском море чередовались периоды распреснения и осолонения. В результате начавшегося на рубеже веков роста среднегодовой температуры воды и последующего периода маловодья в бассейне Дона (начиная с 2007 г.) Азовское море перешло в новое состояние, которое ранее за почти 100-летний период исследований не наблюдалось [Бердников и др., 2019]. Для него характерна значительная положительная аномалия температуры вод [Dashkevich, Berdnikov, 2016] на фоне роста солёности [Дашкевич и др., 2017].

На региональном уровне глобальные климатические изменения проявляются в смягчении ледовых условий на рубеже веков, уменьшении средней ледовитости Азовского моря примерно в 2 раза, с 30 % в 1980-х гг. до 16 % в начале XXI в. [Дашкевич и др., 2016].

Но на этом фоне в южных морях случаются экстремально ледовитые зимы (2005/2006, 2007/2008, 2011/2012), на длительное время блокирующие судоходство [Матишов и др., 2010, 2014].

Актуальная задача, стоящая перед всеми странами, – это прогнозирование и предотвращение (или минимизация) ущерба от опасных природных явлений (ОПЯ). Ежегодный экономический ущерб от ОПЯ значителен. Средства, направляемые государством на ликвидацию их последствий, могли бы быть направлены на технологическое развитие России.

Представленная коллективная монография публикуется в рамках серии «Труды Южного научного центра РАН» и посвящена применению математического моделирования для изучения и анализа опасных природных явлений

в регионе Азовского моря, а также смежным вопросам мониторинга ОПЯ и оценки их социально-экономических последствий. В какой-то мере данная монография является продолжением четвертого тома Трудов ЮНЦ РАН [Труды ЮНЦ РАН ... 2009], в котором рассматривались вопросы моделирования и анализа гидрологических процессов в Азовском море.

В предисловии к четвертому тому Трудов ЮНЦ РАН ак. Г.Г. Матишов отмечал: «Для понимания природы изменений климатической системы Азовского моря и прогнозирования необходима широкая программа исследований, основанная как на сборе информации о состоянии окружающей среды, так и на разработке методов ее анализа. Появившиеся за последнее время новые информационные технологии сбора и обработки данных, а также методы математического моделирования создают предпосылки для успешного решения этих проблем». Это же относится и к проблеме опасных природных явлений, которым посвящен восьмой том Трудов, где собраны вместе и обобщены научные работы сотрудников ЮНЦ РАН, опубликованные в разных изданиях за прошедший 10-летний период. Представлены также и новые результаты исследований.

Книга разделена на 8 глав. В первой главе рассматриваются вопросы информационного обеспечения работ по моделированию и анализу опасных явлений в регионе. Прежде всего, следует обратить внимание на сформированную в период 2004–2014 гг. совместно с Мировым центром данных NOAA (NODC NOAA) базу данных наблюдений за гидрометеорологическим режимом Азовского моря, которая содержит первичную информацию почти по 67 тыс. морских станций, выполненных в ходе экспедиций на судах разного класса более чем за 100-летний период (1891–2012 гг.). Но также важной составляющей этих работ является использование атласных технологий для системного представления информации, применение современных геоинформационных программных комплексов, переход к «облачным» технологиям и обеспечению максимально возможного и свободного доступа к информации.

Анализ накопленной в базе данных информации за более чем 100-летний период инструментальных наблюдений направлен на выявление опасных тенденций в развитии природных процессов на фоне их межгодовой цикличности. Об этом вторая глава.

Третья глава посвящена вопросам наблюдения и математического моделирования ледового режима Азовского моря. Начиная с 2005 г. на береговой научно-экспедиционной базе ЮНЦ РАН в пос. Кагальник в устье Дона (гирло Свиное) в зимний период ежедневно проводятся наблюдения за гидрометеорологическими условиями и льдом. Обобщение этих наблюдений, которые также используются для калибровки и проверки моделей, представлено в разделе 3.1.

С помощью мультикомпартментальной балансовой гидрологической модели Азовского моря выполнено математическое моделирование ледовитости, толщины льда и температуры воды для периода 1920–2016 гг. В разделе 3.2 об-

суждаются результаты этого реанализа в сопоставлении с оценками ледовитости, выполненными в период 1950–1980 гг., и данными космоснимков MODIS спутников Terra и Aqua за 2006–2016 гг.

Следует также отметить, что эта модель, модифицированная для выполнения расчетов с суточным шагом, использовалась в 2016–2018 гг. в тестовом режиме для прогнозирования ледовитости и толщины льда с заблаговременностью 72 часа.

В разделе 3.3 предложен метод расчета толщины льда в Таганрогском заливе в период ледостава.

Глава 4 посвящена математическому моделированию экстремальных нагонов в дельте Дона. Разработанная А.Л. Чикиным и рассмотренная в разделе 4.1 гидрологическая модель Азовского моря была применена для реконструкции экстремального нагона в марте 2013 г. Эта же модель, получившая название SASMO (Sea of Azov Surge Model), включена в качестве ГИС-ориентированного модуля для расчета уровня поверхности Азовского моря в программный комплекс EX-MARE [Berdnikov et al., 2019], предназначенный для краткосрочного (до 72 часов) прогнозирования опасных природных явлений в Азово-Черноморском регионе.

В разделе 4.2 рассматривается подход к оценке риска нагонных явлений с использованием байесовских сетей (БС) и геоинформационных систем, обеспечивающий моделирование всех требуемых параметров и их причинно-следственных связей в пространственно-явной форме. Обсуждаются возможности явного учета неопределенности факторов, участвующих в оценке риска. Представлен расчет риска нагонных явлений в дельте р. Дон разного периода повторяемости в сопоставлении с фактическим ущербом, полученным населением при экстремальных нагонах в марте 2013 г. и сентябре 2014 г. Представленный здесь БС-подход имеет большой потенциал для анализа различных типов рисков в одной системе.

В пятой главе рассматриваются актуальные для Азовского моря вопросы разрушения берегов, обусловленные природными (шторма, нагонные повышения уровня, волнение) и антропогенными (нерациональное хозяйствование в береговой зоне, отсутствие системных работ по укреплению берегов и др.) факторами.

Раздел 5.1 посвящен математическому моделированию ветрового волнения в Азовском море. Здесь представлены результаты работ по адаптации спектральной ветро-волновой модели SWAN к условиям Азовского моря. Отмечается, что для водоема характерно наличие мультиопасных явлений: штормовое волнение, как правило, сопровождается нагонными явлениями, то есть наибольшую высоту волн вызывают ветра с юго-западной составляющей; ситуации с высотой волны более 2 м в центральном районе моря из года в год возникают практически в одни и те же календарные сроки. Следует отметить, что данная модель включена в качестве компонента в программный комплекс

EX-MARE для прогнозирования волнения и оценки волнового воздействия на берега. Одна из нерешенных проблем – это влияние волнения на береговые процессы в зимний период при разных ледовых условиях. Данная работа – шаг на пути решения этой задачи.

Исследования береговых процессов Азовского моря начаты более 60 лет назад на кафедре физической географии Ростовского государственного университета, сейчас они продолжаютсся сотрудниками кафедры океанологии Южного федерального университета. Наличие большой базы собственных данных, многолетний опыт организации и проведения подобных работ позволили оценить современное состояние берегов, выполнить их системное описание на основе принятых в морской геоморфологии подходов, получить новые знания о закономерностях развития опасных береговых процессов (ОБП), актуализировать природные и антропогенные факторы их активизации в условиях изменения климата, выполнить районирование берегов на основе нового динамического подхода (или по степени проявления абразионно-оползневых процессов). Этим вопросам посвящен раздел 5.2. В пределах российского берега Азовского моря выявлено 24 береговых участка с различной степенью интенсивности проявления опасных береговых процессов: со слабой (менее 1 м/год), средней (1–2 м/год), сильной (2–4 м/год), и в отдельный тип выделены районы с очень сильной абразией (более 4 м/год).

Результаты мониторинговых наблюдений за опасными береговыми процессами легли в основу представленного в разделе 5.3 анализа взаимосвязи абразионных и оползневых процессов с экстремальными нагонными явлениями в Азовском море. Полученные результаты могут оказаться полезными при формировании стратегий развития прибрежной инфраструктуры Ростовской области, Краснодарского края и Керченского полуострова, развития мониторинговых наблюдений на аварийных берегах.

Такое явление, как «цветение» воды, вызываемое значительным развитием одноклеточных водорослей, без сомнения, следует считать опасным явлением, виной которому наряду с природными факторами является и нерациональное хозяйствование, прежде всего поступление в море избыточного количества биогенных элементов. Следствием «цветения» воды является ухудшение условий обитания морских организмов, а иногда и их массовая гибель из-за недостатка растворенного в воде кислорода (гипоксия, «заморные явления»). Кроме этого, ухудшается рекреационная привлекательность мест отдыха. Есть и другие последствия. Этим вопросам посвящена шестая глава.

В разделе 6.1 представлена обобщающая статья, рассматривающая проблему «цветения» воды в Азовском море в разных аспектах. Исследование опирается на результаты, полученные в ходе экспедиционных работ ЮНЦ РАН в течение последних 15 лет, а также на весь опыт предыдущих исследований в этом регионе. Учитывая специфику бассейна Азовского моря, анализируются разные направления изучения «цветения» микроводорослей, связанные как

с развитием аллохтонных видов (цианопрокариот), так и с проникновением автохтонных (чужеродных по происхождению) видов. Отдельно рассмотрены случаи «цветения» микроводорослей на льду Таганрогского залива, а также массового развития морских диатомовых в лиманах восточного побережья Азовского моря.

В разделе 6.2 рассматриваются современные подходы к оценке одного из важных индикаторов развития микроводорослей в водоеме – концентрации хлорофилла *a* (KXa) – по данным со спутников (спектрометра MERIS и сканера цвета OLCI). Для Азовского моря, воды которого относятся ко II типу (мутные и продуктивные), используются разработанные региональные алгоритмы расчета KXa , основанные на большом количестве выполненных в период морских экспедиций ЮНЦ РАН подспутниковых наблюдений. Полученные ранее результаты расчета KXa по данным сканера MERIS (2003–2011 гг.) дополнены новыми результатами расчета KXa на основе данных сканера цвета OLCI (2016–2018 гг.), установленного на европейском спутнике Sentinel-3.

Раздел 6.3 посвящен проблеме получения надежной оценки годовой валовой первичной продукции фитопланктона в Азовском море. Обсуждаются два подхода: а) по данным дистанционного зондирования и б) на основе кислородного метода Бруевича – Дацко. Приведены результаты расчета первичной продукции в Азовском море по данным спутниковых снимков спектрометра MERIS за период 2003–2011 гг., которые значительно отличаются от опубликованных оценок, рассчитанных кислородным методом Бруевича – Дацко.

Хозяйственная деятельность в регионе может служить источником угроз как для экосистемы Азовского моря в целом, так и для отдельных ее компонентов и районов. Обсуждению этой проблемы посвящена седьмая глава.

При освоении биологических ресурсов необходимо учитывать изменчивость природных факторов. Об этом идет речь в разделе 7.1, где рассматриваются вопросы математического моделирования динамики численности пелагических видов рыб Азовского моря – хамсы и тюльки, а также полупроходного судака. Промысловая нагрузка, не учитывающая в должной мере изменчивость условий среды, может приводить к неблагоприятным последствиям и существенно повысить риск вымирания популяции.

С присоединением Республики Крым к Российской Федерации реализуются проекты по развитию транспортных коммуникаций между материковой частью страны и полуостровом. В разделе 7.2 обсуждаются вопросы масштабных инвестиций в модернизацию существующей транспортной инфраструктуры, а именно – в строительство новой железнодорожной, автомобильной и портовой составляющих. При этом внимание акцентируется и на проблеме негативного влияния повышенной промышленной нагрузки на прилегающие к Керченскому проливу территории и морские акватории.

После крупной морской аварии в Керченском проливе в сентябре 2007 г., когда в воду попало не менее двух тонн мазута, проблема нефтяного загрязнения акватории стала особенно актуальной для Азовского и Черного морей, тем более что в районе якорных стоянок там по-прежнему скапливается много судов. Оценке загрязнения морских акваторий нефтепродуктами на основе результатов экспедиционных исследований ЮНЦ РАН посвящен раздел 7.3. Это важная тема в особенности потому, что уровень нефтяного загрязнения Азовского моря в зимний период значительно выше, чем можно было ожидать.

Судоходство в Азовском море с каждым годом увеличивается и не прекращается даже в ледовых условиях (при сопровождении ледоколов). Поэтому риски аварий, особенно в условиях опасных природных явлений, остаются. Подходам к математическому моделированию загрязнения береговой зоны Азовского моря в случае аварийных разливов нефтепродуктов посвящен раздел 7.4. Здесь представлены результаты расчета вероятности загрязнения береговой зоны Азовского моря в разные сезоны года.

Раздел 7.5 посвящен актуальной проблеме экологической безопасности – растущему загрязнению природных водоемов микропластиком. Рассматриваются вопросы типологии микропластика, процессы его разрушения и разложения в окружающей среде, измеренные концентрации в пресноводных и морских водоемах, влияние на окружающую среду и риски для здоровья людей. Особое внимание уделено вопросам уменьшения его негативного влияния, стимулирования разложения и очистки водоемов. С учетом новизны тематики перечисляются основные исследовательские методики, используемые для количественных и качественных оценок микропластика в пробах воды.

Результаты изучения новых для региона опасностей, связанных с распространением чужеродной фауны, представлены в разделе 7.6. Показано, что в течение последних десятилетий происходит интенсификация инвазионного процесса в Таганрогском заливе и на Нижнем Дону, которая привела к значительной трансформации донных сообществ этих акваторий.

Заключительная восьмая глава посвящена социально-экономическим последствиям проявления опасных природных явлений.

Береговая научно-экспедиционная база в пос. Кагальник в гирле Свиное (устье Дона) два раза (в марте 2013 г. и сентябре 2014 г.) пострадала от экстремальных нагонов. Последствия этих опасных явлений для среды, биоты, населения и хозяйства Приазовья рассмотрены в разделе 8.1. Приводятся сведения о хронологии их развития, механизмах проявления и причиненном ущербе. Отдельное внимание уделено поступлению соленых морских вод в устьевую область Дона в результате нагонов.

Прибрежная зона Таганрогского залива обладает богатыми природными ресурсами, является объектом культурно-исторического наследия, а также ча-

стью рекреационной зоны «Европейский Юг России», специализирующейся на лечебно-оздоровительной рекреации и познавательном туризме. Большому рекреационно-туристическому потенциалу способствует благоприятный климат и удобное географическое положение. Но наиболее привлекательные с рекреационной точки зрения районы береговой зоны Азовского моря в то же время подвержены воздействию опасных природных явлений. Медико-социальный аспект опасных природных явлений рассмотрен в разделе 8.2.

В разделе 8.3 представлены методика и результаты расчета на ее основе социально-экономических последствий проявления абразионных и оползневых процессов для побережья северной части Таганрогского залива. Прогнозируемые материальные потери от воздействия опасных абразионных и оползневых процессов в береговой зоне Азовского моря за 20-летний период составят 791,1 млн руб., из которых 274,9 млн руб. приходятся на капитальные строения и 516,3 млн руб. – на земельные участки, преимущественно сельскохозяйственные угодья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX – начале XXI в. // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 2. С. 7–19.

Дашкевич Л.В., Немцева Л.Д., Бердников С.В. Оценка ледовитости Азовского моря в XXI веке по спутниковым снимкам Terra/Aqua MODIS и результатам математического моделирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 91–100. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-91-100

Дашкевич Л.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В. Многолетнее изменение средней солености Азовского моря // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 5. С. 563–572. DOI: 10.7868/S0321059617040046

Ивлиева О.В., Бердников С.В. Современные скорости разрушения берегов российского побережья Азовского моря // Геоморфология. 2005. № 4. С. 74–83.

Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И., Савицкий Р.М. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 3. С. 259–273.

Матишов Г.Г., Бердников С.В., Савицкий Р.М. Экологическое сопровождение чрезвычайной ситуации (авария танкеров в Керченском проливе) // Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе / [отв. ред. Г.Г. Матишов]; Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 414–447.

Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Савицкий Р.М. Влияние аварий судов в Керченском проливе на среду и биоту // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей / под ред. С.М. Шаповалова. М.: Научный мир, 2010. С. 598–612.

Матишов Г.Г., Ковалева Г.В. «Цветение» воды в водоемах юга России и сбои в водоснабжении (на примере г. Волгодонска) // Вестник Южного научного центра. 2010. Т. 6. № 1. С. 71–79.

Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргона Ю.М., Дашкевич Л.В. Замерзание Азовского моря и климат в начале XXI века // Вестник Южного научного центра. 2010. Т. 6. № 1. С. 33–40.

Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Чикина Л.Г. Ледовый режим Азовского моря и климат в начале XXI века // Доклады Академии наук. 2014. Т. 457. № 5. С. 603–607.

Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Бердников С.В., Шевердяев И.В., Клещенков А.В., Кириллова Е.Э. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013г.: хронология, условия формирования и последствия // Вестник Южного научного центра. 2014а. Т. 10. № 1. С. 17–24.

Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Бердников С.В., Шевердяев И.В. Экстремальное наводнение в дельте Дона (23–24 марта 2013 г.) и факторы, его определяющие // ДАН. 2014б. Т. 455. № 3. С. 342–345. DOI: 10.7868/S0869565214090229

Матишов Г.Г., Бердников С.В. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. // Известия РАН. Сер. географическая. М.: Наука, 2015. № 3. С. 111–118.

Матишов Г.Г. Керченский пролив и дельта Дона: безопасность коммуникаций и населения // Вестник Южного научного центра. 2015а. Т. 11. № 1. С. 6–15.

Матишов Г.Г. Случаи экстремальной адвекции соленых вод в дельту Дона и льда в Керченский пролив // Доклады Академии наук. 2015б. Т. 465. № 1. С. 99–103.

Матишов Г.Г., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Цыганкова А.Е., Кропянко Л.В. Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 4. С. 483–486.

Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Яицкая Н.А. Природные катастрофы в Азово-Черноморском бассейне в начале XXI века. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. 160 с.

Труды Южного научного центра РАН. Т. IV: Моделирование и анализ гидрологических процессов в Азовском море / отв. ред. тома Г.Г. Матишов. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. 224 с.

Berdnikov S.V., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Sheverdyayev I.V., Tretyakova, I.A., Yaitskaya N.A. EX-MARE – Forecasting system of natural hazards in the Azov Sea region // Geography, Environment, Sustainability. 2018. Vol. 11. No. 2. P. 29–45. DOI 10.24057/2071-9388-2018-11-2-29-45

Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. Climatic changes and salinity of the Sea of Azov for 100 years // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings. June 28 – July 6, 2016. Book 3. Vol. 2. P. 719–726. DOI: 10.5593/SGEM2016/B32/S15.094

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бердников Сергей Владимирович – д.г.н., председатель ЮНЦ РАН; berdnikov@ssc-ras.ru

Матишов Геннадий Григорьевич – академик РАН, научный руководитель ЮНЦ РАН; matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru