

УДК 622.24:504.05(262.5.06)

РИСКИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ И НЕФТЕДОБЫЧИ В УСЛОВИЯХ СЕРОВОДОРОДНОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО МОРЯ

© 2011 г. Академик Г.Г. Матишов^{1,2}, член-корреспондент РАН Д.Г. Матишов^{1,3}, С.В. Бердников^{1,3}, Г.В. Ковалева³, А.Д. Викрищук³

Рассматриваются вопросы, связанные с рисками при реализации проектов геологоразведки и нефтедобычи в условиях высокой концентрации сероводорода в Чёрном море. Отдельно анализируются возможные негативные последствия этих работ на среду и биоту российского шельфа Чёрного моря.

Ключевые слова: сероводород, Чёрное море, геологоразведка, нефтедобыча.

Сероводородная зона в Чёрном море была открыта Н.И. Андрусовым в 1890 г. [1]. С тех пор химии вод в бассейне с анаэробной средой были посвящены лишь отдельные публикации, но, к сожалению, не было фундаментальных исследований этой проблемы. В настоящее время считается общепринятой гипотеза биогенного происхождения сероводорода, объясняющая поддержание постоянной концентрации сероводорода в воде деятельностью сульфатредуцирующих бактерий, окисляющих органическое вещество, поступающее из верхнего продуктивного слоя моря, и наличием сульфатов, поступающих с соленой средиземноморской водой через пролив Босфор [2, 3].

Верхний слой воды, лежащий до глубины 100–150 м, более прохладный, менее плотный и менее солёный, насыщенный кислородом (аэробный), отделяется от нижнего, более тёплого, солёного и плотного, насыщенного сероводородом (анаэробного) слоя редокс-зоной (пограничным слоем) (рис. 1). Концентрация сероводорода в Чёрном море возрастает с глубиной, и по сравнению с редокс-зоной его содержание увеличивается от десятых долей до 6–13 мг/л. Солёность здесь возрастает до 22‰–22,5‰, средняя температура составляет ~8,5 °С [2]. Граница сероводородной зоны куполообразная, благодаря циклоническим течениям она поднимается в срединной части моря до глубины

130–150 м и опускается по периферии у берегов до 200–250 м (рис. 1), также имеют место сезонные и межгодовые изменения границы сероводорода в Чёрном море [4].

Следует отметить, что Чёрное море – не только самый большой сероводородный, но и одновременно крупнейший метановый водоем [2, 4, 5]. С границы анаэробной зоны, примерно с 150 м до глубины 500–600 м происходит линейный рост концентрации метана практически от 0 до 10–13 мкМ/л, а далее до дна она остается неизменной [6].

Сероводород токсичен для большинства живых организмов. Тем не менее в промежуточном слое – редокс-зоне (на границе между верхним, обогащенным кислородом, и нижележащим сероводородным слоем) на глубинах 130–200 м встречаются некоторые организмы из кислородной зоны. Глубже живут только сульфат- и метанредуцирующие бактерии.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРОВОДОРОДА В ВОДЕ

На рисунке 2 показана принципиальная схема океанографических и гидробиологических исследований распределения сероводородного слоя в Чёрном море, используемая в Южном научном центре РАН и других учреждениях.

Основными методами определения концентраций сероводорода в воде являются спектрофотометрический метод и объемный йодометрический метод [7–9]. Все эти методы исследований имеют свои достоинства и ограничения по применению (табл. 1).

Сравнение методов показывает [9], что спектрофотометрический метод характеризуется большей чувствительностью и воспроизводимостью, одна-

¹ Южный научный центр Российской академии наук, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; тел. (863) 266-64-26, 250-98-07, e-mail: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

² Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, 183010, Мурманск, ул. Владимирская, 17.

³ Институт аридных зон Южного научного центра РАН, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; тел. (863) 250-98-07, e-mail: kovaleva@ssc-ras.ru

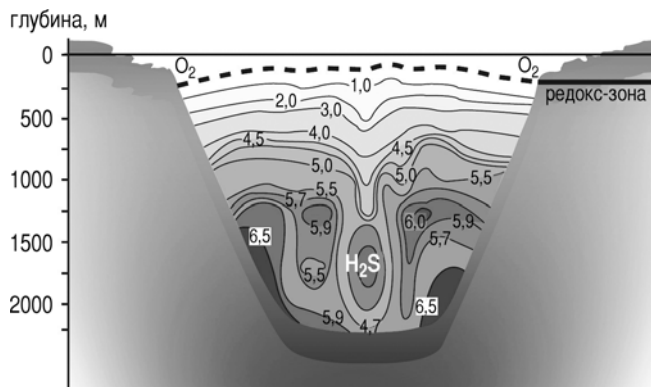


Рис. 1.

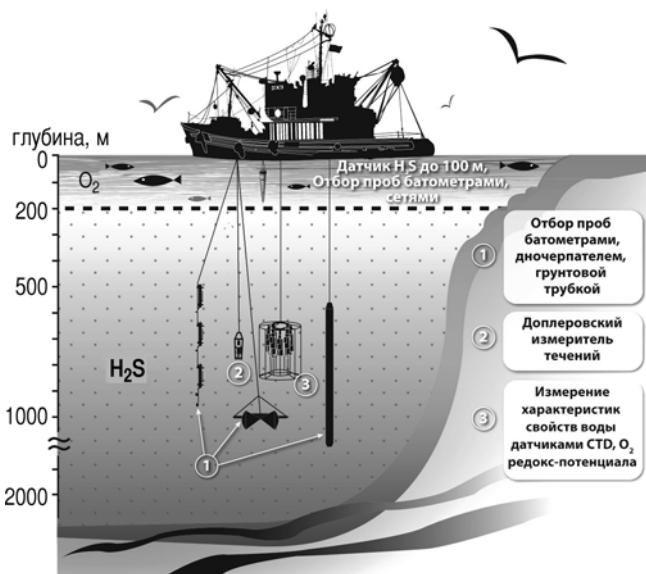


Рис. 2.

ко это справедливо только при концентрациях сероводорода менее 10 мкМ/л. При содержании сероводорода порядка 30 мкМ/л фотометрический и йодометрический методы дают совпадающие результаты. При более высоких концентрациях сероводорода предпочтительно использование йодометрического метода [9]. С учетом особенностей каждого из методов, их преимуществ и ограничений при проведении исследований в Чёрном море наилучшие результаты даст комплексное использование двух описанных методов в сочетании с современными инструментальными способами измерений. Но надо учитывать, что использование ряда модификаций зондов осложнено техническими особенностями, которые не позволяют измерять сероводород на глубинах свыше 200 м.

Все описанные выше методы измерений сероводорода в морской среде несовершенны и требуют проработки и дополнительных исследований.

ОСНОВНЫЕ РИСКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ И НЕФТЕДОБЫЧИ В УСЛОВИЯХ СЕРОВОДОРОДНОЙ ЗОНЫ ЧЁРНОГО МОРЯ

“Сероводородный пояс” в значительной степени совмещен с шельфовыми нефтегазовыми бассейнами, где ведется активная добыча углеводородов. Реализация проектов геологоразведки и нефтедобычи на дне Чёрного моря в условиях сероводородной зоны может быть сопряжена с целым рядом рисков как природного происхождения (химическая или электрохимическая коррозия металлических конструкций, сейсмическая активность), так и антропогенного (промышленная авария, диверсия, теракт) (рис. 3).

Чёрное море находится в сфере научных интересов специалистов Южного научного центра РАН [10]. Проведившиеся ранее исследования сероводородной зоны не учитывали возможности воздействия на морскую экосистему подводных аварий при нефтегазодобыче. При научном сопровождении таких работ требуется учет всех крайних обстоятельств на этапах промышленной добычи нефти.

Тектоническая активность. Фактором, увеличивающим риск возникновения аварийной ситуации, может стать тектоническая активность. Шельф Чёрного моря находится в зоне современных тектонических движений. Магнитуда подводных и наземных землетрясений меняется от 3,7 до 7–8 [11]. Всем хорошо известны крупные землетрясения на Черноморском побережье Кавказа (в районе городов Туапсе, Сочи, Сухуми) и в прилегающей высокогорной части Большого Кавказа [11].

Результатом сейсмических подвижек на дне моря могут быть как вспышки огня над водой, являющиеся следствием возгорания метана, выходящего со дна моря через трещины, так и перемешивания верхнего кислородного слоя воды с нижним сероводородным [12].

Коррозия. Одной из сложностей реализации проектов геологоразведки и нефтедобычи в условиях сероводородного слоя Черного моря является ведение работ в высоко коррозионно-активной среде. Растворенный в воде сероводород активно реагирует почти со всеми металлами, в том числе с железом и легирующими металлами, с образованием сульфидов. В этом случае будут иметь место сразу два вида коррозии. Во-первых, это химическая коррозия в результате взаимодействия металла и сероводорода с образованием сульфида. Образование

сульфидов на поверхности металла запускает процесс электрохимической коррозии в растворе электролита (в морской воде). Сульфид на поверхности металла образует рыхлый, легко отслаивающийся продукт коррозии, что способствует постоянному обновлению поверхности для дальнейшего, все более глубокого разрушения. Экспериментально показано, что скорость коррозии в морской воде, содержащей сероводород, примерно в 3 раза выше, чем в морской воде без сероводорода [13]. Сходные результаты получены по проекту “Голубой поток” [14, 15].

Оптимальным решением этого вопроса могло бы стать проведение экспериментальных работ по изучению коррозии на материалах, применяемых в процессе нефтегазодобычи, с опусканием их на большие глубины с судна, или на буйах (рис. 4).

Промышленные аварии. Авария, произошедшая в апреле 2010 г. на платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе, показала, что даже в отсутствие сероводорода последствия такого рода инцидента могут быть крайне негативными и длительными (рис. 5). Вне зависимости от причин аварии может произойти более опасный аварийный выброс нефти/газа вместе с сероводородом на поверхность моря и в атмосферу. В результате этого кислород, растворенный в поверхностных водах, может быть полностью исчерпан за счет его реакции с сероводородом. В итоге произойдет массовая гибель всех организмов, обитающих в верхнем слое воды (рис. 6). Опасность может также угрожать и персоналу, находящемуся поблизости, поскольку сероводород токсичен уже в миллимолярных концентрациях. Для оценки вероятного негативного воздействия на курортное побережье нужно разрабатывать специальные риск-сценарии, а также определить ПДК для человека в условиях субтропического климата.

Несмотря на серьезность последствий возможных аварий, до сих пор ограничены сведения о контроле сероводорода в атмосфере при работе на судах и буровых платформах. Но без таких исследований трудно судить об уровне и реальной опасности влияния выделения сероводорода на персонал. Чтобы исключить выход сероводорода в атмосферу с возгоранием, взрывом и другими катастрофическими последствиями, необходимы дополнительные исследования по оценке как негативного влияния на подводное оборудование, так и вреда, который может быть причинен биоте (включая расчет возможных компенсаторных затрат).

Теракты. К рискам антропогенного происхождения помимо возможных промышленных аварий (в результате сбоя работы оборудования или халатности персонала) можно отнести нестабильную

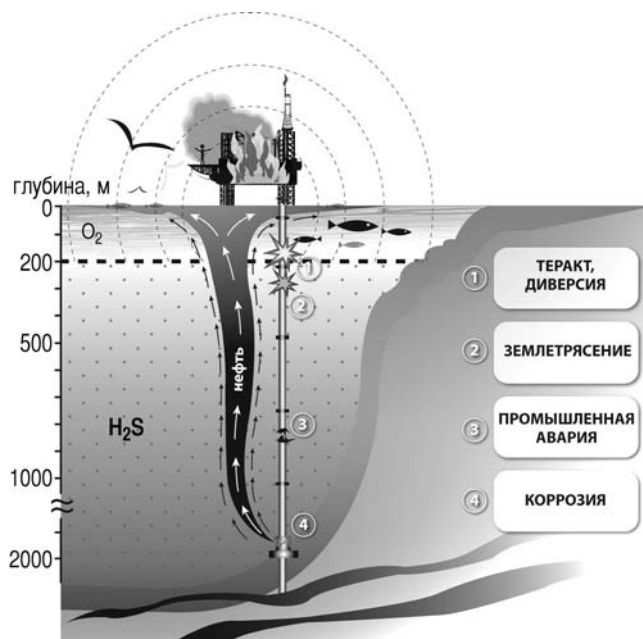


Рис. 3.

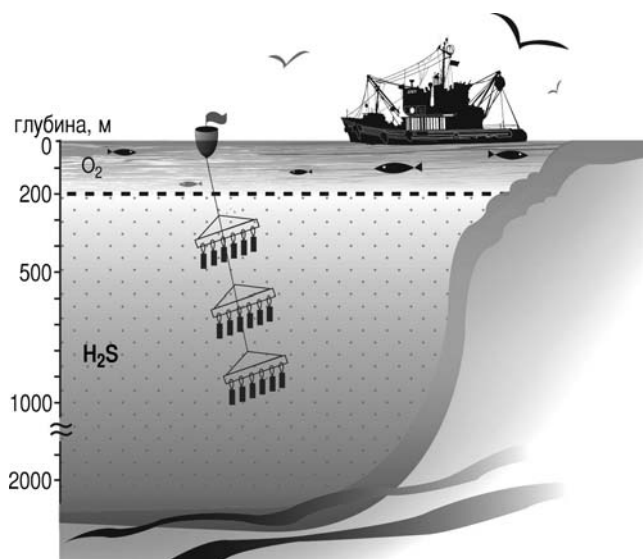


Рис. 4.

социально-политическую обстановку на Кавказском побережье и вероятность террористических актов [16–18]. При этом под риском понимается сочетание вероятности и последствия наступления явлений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные знания о явлениях в зоне сероводородного заражения вод недостаточны, чтобы представить степень его агрессии и влияния на

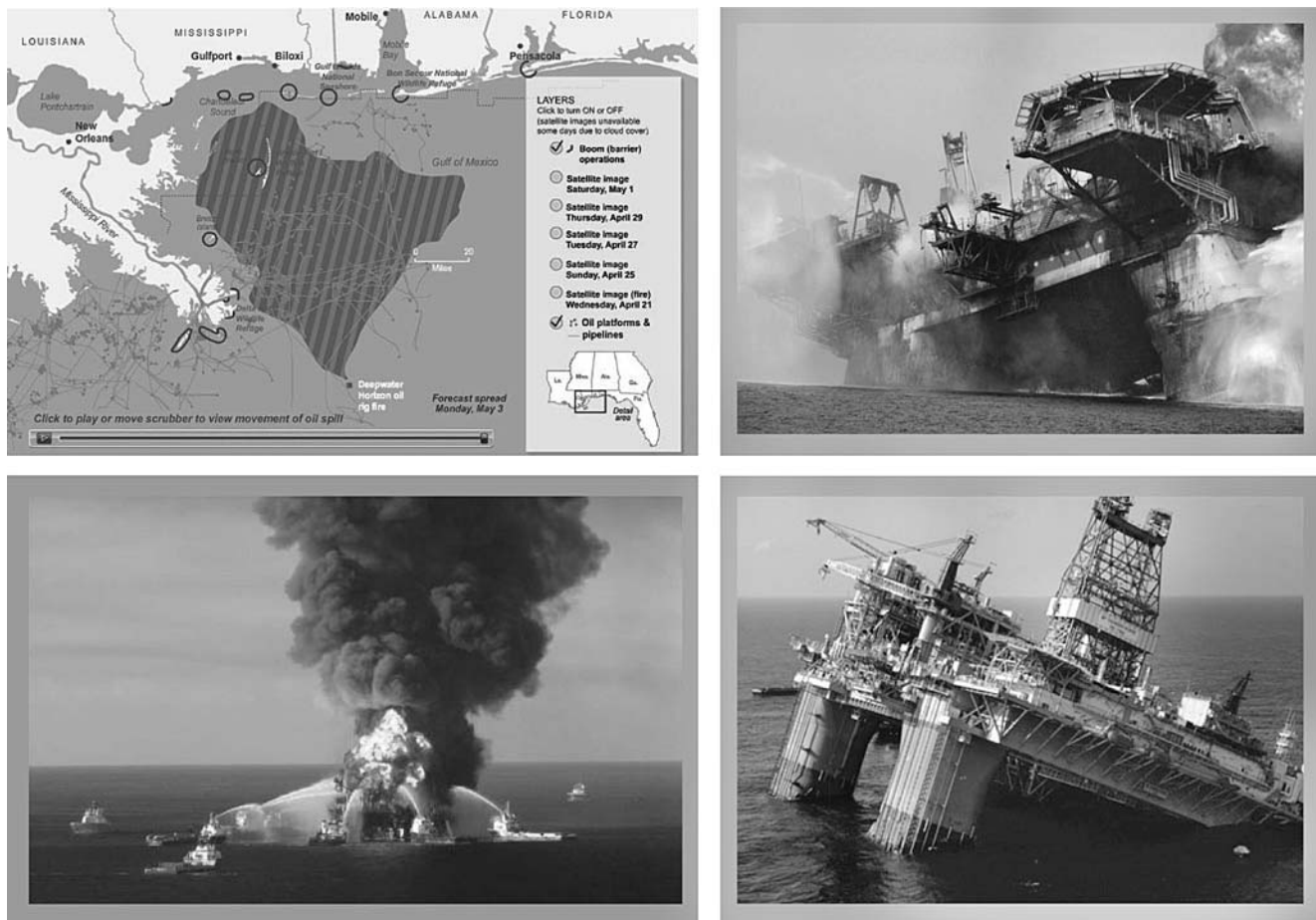


Рис. 5.

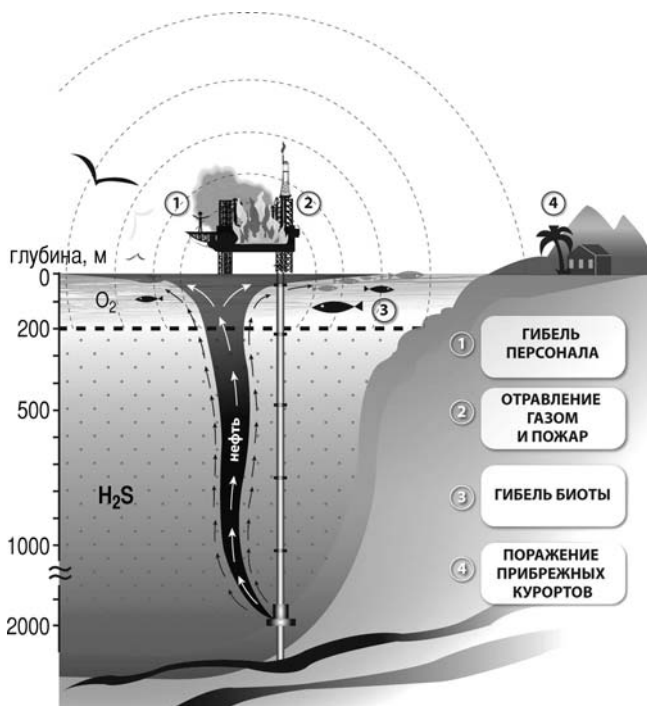


Рис. 6.

подводные инженерно-технические конструкции и трубопровод, а также на все элементы экосистемы Чёрного моря. Для оценки рисков и масштабов аварийных ситуаций при сероводородной агрессии, а также для разработки организационно-технических решений защиты персонала и подводного оборудования необходимы:

- выяснение закономерностей распределения и уровня концентраций сероводорода и метана в толще воды по глубинам и в донных осадках;
- оценка состояния экосистемы и выявление компонентов биоты, наиболее уязвимых к воздействию геологоразведочных работ и нефтедобычи;
- уточнение направления и скорости течений как в аэробном, так и анаэробном слое;
- анализ особенностей поведения нефти в морской воде с высоким содержанием сероводорода, включая временные параметры ее деструкции и осаднения;
- экспериментальное определение скорости коррозии конкретных элементов подводных конструкций;
- разработка перспективных средств защиты металлических конструкций от коррозии, например полимерных покрытий;

– отбор и разработка современных математических методов оценки рисков применительно к реализации проектов геологоразведки и нефтедобычи в морских условиях сероводородной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Емельянов Е.М.* Барьерные зоны в океане. Осадко- и рудообразование, геоэкология. Калининград, 1998. С. 207–218.
2. *Сорокин Ю.И.* Черное море. Природа. Ресурсы. М.: Наука, 1982. 216 с.
3. *Моря СССР. Том IV. Черное море.* СПб.: Гидрометеоздат, 1992. С. 104–114.
4. Особенности химии вод в бассейнах с анаэробными зонами // В кн.: *Океанология. Химия океана. Т. 1.* М.: Наука, 1979. С. 288–304.
5. *Скотинцев Б.А.* Формирование современного химического состава вод Черного моря. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 336 с.
6. *Леин А.Ю., Иванов М.В.* Крупнейший на Земле метановый водоем // *Природа.* № 2. 2005. С. 19–26.
7. Современные методы гидрохимических исследований океана / Отв. ред. О.К. Бордовский, А.М. Чернякова. М.: ИО РАН, 1992. 200 с.
8. *Неретин Л.Н., Демидова Т.П., Волков И.И.* Некоторые аспекты пространственной изменчивости поля сероводорода у северо-кавказского побережья Черного моря // *Океанология.* 1997. Т. 37. № 3. С. 365–372.
9. *Коновалов С.К., Романов А.С.* Спектрофотометрический и йодометрический методы определения сероводорода в Черном море: сравнение результатов анализа // *Морской гидрофизический журнал.* № 4. 1998. С. 70–80.
10. *Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе / Отв. ред. Г.Г. Матишов.* Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. 500 с.
11. *Шебалин Н.В.* Сильные землетрясения. Избр. тр. М.: Академ. горн. наук, 1997. 542 с.
12. *Никонов А.А.* Крымские землетрясения 1927 года: неизвестные явления на море // *Природа.* № 9. 2002. С. 13–20.
13. *Губасарян Т.П., Габушина И.В., Пернацкая К.Ш.* Скорость коррозии судостроительных материалов в сероводородсодержащей среде // *Физико-химическая механика материалов.* 1989. № 3. 105–106.
14. *Матишов Г.Г., Авксентьев В.А., Батиев Л.В.* Атлас социально-политических проблем, угроз и рисков Юга России. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. Т. III. 260 с.
15. *Матишов Г.Г., Батиев Л.В., Пащенко И.В.* Атлас социально-политических проблем, угроз и рисков Юга России. Том IV. Специальный выпуск: причины и обстоятельства роста напряженности, поиск путей стабилизации на Северном Кавказе. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. 120 с.
16. *Матишов Г.Г., Батиев Л.В.* “Атлас социально-политических проблем, угроз и рисков Юга России”: системный анализ безопасности южного макрорегиона // *Вестник Южного научного центра.* Т. 5. № 3. 2009. С. 6–14.
- 17.
- 18.

**THE RISKS OF GEOLOGICAL SURVEY
AND OIL-AND-GAS PRODUCTION
PROJECTS REALIZATION IN CONDITIONS
OF HYDROGEN-SULPHIDOUS ZONE OF THE BLACK SEA**

**Academician of RAS G.G. Matishov, Corresponding member of RAS D.G. Matishov,
S.V. Berdnikov, G.V. Kovaleva, A.V. Vikrischuk**

The problem of the risks of geological survey and oil-and-gas production projects realization in conditions of hydrogen-sulphidous zone of the Black Sea is considered in the article. Special attention is given to the question of the negative effect of these works upon the media and biota of the Russian shelf of the Black Sea.

Key words: hydrogen sulphide, the Black Sea, geological survey, oil-and-gas production.