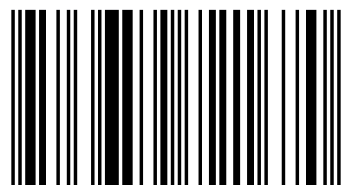


Особенности гидрологии и строения недр морских месторождений Каспия

Каспийское море - крупнейший замкнутый водоем Евразии, который обособился 5,6 млн. лет назад. Характерная особенность Каспия – значительные объемные колебания уровня. За последние пять веков размах колебаний составил 5.5 м. Земная кора бассейна Каспия состоит из трех крупных тектонических элементов (этажей). В верхнем, плиоцен - четвертичном, осуществляется функционирование всех звеньев экосистемы Каспийского моря. Его строение и условия залегания повсеместно несут следы новейших тектонических движений. Их активность не завершилась и по сей день. Признаками этого служат повышенная сейсмичность, грязевой вулканизм, гидротермальная деятельность, выброс пластовых флюидов и др. Сведения о внезапных выбросах нефти и газа из недр известны с древних времен и подкреплены данными современных научных исследований и множеством аварий на ряде морских промыслов. В недрах бассейна Каспия сосредоточены богатейшие месторождения различных полезных ископаемых, наиболее важную роль играют углеводороды. Цель настоящей работы – повысить надежность прогнозов аварийных подвижек недр и внезапных выбросов пластовых флюидов на морских месторождениях Каспия в условиях экспансии нефтегазодобычи.

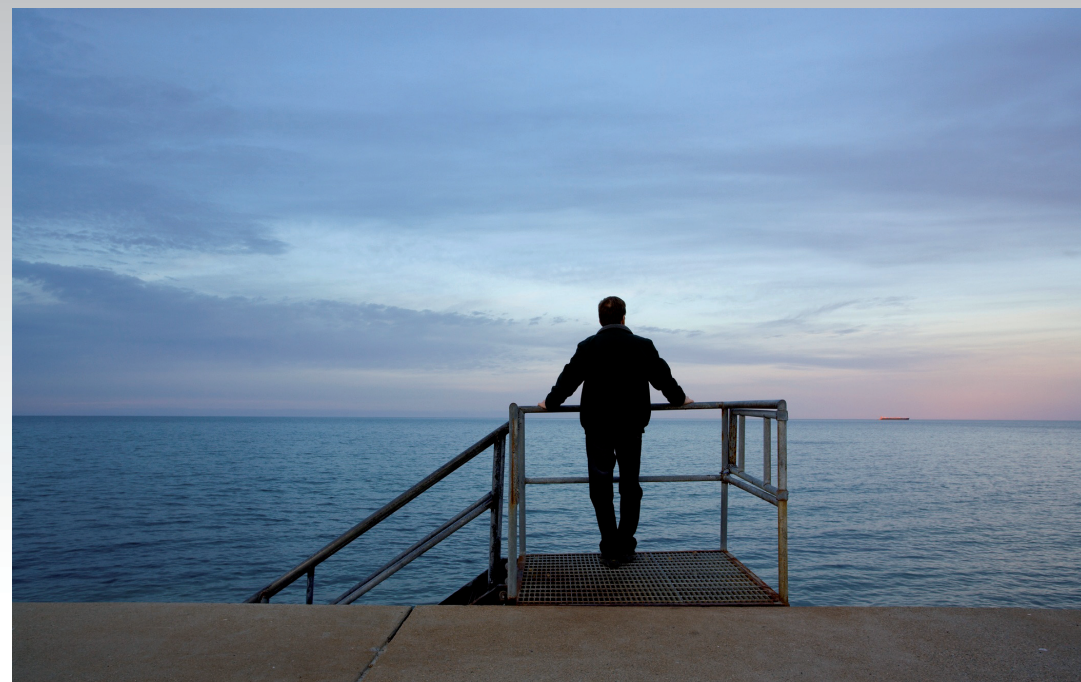
Бухарицин Петр Иванович, 1948 г.р., д.г.н., океанолог, проф, академик РАН и МАНЭБ, В 1975г окончил океанфак ЛГМИ. В.н.с. ИВП РАН, профессор АГТУ, г.н.с. ИО РАН. Более 400 научных работ, 20 патентов на изобретения. Награды: 8 орденов и 19 медалей. Заслуженный деятель науки и образования; Заслуженный деятель науки и техники; Основатель научной школы.



978-3-659-72167-0

Особенности гидрологии и недр Каспия

Бухарицин, Голубов, Иванов



Пётр Бухарицин · Борис Голубов · Андрей Иванов

Особенности гидрологии и строения недр морских месторождений Каспия

Методы прогноза и мониторинга выбросов пластовых флюидов в условиях экспансии морской нефтегазодобычи


Palmarium
academic publishing

**Пётр Бухарицин
Борис Голубов
Андрей Иванов**

**Особенности гидрологии и строения недр морских
месторождений Каспия**

**Пётр Бухарицин
Борис Голубов
Андрей Иванов**

**Особенности гидрологии и
строения недр морских
месторождений Каспия**

**Методы прогноза и мониторинга выбросов
пластовых флюидов в условиях экспансии
морской нефтегазодобычи**

Palmarium Academic Publishing

Impressum / Выходные данные

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Coverbild / Изображение на обложке предоставлено: www.ingimage.com

Verlag / Издатель:

Palmarium Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Bahnhofstraße 28, 66111 Saarbrücken, Deutschland / Германия

Email / электронная почта: info@omniscryptum.com

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

ISBN: 978-3-659-72167-0

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2016 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2016

БУХАРИЦИН П.И., ГОЛУБОВ Б.Н., ИВАНОВ А.Ю.

**КАСПИЙСКОЕ МОРЕ, ЕГО ОСОБЕННОСТИ,
ПРОГНОЗ И МОНИТОРИНГ ВЫБРОСОВ
ПЛАСТОВЫХ ФЛЮИДОВ ИЗ НЕДР МОРСКИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА**

2016г.

СОДЕРЖАНИЕ

Некоторые сведения о гидрологии Каспийского моря.....	4
Цунами и подводные вулканы	16
Водный баланс Каспийского моря	16
Проблема водного баланса Каспия и его связи с подземной гидросферой	19
Литература к разделу	29
Результаты и вопросы комплексирования методов спутникового и подспутникового мониторинга пленочных загрязнений моря в условиях экспансии морской нефтегазодобычи	31
Введение	31
Состояние проблемы	35
Методология прогноза	38
Заключение	77
Литература к разделу	78
Методические основы мониторинга пленочных (нефтяных) загрязнений моря по данным радиолокационных спутниковых наблюдений	84
Введение	84
Назначение методики	85

Цели и задачи методики	87
Исходные данные	88
Общие закономерности распространения и распределения нефти/нефтепродуктов в морской среде	89
Методологические основы обработки данных спутникового (радиолокационного) мониторинга	91
Выбор технических характеристик съемки для задач мониторинга пленочных загрязнений (полоса обзора, поляризация, разрешение, углы падения лучей, периодичность обзора)	91
Подходы к дешифрированию радиолокационных изображений	92
Ограничения метода радиолокационного зондирования пленочных загрязнений	95
Предварительная обработка радиолокационных изображений	101
Тематическая обработка	102
Принципы идентификации пленочных загрязнений на РЛИ	105
Особенности дешифрирования антропогенных пленочных рафинирований в Каспийском море.....	105
Литература к разделу	108

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОЛОГИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Расположение и основные физико-географические характеристики

Каспийское море - крупнейший на Земле замкнутый водоем, расположенный во внутренней области Евразии, который обособился в среднем плиоцене около 5,6 млн. лет назад, отличается своеобразием и уникальностью населяющей его фауны, наличием богатейших запасов возобновляемых биологических ресурсов и невозобновляемых ресурсов недр, а также ряда других видов ресурсов: культурных, рекреационных, информационно-познавательных и т.д.

Каспийское море простирается с севера на юг на 1200 км, средняя его ширина – 310 км. Современное положение ограничено координатами: 47°07' и 36°33' с.ш., 45°43' и 54°03' в.д. Площадь моря при отметке минус 27,5 м. абс. составляет 386,4 тыс. км². По характеру подводного рельефа Каспий делят на три части: северную, среднюю и южную. Граница между северной и средней частями моря проходит по линии о. Чечень – м. Тюб-Караган, между средней и южной – по линии о. Жилой – м. Куули.

Северная часть моря мелководна, ее средняя глубина 5-6 м, максимальные глубины 15-20 м на границе со средней частью Каспия. Рельеф дна осложнен наличием банок, островов и бороздин. Средняя часть моря представляет собой обособленную котловину, область максимальных глубин которой находится в Дербентской впадине, расположенной ближе к западному берегу моря. Средняя глубина средней части 190 м, наибольшая – 788 м. Западный склон Дербентской впадины узкий и крутой, восточный склон очень пологий. Дно впадины представляет собой слабонаклоненную равнину с преобладающими глубинами 400-600 м. Южная часть моря отделена от средней Апшеронским порогом – подводным продолжением Главного Кавказского хребта. Глубины над ним не превышают 180 м. Наиболее глубоководная часть Южно-каспийской котловины с максимальной для всего моря глубиной 1025 м расположена восточнее дельты Куры. Над дном котловины поднимаются несколько подводных хребтов высотой до 500 м.

Шельф Каспийского моря ограничен глубинами 100 м. Материковый склон начинается ниже бровки шельфа и заканчивается в средней части моря на глубинах 500-600 м, а в южной части (здесь он очень крутой) – на 700-750 м. У западного побережья шельф узкий, средняя ширина его здесь 40 км. Еще более узкий шельф у южного побережья моря, где глубины 400 м находятся в 5-10 км от берега. У восточного побережья шельф более обширный, средняя ширина его около 130 км (рис.1).

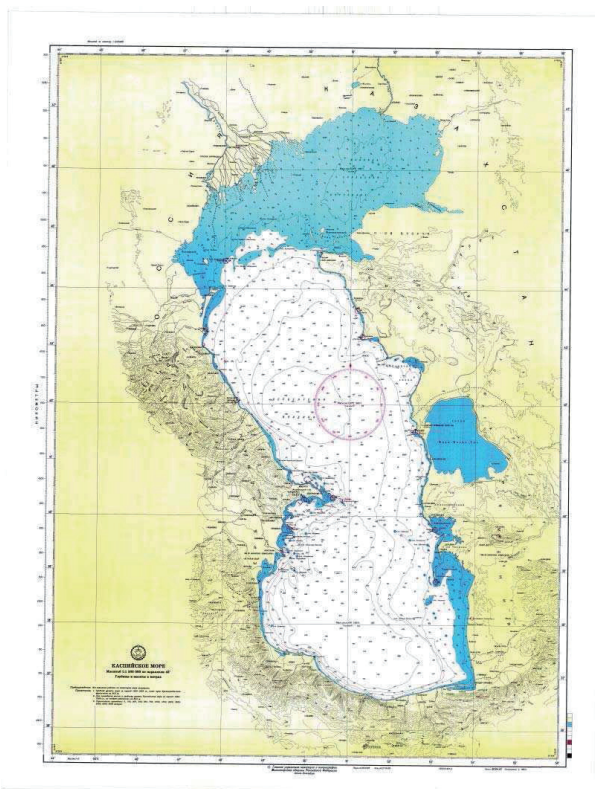


Рис. 1. Современная навигационная карта Каспийского моря.

В пределах бассейна Каспийского моря земная кора почти повсеместно относится к континентальному типу и имеет мощность около 35 км за исключением областей Южного Каспия и Прикаспийской низменности, где эта кора, судя по геофизическим данным, резко сокращена и близка по своим свойствам к коре океанического типа.

В строении земной коры бассейна Каспийского моря различается три наиболее крупных тектонических элемента: древняя Восточно-Европейская платформа, молодая Скифско-Туранская плита и Средиземноморский альпийский подвижный пояс, в разрезах каждого из которых обособляется несколько разновозрастных структурных этажей и более мелких тектонических элементов.

Среди этих этажей особое место занимает верхний плиоцен-четвертичный структурный этаж, в пределах которого осуществляется в основном функционирование всех звеньев экосистемы Каспийского моря. Этот этаж с резким угловым и азимутальным несогласием наложен на более древние разнородные структурные этажи указанных выше тектонических элементов земной коры. Область распространения плиоцен-четвертичных отложений этого этажа соответствует контуру новейшей тектонической впадины Каспийского моря, которая представляет собой наиболее погруженную часть более обширного гигантского Арало-Каспийского ареала новейшего прогибания, выраженного в современном рельефе в виде бессточной внутриматериковой депрессии Евразии.

Строение и условия залегания верхнего плиоцен-четвертичного структурного этажа повсеместно несут следы новейших тектонических движений, указывающих на то, что на всем этом огромном пространстве, включающем акваторию Каспия, нет областей, которые могли бы рассматриваться как устойчивые, неспособные к внутренним деформациям. Активизация неотектонических движений, возникшая здесь в неогене, привела к резкой перестройке сложившегося к тому времени структурного плана, которая не завершилась по сей день. Признаками этой незавершенности служат изостатическая неуравновешенность земной коры региона, повышенная сейсмичность, наиболее характерная для Средиземноморского подвижного пояса, разнонаправленные современные подвижки блоков горных пород и земной поверхности, грязевой вулканизм, гидротермальная деятельность, признаки активности непотухших вулканов в горах Эльбурса (Савалан, Демавенд), Большого Кавказа (Эльбрус, Казбек, Эрман-Ахубат, Нарван-Хох, Непискало, Хорисар, Сахоке-Садзели,

Кабарджин, Ткаршети), Предкавказья (центры эксплозивных извержений Грозненского района) и др.

В недрах бассейна Каспийского моря сосредоточены богатейшие месторождения различных видов рудных и нерудных полезных ископаемых, среди которых наиболее важную роль играют огромные запасы углеводородного сырья.

Объемные колебания уровня Каспийского моря

Характерная особенность Каспийского моря – значительные объемные колебания уровня. За последние пять веков периоды высоких и низких уровней сменялись, размах колебаний составил 5.5 м. В XX в. максимальный среднегодовой уровень по в/п Махачкала отмечен в 1903 г. (-25.55 м. абс.), минимальный в 1977 г. 29.02 м. абс.). Катастрофическое падение уровня Каспия, начавшееся в 30-е гг., привело к сокращению акватории северной части моря на 27000 км² (25%). Условия обитания рыб ухудшились, а уловы рыбы снизились более чем в 2 раза. Обмелели фарватеры судоходных каналов, портов. Огромный ущерб нанесен многим отраслям хозяйства всего прикаспийского региона. Дальнейшее снижение уровня Каспийского моря продолжалось с периодами относительной стабилизации до 1978 г., что привело к сокращению акватории Северного Каспия, отступлению береговой черты в среднем на 1 км/год. В эти годы происходило интенсивное выдвигание дельты Волги в сторону моря, составившее к 1978 г. 60-70 км. Падение уровня моря изменило гидрологический и ледовый режимы мелководного Северного Каспия. Следуя за морем, люди переносили ближе к урезу воды жилые дома и фермы, заселяли острова, реконструировали порты. В 70-е гг. на обсохших берегах Северного Каспия началась разведка и добыча нефти. Но, с 1978 г. снижение уровня Каспия внезапно сменилось его подъемом, урез воды стал смещаться в обратном направлении. Обжитая часть побережья стала затопливаться. К концу 1996 г. общее повышение составило 2,5 м, Это привело к убыткам во многих отраслях хозяйства, но теперь уже от затопления. В последующие годы уровень Каспийского моря некоторое время был относительно стабилен в пределах отметок от -27.0 до -27,2 м.

абс., а затем началось его быстрое падение, которое продолжается до настоящего времени (рис. 2).

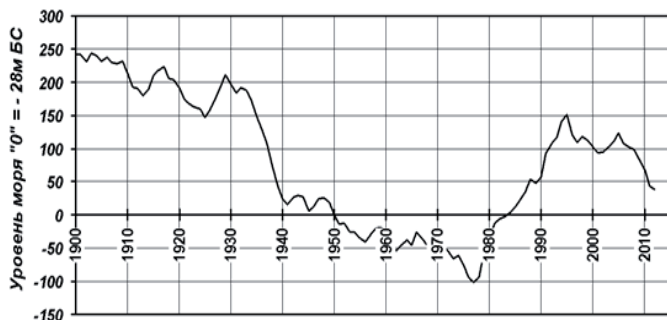


Рис. 2. Колебания уровня Каспийского моря, пост Махачкала, 1900-2012 гг.

Течения Каспийского моря

Первая схема течений Каспийского моря была составлена Н. Пуциным в 1877 г. по данным судовых наблюдений над течениями и материалов экспедиций Ивашинцева (1854-1874 гг.). В 1904 г. А.А. Лебединцев для построения схемы течений использовал данные наблюдений над течениями с помощью свободно плавающих поплавков и бутылочной почты. В Каспийское море было выпущено около 1000 бутылок (выловлено около 200). На основании полученных таким образом данных А.А. Лебединцев сделал вывод, что основное движение водам моря сообщается стоком Волги. В 1921 г. Н.М. Книпович опубликовал схемы течений Среднего и Южного Каспия, построенные по материалам экспедиций 1914-1915 гг.

Для их построения были использованы данные о распределении в море температуры воды, солености и других характеристик. Было установлено, что существует общее круговое движение, в которое вовлекаются воды Среднего и Южного Каспия. В этом общем движении вод Каспийского моря участвуют все водные массы бассейна, но максимальные скорости наблюдаются на границе между шельфом и свалом глубин. Дальнейшие исследования течений Каспийского моря показали, что в целом схема Н.М. Книповича верна. Интересны

теоретические исследования течений Каспийского моря, выполненные А.И. Михалевским (1931 г.), Н.Н. Горским (1936 г.), В.Б. Штокманом и И.И. Ивановским (1937 г.), В.А. Ледневым (1943 г.), В.А. Зениным и Н.Н. Струйским (1958 г.), В.М. Жирновым (1960 г.), А.К. Леоновым (1960 г.) и др. (рис. 3).

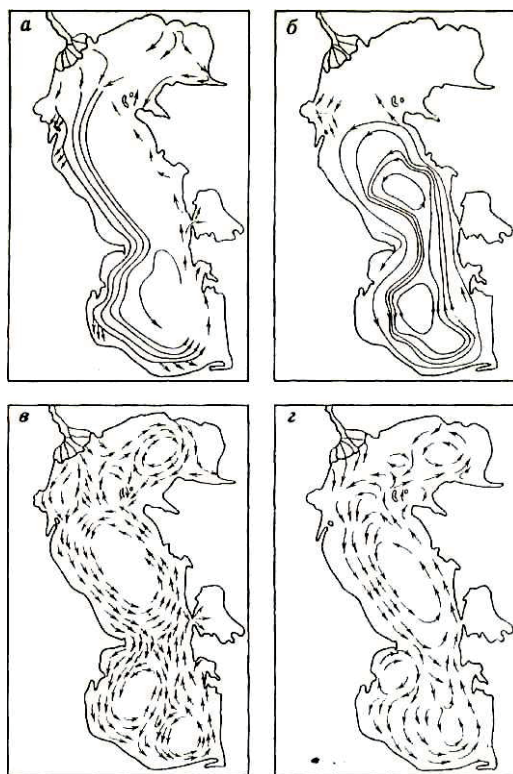


Рис.3. Схемы квазипостоянных поверхностных течений Каспийского моря, составленные разными авторами: а – Лебединцевым (1904 г.); б – Книповичем (1921 г.); в – Михалевским (1931 г.); г – Ледневым (1943 г.).

В 60-е гг. Ф.И. Валлер и И.Г. Егоров впервые оценили скорости подледных течений Северного Каспия. Для открытых районов Северного Каспия они равны 1-3 см/с. В дальнейшем различными научными организациями был получен большой объем информации, позволивший уточнять существующие схемы течений Каспийского моря. Однако, в

настоящее время еще не создано единой, общепринятой теории формирования течений Каспийского моря.

Температура и соленость морской воды

Распределение температуры. Изменчивость среднемесячных полей температуры в поверхностном слое Каспийского моря зависит от сезона. С октября по март характерно увеличение температуры с севера на юг и с запада на восток (особенно в Среднем Каспии). Выделяются две устойчивые зоны с повышенными градиентами температуры - на границах между Северным и Средним, а также Средним и Южным Каспием. В феврале-марте в северной фронтальной зоне, у кромки льда, температура увеличивается от 0 до 5°C, в южной, в районе Апшеронского порога, от 7 до 10°C. В центре Южного Каспия в этот период формируется ядро наименее охлажденных вод. В апреле-мае область минимальных температур перемещается в Средний Каспий в связи с более быстрым прогревом вод в мелководной и опресненной северной части моря. В июне - сентябре главная особенность температурного поля - связанный с апвеллингом (оттоком от берега теплых поверхностных вод и подъемом в верхний слой более холодных вод промежуточных слоев) интенсивный минимум значений вдоль всего восточного побережья Среднего Каспия, частично проникающий и в южную часть моря. С июня по сентябрь прослеживается интенсивное понижение температуры в восточной части Южного Каспия за счет поступления глубинных холодных вод из Среднего Каспия. С началом осенне-зимней конвекции, в октябре-ноябре, происходит быстрая перестройка полей температуры к зимнему режиму. Наибольший размах годового цикла температуры воды на поверхности наблюдается в Северном Каспии (на мелководье до 24-25°C). В центральных районах Среднего и Южного Каспия внутригодовые изменения температуры составляют 16-18°C, а в районах апвеллинга они уменьшаются до 14-15°C. На глубинах 50 м структура поля температуры с ноября по март в целом аналогична описанной на горизонте 20 м, за исключением того, что колебания зимних температур здесь в 1.5 раза меньше. На глубинах 100 м колебания температуры воды в 2-4 раза меньше, чем на вышележащих горизонтах. На глубинах 200 м сезонная изменчивость температуры воды не проявляется. Средняя многолетняя температура в

Среднем Каспии составляет 4,9-7,2°C, в Южном Каспии 6,4-7,9°C. На глубинах 500 м средние температуры составляют 4,9-5,5°C. Широтные различия по районам Среднего и Южного Каспия не превышают 1,0-1,5°C. В глубоководной Южно-каспийской впадине, на глубинах более 700 м, средняя температура вод практически постоянна 5,8-5,9°C.

Соленость каспийских вод. Средняя соленость каспийских вод составляет 12‰, максимальная 13,5-14‰. В устьях рек соленость воды может снижаться до 1-6‰. Распределение солености в поверхностном слое определяется двумя главными факторами: распространением по акватории моря вод, опресненных речным стоком, наибольший объем которого, поступает в Северный Каспий со стоком Волги и Урала (другой очаг опреснения находится у западного берега Южного Каспия) и испарением с поверхности моря. В Северном Каспии в течение всего безледного (апрель-ноябрь) периода располагается соленостный фронт, достигающий максимального развития в весенне-летний сезон. Южная граница этой зоны определяется соленостью 11-12 ‰. С весны до осени фронтальная зона не стабильна и смещается сначала на 50-100 км к югу вдоль западного берега Среднего Каспия, в июле-сентябре – к северу почти на прежние позиции, а в октябре-декабре – снова к югу, причем несколько дальше, чем весной. Изменение солености вод поверхностного слоя характерно и для всей глубоководной части Каспийского моря, но ее колебания здесь, как правило, не превышают 0.2-0.3‰. На глубинах 20 м соленость каспийских вод на порядок меньше, чем на поверхности (0.1-0.3‰). На горизонте 50 м контрастность полей солености почти в 1.5 раза меньше, чем на 20 м.

Ветровые волны

Каспийское море считается одним из наиболее штормовых морей мира. По данным многолетних натурных наблюдений в Каспийском море высоты волн до 6 м наблюдаются ежегодно, а более 10 м – примерно 1 раз в 5-10 лет. Наибольшим разгоном и скоростями обладают ветры северных и южных направлений. Некоторые максимальные измеренные высоты волн, на Каспийском море за годы наблюдений, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Дата	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Максимальная высота волн, м
13.02.52	С	28	10.0
02.03.1952	ССЗ	28	11.0
25.08.1952	ССЗ	28	8.0
23.02.1955	ССЗ	34	8.6
21.11.1956	С	40	10.0
21.11.1958	С	24	8.2
26.11.1959	С	28	8.5
05.03.1963	СЗ	34	8.4
18.12.1965	СЗ	28	8.9
20.03.1966	ССЗ	24	8.8
16.10.1966	СЗ	24	8.6
01.02.1967	СЗ	34	8.0
12.01.1975	ССЗ	20	9.0
17.10.1976	ССЗ	22	9.5
16.05.1980	СЗ	24	8.1
27.03.2003	СЗ	30	7.0

Реальное же число сильных штормов по районам Каспийского моря, очевидно, больше, чем официально зарегистрировано, ввиду отсутствия фактических данных.

Штормовые нагоны и сгоны

Штормовой нагон (морское наводнение) возникает под воздействием сильного ветра, дующего с моря - моряны. Ветер несет с собой не только пронизывающий холод, но и нагоняет на отмельный берег огромные массы воды. Нагоны с подъемом уровня моря от фонового более чем на 3 м, приводящие к катастрофическим последствиям, случаются очень редко – один раз в 150-200 лет. Менее значительные нагоны происходят практически ежегодно. Самый высокий подъем воды за весь период инструментальных наблюдений на Каспийском море отмечен в ноябре 1952 г., когда вдоль северо-западного побережья Каспия от г. Каспийского (ныне г. Лагань) до Брянской Косы величина подъема уровня воды составила 4,5 м. Произошло затопление прибрежной территории к западу и северо-западу от Каспийского моря

площадью более 17 тыс. км², местами вода распространилась до 50 км в глубину побережья. С 1952 г. по настоящее время таких мощных нагонов не наблюдалось (табл. 2).

Таблица 2.

Характеристика наиболее значительных нагонов в Северо-западной части Каспийского моря и в дельте Волги.

Дата	Максимальный уровень на пике нагона, м. абс.	Подъем воды относительно среднего уровня моря, м	Скорость подъема воды, см	Ширина зоны затопления, км
25-27.11.1910	-22.97	2.7	4.6	Нет сведений
10-13.11.1952	-24.53	4.5	20	<50
17-18.02.1981	-26.40	2.6	5-10	<25-30

Сгоны возникают при сходных с нагонами процессах, происходящих в то же время, но на противоположных берегах моря. Опасные сгоны приводят к обмелению морской части Волго-Каспийского судоходного канала, в результате чего прекращается судоходство в этом районе. При значительных сгонах вдоль побережья образуются осушки, ширина которых может достигать 10, а в некоторых случаях 40 км. Возможна массовая гибель рыбы. Особенно опасны сгоны, главным образом, весной, когда рыба идет на нерест, и зимой, когда она может быть прижата льдом ко дну. Значительные сгоны на Северном Каспии с 1937 г. наблюдались 10 раз.

Сейши

Сейши – свободные затухающие колебания воды в замкнутом или полужамкнутом бассейне, продолжающиеся после прекращения действия внешней силы до восстановления равновесия. Первые сведения о сейшах Каспийского моря приводятся Книповичем Н.М. (1921). Максимальная амплитуда сейшевых колебаний уровня в

Каспийском море, как правило, не превышает 40-60 см. Их наложение на штормовой нагон может привести либо к его усилению (эффект резонанса), либо ослаблению (если они окажутся в противофазе).

Прозрачность, мутность и цвет морской воды

Прозрачность вод на севере Каспия существенно зависит от стока Волги и Урала. Здесь выражены ее сезонные колебания. В таблице 3 показана прозрачность вод по данным многолетних наблюдений на гидрологических разрезах Северного Каспия. В Среднем и Южном Каспии прозрачность воды не одинакова, и значительно увеличивается в сторону открытого моря.

Минимальная прозрачность (несколько сантиметров) наблюдается весной вблизи впадения рек Терек, Самур, Кура и др. В центральной части моря во все сезоны года прозрачность воды составляет 10-15 м, максимальная по литературным источникам – 21 м. наблюдалась в глубоководном районе на юге Каспия в августе 1968 г. В последние годы в открытых районах Южного Каспия отмечалась прозрачность воды до 30 м.

Таблица 3.

Прозрачность вод Северного Каспия (м).

№ станции	Сезон											
	весна (IV—V)			лето (VI—VII)			летне-осенний (VIII—IX)			осень (X—XI)		
	Средня	Макс	Мин	Средня	Макс	Мин	Средня	Макс	Мин	Средня	Макс	Мин
Разрез I												
1	0,9	2,0	0,2	1,6	2,7	0,5	1,8	3,0	0,5	0,9	3,0	0,2
9	2,3	5,0	0,8	1,8	4,0	0,5	1,6	3,0	0,4	1,0	1,2	0,5
Разрез II												
12	1,1	2,0	0,4	1,9	3,2	0,9	1,1	2,0	0,8	1,0	2,0	0,5
17	4,1	6,0	1,8	4,0	6,0	1,5	3,9	4,8	3,0	2,8	4,0	1,2
Разрез III												
18	0,9	1,6	0,4	1,2	2,0	0,6	1,0	2,0	0,5	1,1	2,5	0,3
25	10,0	15,0	7,0	7,2	14,0	4,0	7,8	12,0	4,0	8,2	10,0	7,1

Мутность воды в Северном Каспии находится в прямой зависимости от сезона и ветрового режима. Весной (апрель-май), когда ветровая деятельность значительна, среднемесячное значение мутности равно 65-55 г/м³, летом (июнь-июль) оно уменьшается до 29 г/м³, а осенью опять постепенно увеличивается до 66 г/м³ (ноябрь). Самая высокая мутность воды за весь период наблюдений отмечена на устьевом взморье Волги 6 октября 1964 г. при западном ветре скоростью 15 м/с в поверхностном слое мутность составила 400 г/м³, в придонном 556 г/м³. Наименее мутная вода в открытых, удаленных от побережий и наиболее глубоководных районах Среднего и Южного Каспия.

Цвет воды на акватории Среднего и Южного Каспия зимой зеленовато-голубого цвета. Голубовато-зеленая вода простирается широкой полосой вдоль западного и восточного побережий. Вблизи берегов встречаются участки зеленой воды. В Северном Каспии зимой цвет воды не определяется ввиду наличия льда. Весной и в начале лета на цвет воды влияют взвешенные и растворенные органические вещества, фитопланктон, поэтому цвет воды желтовато-зеленый, зеленый. Под влиянием речных вод в западной части Северного Каспия вода преимущественно зелено-желтая и мутно-желтая. На границе Северного и Среднего Каспия цвет вод зеленый. Синий цвет воды в этот период наблюдается в юго-восточной части Каспия. Летом на значительной акватории Среднего и Южного Каспия преобладает голубовато-зеленый цвет. Голубой цвет сохраняется только в на самом юге Каспия. Осенью в Среднем и Южном Каспии преобладает зеленовато-голубой и голубовато-зеленый цвет. Вдоль берегов вода преимущественно зеленого цвета. На Северном Каспии цвет воды в этот период колеблется от мутно-желтого, коричнево-желтого на устьевом взморье Волги, до зеленовато-голубого на границе со Средним Каспием.

Цунами и подводные вулканы

Первое из известных цунами на Каспийском море наблюдалось в 957 г., когда при землетрясении море у г. Дербент отошло на 150 м. В 1868 г. возле Баку море сначала поднялось, затем опустилось почти на

полметра, а расположенная в 90 км от Баку Погорелая Плита, возвышавшаяся над морем на 2 м, ушла под воду.

Более опасные волны возникли во время 9-балльного Красноводского землетрясения 1895 г. Они полностью затопили поселок Узун-Ада. Вероятными зонами зарождения цунами являются районы высокой сейсмичности. На Каспии известно семь таких зон. Здесь чаще всего происходят сильные землетрясения (рис. 4).

На дне Каспийского моря зарегистрировано около 142 действующих подводных грязевых вулкана (Якубов А.А. и др., 1983). За последние 50 лет ежегодно происходит 2-3 извержения. Одно из извержений наблюдала команда судна «Моноксилиан» 8.01.2004 г. в 11 ч 40 мин в точке 37°35,031 с.ш. и 49°25,518 в.д. Наиболее мощные извержения также относятся к потенциальным источникам возникновения волн цунами на Каспии.

Водный баланс Каспийского моря

"Море Каспийское, озеро ли есть, или недра океанов?" Этот вопрос задал в 1650 г. нидерландский географ Бернхардус Варениус в своем труде "Всеобщая география" [Варениус, 1718]. В этой книге, которая была переиздана в 1672 г. под редакцией И.Ньютона и в 1718 г. по приказу Петра I переведена на русский язык в качестве учебного пособия для Морской академии, приведен также обзор разных точек зрения по этому поводу. Так Б. Варениус замечает: "Древние писали, что отверстием трактом оно со индийским океаном идет, иные писали, что с полунощным соединяется, а что все погрешили... Но иные рассуждают, сиречь, что не в океан тая проходит, но в горы ближние... Скалигер же утверждает с иными, что Каспийское сие море подземным проходом в Понт Эвксинский проходит, но ни единого признака тому не приводит".

Вслед за этим, в 1664 г., немецкий ученый Афанасий Кирхер опубликовал сочинение "Подземный мир" ("Mundus subterraneus"), в котором высказал идею о перегонке морской воды в земных пустотах. В частности, он полагал, что Каспийское море соединяется с Черным морем и Персидским заливом подземными путями. Эти построения А.

Кирхер подкреплял результатами своих непосредственных наблюдений за извержением вулканов Этна и Стромболи в 1638 г., а также результатов обследования кратера действующего вулкана Везувий.

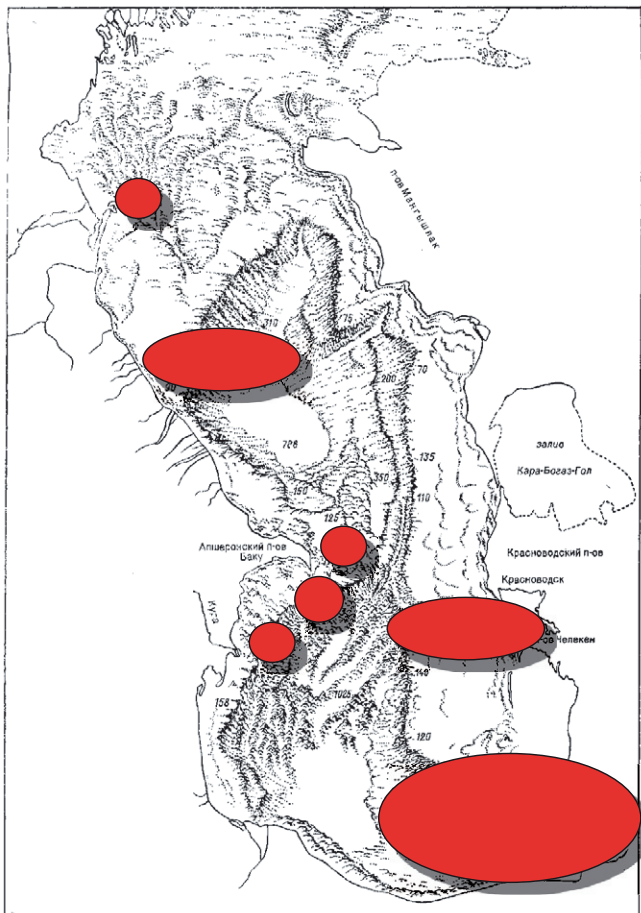


Рис. 4. Зоны вероятного возникновения цунами на акватории Каспийского моря.

К моменту появления трудов Б. Варениуса и А. Кирхера уже были известны отрывочные противоречивые сведения о Каспийском море в трудах древних греческих, римских, арабских, еврейских и китайских авторов, а также в описаниях, мифах и легендах, которые доставляли торговые караваны или военные отряды. Примечательны, в частности,

древние поверья о подземных реках и водоворотах, которые якобы способны затягивать суда на глубину в середине Каспия, а также залива Кара-Богаз-Гол, именуемого "черной пастью". Такие мифы отражены, например, на Герфордской карте Каспийского моря, которая была издана в 1260 г., в сочинении венецианца Марино Сануто *Liber Secretorum Fidellium Crucis*, изданном в 1320 г. [Багров, 1912; Дзенс-Литовский, 1967]. О том, что на Мангышлаке "с Каспийским морем соединяется вода Аральского", узнаем из трудов географа X века Хамдаллаха Казвини. Сходные суждения находим в трудах географа XV в. Джурджани, воспоминаниях англичанина Дженкинсона, который с одобрения царя Иоанна Грозного отправился из Москвы в Среднюю Азию исследовать торговый путь в Китай [Бартольд, 1902]. Таким образом, труды Б. Варениуса и А. Кирхера завершали длительный этап умозрительного познания Каспия. Вслед за этим, благодаря усилиям Петра I, последовал этап систематических научных морских исследований в пределах Каспия.

С 1713 по 1726 гг. по велению Петра I на Каспий и в Хиву был направлен ряд экспедиций, которые дали толчок развитию картографии и изучению природы Каспийского региона. Это связано с именами А. Бековича-Черкасского, Ф.И. Соимонова, К. Вердена, В.А. Урусова, А.И. Кожина, П. Дефремера и др. Замыслы Петра I воплощали и последующие научные экспедиции, направленные в Закаспий в период с 1720 по 1874 гг. [Труды..., 1875].

Результаты этих исследований сводились к географическим открытиям истинных очертаний Каспийского моря, первым научным сведениям о его гидрологии, геологических особенностях региона и т.д. Например, экспедиция А. Бековича-Черкасского дважды, в 1714 и 1717 годы, направлялась к каспийским берегам и далее по маршруту Астрахань - Гурьев - низовья Эмбы - Устюрт -Хива. Во время первой экспедиции Бекович-Черкасский вел съемки северного и северо-восточных берегов Каспия, добыл первые сведения о нижней части долины Узбоя. Съёмочные работы в 1715 г. продолжил А. Кожин. В 1719 г. Ф.И.Соимонов и Ван-Верден провели съемку южного и западного берегов моря, что позволило составить новую карту Каспийского моря,

которую Петр I представил Французской Академии, избравшей его своим почетным членом.

На основании этих данных Ф.И. Соимонов [1763] заявил: *"Каспийское море исхождением паров теряет столько воды, сколько из рек в оное втекает..."*. С тех пор укоренилось представление о Каспии, как о бессточном замкнутом водоеме, колебания уровня которого регулируются только климатом, и это предположение Ф.И. Соимонова казалось незыблемым на протяжении многих десятилетий.

Проблема водного баланса Каспия и его связи с подземной гидросферой

Основоположником изучения водного баланса Каспийского моря по праву можно считать выдающегося русского климатолога А.И. Воейкова, который еще в 1884г. оценил испарение с акватории Каспия (1085 мм/год) и количество осадков на его поверхность (200 мм/год), причем эти оценки и в настоящее время удивляют своей точностью. В последующие годы исследованиями водного баланса занимались Н.М. Книпович (1921 г.), А.М. Михалевский (1925 г.), Л.Ф. Рудовиц (1929 г.), С.А. Ковалевский (1933 г.), Г.Р. Брегман (1935 г.), Б.А. Аполлов (1935 г.), Б.Д. Зайков (1941, 1946 и 1947 гг.). Результаты исследований показали, что Волга обеспечивает не менее 80% суммарного стока рек, впадающих в Каспийское море и около 70% общего поступления воды в Каспий. В табл. 4-6 приведены данные о водном балансе Каспийского моря, полученные за период с 1900 по 1995 гг.

Вместе с тем, еще в 1793 г. В.Н. Татищев в труде [Лексикон..., 1793] раскритиковал попытки рассчитать для Каспия сколько *"воскурением"* из него *"восходит"* и *"колик во оное воды всеми реками приходит и что оное более за хитрость и остроумие нежели за истину принять можно"*. Опираясь на результаты описания Каспия и открытия в 1721 г. залива Кара-Богаз-Гол, этот исследователь заметил: *"Из чего достаточно признается, что тот проток подземной пучиной в Восточное или Северное море произходит..., и может из Аральского моря во оной же под землю проток присовокупляется..."*. Но следует признать, что точка зрения В.Н. Татищева не нашла поддержки у

исследователей. Её затмили результаты исследований и идеи П.С. Палласа.

Таблица 4.

Водный баланс Каспийского моря по Никоновой и Бортникову (1996).

Период для составления водного баланса, его продолжительность (годы)	Средний уровень моря за период, м. абс.	Средняя площадь моря за период, тыс. км ² .	Приток воды в Каспий, км ³ /год		
			Речной сток	Подземный сток	Атмосферные осадки
1900 – 1929 (30 лет)	-26,7	403	332,4	5,5	69,8
1930 – 1941 (12 лет)	-26,8	393	268,6	5,5	72,9
1942 – 1969 (28 лет)	-28,2	370	285,4	4,0	74,1
1970 – 1977 (8 лет)	-28,7	361	240,5	4,0	87,6
1978 – 1995 (18 лет)	-27,8	379	315,0	4,0	86,1

Таблица 5.

Период для составления водного баланса, его продолжительность (годы)	Расходная часть баланса, км ³ /год		Результирующая баланса	
	Испарение	Сток в Кара-Богаз-Гол	км ³ /год	см/год
1900 – 1929 (30 лет)	389,4	21,8	-3,5	-1,0
1930 – 1941 (12 лет)	394,8	12,4	-60,2	-15,4
1942 – 1969 (28 лет)	356,3	10,6	-3,4	-0,9
1970 – 1977 (8 лет)	374,9	7,1	-49,9	-13,8
1978 – 1995 (18 лет)	348,7	8,6	-47,8	-13,6

Таблица 6.

Период для составления водного баланса, его продолжительность (годы)	Изменение уровня за период	
	По расчётному балансу	По натурным наблюдениям
1900 – 1929 (30 лет)	30	31
1930 – 1941 (12 лет)	185	196
1942 – 1969 (28 лет)	25	68
1970 – 1977 (8 лет)	110	49
1978 – 1995 (18 лет)	245	235

С 1768 по 1774 гг. П.С. Паллас возглавлял "физическую" экспедицию из пяти отрядов, которые работали в Оренбургской и Астраханской губерниях. Как и Ф.И. Соймонов, Паллас полагал, что многолетние колебания уровня Каспийского моря зависят от климатических факторов. Низменные берега Северного Каспия Паллас рассматривал как пространство, недавно вышедшее из-под воды. Подметив родство рыб и моллюсков Каспия и Черного моря, он впервые выдвинул гипотезу о былой связи этих морей через Манычскую ложбину и Азов [Паллас, 1775-1778]. По мнению О.А. Гримма [Труды..., 1875], "*предположение Палласа было настолько основательно, что никто из последующих путешественников и ученых, писавших о той стране, не решился опровергнуть его*". Так зародилось представление о системе обширных древних морских бассейнов, которую в 1893 году австрийский геолог Э. Зюсс в работе "Лик Земли" назвал океаном Тетис. Эта схема не утратила своей популярности до сих пор и почти полностью затмила собой необходимость поиска связи вод Каспия с подземной гидросферой, поскольку заведомо исключала из рассмотрения геологические процессы в недрах этого моря, а также соседних территорий.

Вместе с тем накопленные к настоящему времени данные морских и наземных геологических исследований убеждают, что помимо внешних климатических факторов водный баланс Каспия определяется множеством форм связи с подземной гидросферой, а точнее с флюидами осадочных нефтегазоносных бассейнов в виде подземных вод, нефтей и газов. Кроме того, воды Каспия тесно связаны с пустотным пространством горных пород соседних территорий. Т.е. Каспий обладает подземными берегами. Наконец, не вдаваясь в детали, заметим только, что в настоящее время назрела необходимость рассматривать Каспий как водоем принципиально нового генетического типа, который сформировался в плиоцене в результате резкой перестройки структуры земной коры в условиях изоляции от Мирового океана за счет разгрузки подземных вод трех групп артезианских бассейнов: Северо-, Средне- и Южно-Каспийской. Естественный режим такой разгрузки до сих пор регулируется геодинамическими подвижками недр Каспия.

Ниже рассматриваются особенности расчетов водного баланса Каспийского моря в рамках укоренившихся воззрений о его бессточности, а также с точки зрения множества форм связи этого моря с подземной гидросферой.

Особенности расчетов водного баланса Каспия

В "эволюции" уравнения водного баланса Каспия выделяются начальный, промежуточный и современный этапы.

На начальном этапе (1763 - 1929 гг.) формула водного баланса Каспия имела вид:

$$Q + xF = zF,$$

где Q – сток рек в море; x – осадки на поверхности моря; z – испарение с поверхности моря; F – площадь моря. Это есть точное выражение мысли картографа Ф.И. Соймонова (1763 г.): *"Каспийское море исхождением паров теряет столько воды, сколько из рек в оное стекает"*. В этой схеме отсутствовали подземная составляющая, а также невязка водного баланса: его приходная и расходная

составляющие автоматически уравнивались путем умозрительной оценки величины испарения. Заметим, что эта величина до сих пор не измеряется физически, а оценивается по различным теоретическим и эмпирическим формулам Мейера, Свердруп, В.С. Самойленко и др.

Позднее эта формула была использована в построениях А.И. Воейкова (1884 г.), Н.М. Книпповича (1921 г.), Л.Ф. Рудовица (1927 г.), М.Д. Дундукова (1934 г.). Т.е. изначально Каспийское море изображалось в виде бессточного замкнутого водоема с непроницаемым дном, уровень которого регулируется только соотношением притока поверхностных вод и потерь морских вод на испарение. Подземная составляющая, а заодно и невязки водного баланса в таком уравнении отсутствовали: приходная и расходная составляющие автоматически уравнивались путем умозрительной оценки величины испарения, которая физически не измерялась. В частности, А.И. Воейков в 1884 г. считал, что испарение с водной поверхности Каспийского моря должно быть равно 1085 мм. Такой образ Каспия в виде замкнутой "кастрюли с глухим дном" сохранил свою живучесть до 1930 г.

Промежуточный этап (1930-1978 гг.) разделяется на две фазы: (1930-1964 гг.) и (1965-1978 гг.). На первой из них (1930-1964 гг.) формула водного баланса обрела уже иной вид:

$$Q + q + xF = zF + S + \delta,$$

где вводились две новых составляющих: q – приток подземных вод в море; S – сток в залив Кара-Богаз-Гол; δ – невязка водного баланса.

Первая поправка явилась заслуженной данью результатам углубленного изучения газонефтяного вулканизма Южно-Каспийской впадины, история которого, начатая Г.В. Абигом, освещена в книге [Очерки..., 1982]. Стремление постичь природу такого явления привело к тому, что в 1924 г. С.А. Ковалевский обнаружил подпитку Каспия подземными ключами и оценил её величиной 23,9 км³/год, что составляло примерно одну десятую часть стока р. Волга.

В 1934 г. в построениях А.И. Михайловского и Г.Р. Брегмана величина разгрузки подземных вод возросла до 49,3 км³/год, что составляло примерно одну пятую годового стока Волги. Отсюда

становилось очевидной необходимостью уточнения связи вод Каспия с подземной гидросферой. Но постановка задач морских и наземных исследований с этой целью не была реализована.

Вместе с тем "дырявое" дно Каспия и значительная его подпитка подземными водами не вписывались в картину прогрессирующего обмеления моря, осложняли арифметику выравнивания его водного баланса и требовали признания того, что не только климат является регулятором уровня этого моря. Но, как показано в работе [Голубов, 1984], это не особо поколебало устои климатологической концепции бессточности. Её защитники выбрали простой путь: они стали апеллировать к низкой точности определения подземного стока и утверждать, что его доля в водном балансе Каспия пренебрежимо мала и примерно на порядок меньше по сравнению с тем, что утверждал С.А. Ковалевский. Волевым путем такой объем был понижен до 3-5 км³/год. В 1935 г. А.И. Михайловский и Г.Р. Брегман пересмотрели свою предыдущую оценку и стали полагать, что подземные воды дренируются в море в объеме всего 5 км³/год. Такие же ничтожные объемы фигурировали в построениях Б.А. Аполлова (1935 г.; 4 км³/год), Ф.А. Макаренко (1946 г.; 5 км³/год). С.С. Ремизова в 1964 г. сократила этот показатель до 2 км³/год, а Александрова и Лавров (1937-1938 гг.) и Корценштейн (1962 г.) – до 0,3 км³/год. И только Х.К. Уланов в своих работах в 1964-1965 гг. настойчиво утверждал, что величина подземного стока в Каспий составляет не менее 17,3 км³/год.

На этой стадии в расчетах водного баланса появилась также его невязка, равная примерно 3-5 км³/год, на фоне которой подземный сток в Каспий заведомо превращался в пренебрежимо малую величину, на изучение и уточнение которой не следовало тратить ни средств, ни усилий. "Неугодный" приток подземных вод был окончательно "подавлен" гипотезой о чрезвычайной испаряющей роли залива Кара-Богаз-Гол в жизни Каспия. Сток в залив, который якобы полностью терялся в парах атмосферы и обеспечивал прогрессирующее обмеление моря, занял особое место в уравнении водного баланса.

Но такая точка зрения вступала в противоречие с тем, что в начале 1950-х гг. буровыми работами в зал. Кара-Богаз-Гол были обнаружены погребенные рассолы в донных соляных отложениях, совершенно отличные от поверхностной рапы залива. Здесь установлено четыре

погребенных соляных пласта и межкристалльных высоконапорных рассолов [Дзенс-Литовский, 1967]. Оказалось, что соляные отложения залива Кара-Богаз-Гол закарстованы и осложнены множеством зияющих "окон" или промоин, достигающих 20-50 м в поперечнике. Вокруг них на большой площади верхний слой галита оказался разрыхлен и осложнен большим количеством влажных шишечек пикоти, которые, по мнению Л.М. Гроховского, свидетельствуют об усиленном поступлении подземных вод в котловину Кара-Богаз-Гола. Рядом с такими промоинами встречаются также "соляные грибы", ножки которых пронизаны вертикальными каналами, по которым разгружаются струи сероводорода [Дзенс-Литовский, 1967]. Т.е. дно зал. Кара-Богаз-Гол тоже оказалось "дырявым", а его надуманный образ в виде мощного испарителя, подобного раскаленной сковородке с непроницаемым дном, весьма сомнительным.

Таким образом, в этот период времени, как и прежде, величина испарения с поверхности моря и залива Кара-Богаз-Гол физически не измерялась. Она являлась лишь умозрительным подгоночным параметром, с помощью которого укреплялось обманчивое впечатление о том, что только климат является регулятором колебаний уровня Каспийского моря, а вклад подземной гидросферы в его водный баланс пренебрежимо мал, т.е. концепция бессточности этого моря оставалась по существу неизменной.

Вторая фаза (1965-1978 гг.) отличается тем, что формула водного баланса Каспия обрела более сложный вид:

$$(Q - \Delta Q) + (q_g + q_a) + (x + \Delta x)F + (H_z + H_p) = (zF + z\Delta F) + S + 3x + (\Delta H - \Delta h\delta)F + \delta,$$

где Q – поверхностный приток в море по данным устьевых створов; ΔQ – потери стока от створа до моря; q_g и q_a – грунтовый и артезианский сток в море; $x + \Delta x$ – осадки на зеркало моря с поправкой на недоучет осадков приборами; $H_z + H_p$ – объем речных и эоловых наносов, поступающих в котловину моря; zF – испарение с поверхности моря; $z\Delta F$ – испарение с заливаемых и обнажаемых площадей моря при сгонах и нагонах; S – сток в залив; $3x$ – разбор воды из моря на промышленные

нужды; ΔH – наблюдаемый уровень моря; $\Delta h\delta$ – плотностные изменения уровня моря в зависимости от температуры и солености его воды.

Эта формула отличается тремя особенностями.

Во-первых, подземная часть водного баланса Каспия представлена здесь в виде безнапорной (грунтовой) и напорной (артезианской) составляющих разгрузки подземных вод. Это была дань достижениям в познании гидрогеологии артезианских бассейнов в обрамлении Каспийского моря. Одним из них явились результаты расчетов подземного стока со стороны суши [Зекцер, 1977; Карты..., 1965; Месхетели-Чогошвили, 1975; Потайчук, 1970]. Но эти расчеты учитывали лишь незначительную часть подземного стока в Каспий в объеме 3-5 км³/год, разгружаемого из приповерхностных водоносных горизонтов соседних территорий в основном из отложений неоген-четвертичного возраста. Лишь на отдельных участках, например, в районе Горного Мангышлака, учитывался подземный сток из более древних отложений меловой системы. Т.е. эти расчеты не касались особенностей взаимодействия вод Каспия с подземными водами более глубоких разновозрастных структурных этажей трех групп артезианских осадочных нефтегазоносных бассейнов: Северо-, Средне- и Южно-Каспийской. При этом не учитывались и особенности взаимодействия вод Каспия с пустотным пространством горных пород соседних территорий. Т.е. не допускалась мысль о подземных берегах этого моря. В итоге в официальных прогнозах колебаний уровня Каспия эти заведомо неточные оценки подземного стока стала фигурировать как истина последней инстанции в виде постоянной величины, равной 3 км³/год, без каких-либо её возможных вариаций, свойственных природным процессам [Крицкий и др., 1975].

Во-вторых, в этой формуле учтен эффект антропогенной водохозяйственной деятельности в бассейне Каспия, который, однако, не учитывал особенностей техногенных возмущений режима подземных вод и геодинамической активности недр, особенности которых будут раскрыты ниже.

В-третьих, в указанной формуле детализирована роль испарения с поверхности Каспия. К 60-м годам были обобщены показатели испарителей разных конструкций, которые размещались по берегам и островам Каспия. Наблюдаемые таким образом величины испарения

оказались намного ниже тех умозрительных оценок этой величины, которые до того фигурировали в уравнениях водного баланса Каспия [Ремизова, 1964]. Образ этого моря в виде замкнутого бессточного водоема с непроницаемым дном оказался под ударом. Но сила укоренившихся с XVIII в. воззрений оказалась настолько велика, что вместо отказа от этого изжившего себя образа гидрологи, напротив, отказались от данных инструментальных наблюдений. Логика отказа была проста: Каспий замкнут и бессточен, а испарители несовершенны и регистрируют нечто ложное. Поэтому, как и прежде, для выравнивания водного баланса была использована умозрительная величина испарения с поверхности моря, что автоматически сводило практически к нулю роль подземной гидросферы в жизни Каспия. На этом фоне разложение подземного стока на безнапорную и напорную составляющие являло собой не более чем формальное украшательство уравнения водного баланса. Фактически в официальных схемах величина подземного стока в Каспий неизменно оставалась равной $3 \text{ км}^3/\text{год}$.

Таким образом, слепо принимаемый на веру догмат о Каспии, как замкнутой бессточной "кастрюле с глухим дном", возобладав по существу, сохранил свою живучесть до 1978 г., хотя и был замаскирован формальными ссылками на ничтожно малый подземный сток в это море. Такой догматизм, как будет показано ниже, вскоре обернется грубыми ошибками в расчетах водного баланса Каспия.

Современный этап (после 1978 гг.) характеризуется тем, что в уравнении водного баланса Каспия появилась величина "видимого испарения" как разность между количеством осадков и влажностью воздуха над поверхностью моря [Панин и др., 2005]. Но это не физически определяемая величина, а лишь модификация умозрительного подгоночного параметра, который формально замыкает уравнение водного баланса Каспия в рамках концепции его бессточности и заведомо предполагает пренебрежимо малую величину подземного стока. Параметр "видимое испарение" обрел хождение в период чрезвычайно резкого и длительного аномального подъема уровня Каспия, который вопреки прогнозам возник в 1978 г. и непрерывно продолжался до 1995 г. с феноменально высокой скоростью, достигавшей порой 32-40 см/год. Причину такого необычного

скачка стали усматривать в том, что в этот период "видимое испарение" с поверхности моря уменьшилось до 0,675 м/год (против 0,778 м/год в предыдущие периоды). Но это не согласуется расширением поверхности Каспия при подъеме его уровня, особенно в мелководной северной части моря, где испарение, как считают гидрологи, в 1,5-2 раза превышает величины испарения с глубоководных акваторий. Т.е. параметр "видимое испарение" играет роль палочки-выручалочки, жонглирование которой вуалирует пороки образа Каспия в виде замкнутой "кастрюли" с непроницаемым дном. Этот умозрительный параметр есть по существу невязка водного баланса Каспия, в структуре которой скрыты "поверхностные" и "подземные", как природные, так и техногенные составляющие. Заметим, что официальные прогнозы поведения уровня Каспийского моря традиционно опирались на климатологическую концепцию его бессточности и на поверку оказались ошибочными. Они стали предсказывать прогрессирующее обмеление, а не подъем уровня Каспия после 1978 г. Дело дошло до того, что даже в 1985 г., когда уровень Каспия уже седьмой год продолжал резко подниматься, в государственном отчете [Проблема..., 1985] утверждалось, что Каспий все еще мелеет и будет мелеть в будущем. Т.е. неоправданная абсолютизация климатологической схемы водного баланса Каспия обрела извращенную форму. Поэтому не случайно в эти годы впервые с позиций геологии прозвучал вопрос: бессточен ли Каспий? [Голубов, 1984].

О множестве форм связи Каспия с подземной гидросферой

Каспий являет собой формирующееся геологическое тело в виде тонкого слоя воды, который венчает разрез плиоцен-четвертичных отложений новейшей тектонической впадины Каспийского моря и занимает наиболее погруженную часть Арало-Каспийского ареала новейшего прогибания. Каспий покоится на многокилометровой толще водо-, нефте- и газонасыщенных пород трех групп осадочных артезианских нефтегазоносных бассейнов: Северо-, Средне- и Южно-Каспийского. Объем, динамика и химизм вод Каспия неустойчивы и помимо внешних факторов регулируются также эндогенными геологическими (природными и техногенными) процессами: импульсами

сейсмичности, разгрузки подземных вод, нефтей и газов, фильтрации вод моря в пустотное пространство недр соседних территорий и т.д. Поэтому трансгрессивно-регрессивные серии плиоцен-четвертичных отложений впадины Каспия несут следы не только ритмов климата, но и множества форм такой связи с подземной гидросферой.

Объем свободных подземных вод, сосредоточенных сейчас в пористом пространстве осадочных толщ непосредственно под дном моря и на более обширных пространствах его новейшей тектонической впадины равен соответственно 10-20 и 40-50 объемам вод открытой части современного Каспия [Голубов и др., 1998]. Т.е. подземная гидросфера обладает мощным потенциалом для подпитки Каспийского моря, механизм срабатывания которого определяется режимом флюидодинамических систем: а) открытого гравитационно-конвекционного типа; б) полуоткрытого элизионного типа; в) закрытого компрессионного типа; г) гидротермально-конвекционного типа.

Особенности этих систем охарактеризованы ниже, в следующих разделах монографии.

Литература к разделу

1. Багров Л.С. Материалы к историческому обзору карт Каспийского моря. Записки по гидрографии, 1912, вып. XXXV, СПб.
2. Бартольд В.В. К истории орошения Туркестана. СПб, 1914, 174 с.
3. Бартольд В.В. Сведения об Аральском море и низовьях Амударьи с древнейших времен до XVII века. – Изв. Туркест. отд. Геогр. о-ва. Научные результаты Аральской экспедиции, вып. II. Ташкент, 1902.
4. Варениус Б.. География генеральная. Небесный и земноводный круги купно с их свойства и действа в трех книгах описующа преведена слатинска языка наросииискии инапечатана в москве повелением царскаго пресветлаго величества лета Господня 1718 в иуне. - Москва: 1718. 647 с.
5. Голубов Б.Н., Новиков В.Л. Шлезингер А.Е. Процессы, определяющие Доклады Академии наук, 1998, том 358, № 4, с.

- 538 – 542 формирование водных масс Каспийского моря и колебания его уровня.
6. Гроховский Л.М. Краткие итоги работы Арало-Каспийской сульфатной экспедиции за 1953 – 1957 гг. <http://groh.ru/gro/grokh-1959a.pdf>
 7. Гроховский Л. М. Озерные месторождения солей, их изучение и промышленная оценка. М., «Недра», 1972, 168с.
 8. Дзенс-Литовский. Кара-Богаз-Гол. Л: Недра. 1967, 96 с.
 9. Зекцер И.С. Закономерности формирования подземного стока и научно-методические вопросы его изучения. М.: Наука, 1977, 172 с.
 10. Карты подземного стока СССР (зона интенсивного водообмена) м-б 1:5000000 / Под ред. Куделина Б. И. ГУГК М-ва геологии СССР, 1964.
 11. Крицкий С.Н., Коренистов Д.В., Раткович Д.Я. Колебания уровня Каспийского моря. М.: Наука, 1975, 160 с.
 12. Месхетели-Чогошвили А.В. Подземный сток в Каспийское море. Кандидатская диссертация. ИВП АН СССР. М.: 1975, 173 с.
 13. Очерки по истории развития геологии в Азербайджане. Ред. Ш.Ф. Мехтиев, А. Али-заде. Баку: изд-во "ЭЛМ", 1982, 150 с.
 14. Паллас П. С. Путешествие по разным провинциям Российского Государства: В 3 ч.: в 5 кн.; атлас — СПб.: Императорская Академия Наук, 1773-1788.
 15. Панин Г.Н., Мамедов Р.М., Митрофанов И.В. Современное состояние Каспийского моря. М.: Наука, 2005.- 356 с.
 16. Потайчук М.С. О подземном стоке воды в Каспийское море.- Тр. ГОИН, 1970, вып. 98, с. 165-173.
 17. Проблема территориального перераспределения водных ресурсов. Под редакцией Г.В. Воропаева, Д.Я. Ратковича. АН СССР. Институт водных проблем. М. 1985, 504 с.

18. Ремизова С.С. Водный баланс Каспийского моря. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. М.: 1964.
19. Соймонов Ф.И. Описание Каспийского моря и чиненных на оном Российских завоеваний, яко часть истории Петра Великого. Ежемесячные сочинения и известия о учёных делах, 1763.
20. Татищев В. Н. Лексикон российской исторической, географической, политической и гражданской. Сочинённый господином тайным советником и астраханским губернатором Васильем Никитичем Татищевым. — СПб.: Тип. горн. училища, 1793. — Ч. 1-3.
21. Труды Арало-Каспийской экспедиции с 1720 по 1874 г. Обзор экспедиций и естественно-исторических исследований в Арало-Каспийской области. Ред. Гримм О.А. С-Пб. 1875. Тип. "Общественная польза". - 53 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МЕТОДОВ СПУТНИКОВОГО И ПОДСПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ПЛЕНОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПАНСИИ МОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ

Введение

Современные тенденции обеспечения экологической безопасности морской деятельности опираются обычно на представление о том, что основные источники нефтяного загрязнения морей являются внешними, к которым относятся операции на нефтяных терминалах, аварии танкеров, эксплуатационные сбросы с судов нефтесодержащих отходов, аварийные разливы нефти на буровых платформах и т.п. Поэтому принятая в нашей стране и за рубежом система контроля морской среды до сих пор исходит из того, что так называемая технология нулевого сброса якобы способна полностью обеспечить безопасность морской добычи нефти и газа. Так, в частности, Закон Российской Федерации "О недрах" (ст. 24) обязывает недропользователей строго соблюдать "План по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и

нефтепродуктов " (ПЛАРН), а также требования к предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ в морской среде (ПДК) (Постановление Правительства РФ № 613 от 21.08.2000 (в ред. от 15.04.2002, № 240)).

Но фактически, ни технология нулевого сброса, ни ПЛАРН, ни требование ПДК не обеспечивают в полной мере безопасность ряда морских промыслов нефти и газа, т.к. неоправданно исключают опасность иной природы. Это внезапные выбросы из недр морей токсичных пластовых флюидов (подземных вод, нефтей и газов) или так называемые грифоны, которые, как правило, сопровождаются геодинамическими подвижками недр: землетрясениями, просадками или вспучиванием рельефа морского дна, подводными оползнями и т.д. На фонтанные выбросы углеводородов (чаще всего газообразные) приходится 44,7% случаев аварий и катастроф на морских промыслах. Большая часть таких выбросов (57%) завершается возгоранием. При этом гибнут люди, уничтожаются буровые установки и промыслы [Голубов, 2009, 2014; Иванов, Терлеева, 2015; Лобковский и др., 2015]. По данным Ростехнадзора, в последние годы на суше России среднее число неконтролируемых выбросов составило 5,5, а взрывов и пожаров – 5,1 [Богоявленский, 2014, 2015].

В условиях нынешней экспансии нефтегазодобывающей промышленности на шельфе арктических, дальневосточных, южных и западных морей России необходимость надежного прогноза таких аварийных ситуаций более чем очевидна.

В связи с этим Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) в содружестве с ИДГ РАН, ИТЦ "СКАНЭКС", Роскосмосом, Росприроднадзором, ИПНГ РАН, ИГ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЦ "Планета" Гидромета РФ и другими организациями является головным исполнителем системы многоуровневого экологического и геодинамического мониторинга областей шельфа, вовлеченных в освоение нефтегазовых ресурсов. Арсенал современных методов и технических средств такого мониторинга, используемых ИО РАН, включает судовые, подводные, спутниковые, сейсмологические и стационарные наблюдения с помощью донных и буйковых станций.

Основанием для таких исследований явились Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г., утвержденная Президентом Российской Федерации 27 июля 2001 г. (Пр-1387), а также Протокол заседания Морской Коллегии при Правительстве Российской Федерации от 28 октября 2005 г. "О создании комплексной системы безопасности нефтегазовых комплексов на континентальном шельфе". Этот протокол предписывал, в частности, использование морских буровых платформ в качестве технологических носителей системы комплексного многоуровневого экологического и метеорологического мониторинга, а в сейсмоактивных зонах и геодинамического мониторинга. К 2005 г. необходимость прогноза опасных подвижек недр под дном морей носила избирательный характер и осознавалась еще не в полной мере. Поэтому геоэкологические "портреты" экосистем Черного, Каспийского и других морей [Лобковский и др., 2005] учитывали поначалу особенности функционирования этих экосистем лишь во внешних оболочках географической среды и полностью исключали прямую зависимость этих "портретов" от режима геофлюидодинамических процессов в недрах морей.

Вместе с тем неуклонно нарастающие масштабы загрязнения Мирового океана и его внутренних морей нефтью, поступающей с морского дна [Немировская, 2013], а также ряд аварий на морских промыслах нефти и газа [Бухарицин, 1986, 1988, 1992, 2002; Бухарицин и др., 2015; Голубов, 2009, 2014; Богоявленский, 2014, 2015; Иванов, Терлеева, 2015] убеждают в необходимости более жестких требований к отслеживанию состояния недр даже в пределах стабильных блоков земной коры. В связи с этим был утвержден Протокол совещания Совета Безопасности Российской Федерации от 09 декабря 2006 г. под председательством Президента РФ В.В. Путина "О мерах по освоению континентального шельфа Российской Федерации". В этом протоколе, разработанном по инициативе ИО РАН, особо подчеркнута необходимость прогноза воздействия на окружающую среду техногенных процессов, связанных с освоением углеводородных месторождений.

Заметим, что такой подход был намечен до того, как в Мексиканском заливе в апреле 2010 г. взорвалась нефтедобывающая платформа Deep Horizon, арендованная корпорацией British Petroleum. В море тогда ежедневно на протяжении 92 дней из аварийного ствола скважины попадало около 800 т нефти, что в целом составило от 600 до 780 тыс. т нефти и привело к загрязнению огромных пространств залива и соседних территорий [Иванов, Терлеева, 2011]. В итоге корпорация вынуждена выплачивать США, пяти штатам этой страны и работникам промысла штраф в размере 18,7 млрд долл. США на протяжении 15 лет [BP..., 2015]. Впрочем, подобные, хотя и не столь масштабные аварии возникали и прежде.

Основные элементы системы многоуровневого, т.е. спутникового, надводного, подводного, скважинного и наземного геодинамического мониторинга уже внедрены и функционируют на морских месторождениях нефти и газа в Каспийском море, которые эксплуатируются нефтяной компанией ОАО "ЛУКОЙЛ". Следуя рекомендациям Государственной экологической экспертизы Росприроднадзора, руководство компании в содружестве с ИО РАН в 2012г. впервые в нашей стране утвердило "Регламент геодинамического мониторинга" на месторождении им. Ю. Корчагина. Это сделано, даже, несмотря на то, что месторождение приурочено к относительно стабильной молодой Скифско-Туранской плите. В настоящее время компания "Лукойл" внедряет такой регламент и на других морских промыслах Каспия. Оправдана ли такая перестраховка? Не является ли она издержкой синдрома Мексиканского залива? Нужен ли подобный "Регламент" при освоении других морских месторождений нефти и газа? Ниже предпринята попытка ответить на эти вопросы.

Цель настоящей работы – повысить надежность прогноза аварийных подвижек недр и внезапных выбросов пластовых флюидов на морских месторождениях нефти и газа.

В связи с этим предварительно раскрывается состояние рассматриваемой проблемы, а затем решаются три основные задачи: а) охарактеризовать методологию такого прогноза; б) определить его способы и технологию; в) наметить пути повышения его надежности.

В этой работе использованы данные морских геолого-геофизических исследований Института океанологии РАН им. П.П.Ширшова, которые предоставили нам наши коллеги А.К. Амбросимов, С.А. Ковачев, Л.И. Лобковский, Л.Р. Мерклин, Н.В. Терлеева. Результаты оперативного радиолокационного спутникового мониторинга морских нефтепромыслов обрабатывалась совместно с сотрудниками ИТЦ "СКАНЭКС" В.В. Затыгаловой и Н.В. Евтушенко. Особенности техногенных подвижек недр на месторождениях нефти и газа обсуждались с доктором физ-мат наук Института динамики геосфер РАН С.Б. Турунтаевым. Анализ опыта геодинамического мониторинга на месторождении имени Ю.Корчагина в Каспийском море и других промыслах этого моря проведен при содействии ведущих специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» А.А. Казакова, С.В. Делия, Ю.Г. Безродного. Весомым подспорьем явился опыт государственной экологической экспертизы проектов освоения месторождений нефти и газа на шельфе Каспия, Сахалина, Балтики и арктических морей России. Работу экспертов успешно организовывали сотрудники Росприроднадзора Г.А. Козловская, И.Ф. Косякова, Т.Г. Крылова и др. Плодотворным явилось также деловое сотрудничество со специалистами Центра "Антистихия" МЧС России под руководством К.Д. Моськина. Всем перечисленным товарищам мы искренне признательны.

Состояние проблемы

Сведения о внезапных выбросах нефти и газа из недр морей известны с древних времен [Очерки..., 1982], подкреплены данными научных исследований и множеством аварий на ряде морских промыслов, сходных с упомянутой выше аварией в Мексиканском заливе. Заведомо неполный перечень таких аварий приведен в работах [Богоявленский, 2014, 2015; Голубов, 2009, 2014; Иванов, Терлеева, 2015].

Например, катастрофические выбросы газа возникли 27 августа 1981 г. при бурении скважины с бурового судна (БС) Petromar V на шельфе Индонезии в Южно-Китайском море, в результате чего судно потеряло плавучесть, и затонуло.

Буровая установка "60 лет Азербайджана", затонула в Каспийском море в результате внезапного выброса газа и образования грифона 9 сентября 1983 г.

В 1991 г. в Баренцевом море из-за аварийного выброса газовой смеси высотой 40 м было остановлено бурение скважины "Лунинская-1" с полупогружной буровой установки "Шельф-8".

В 1995 г. при бурении инженерно-геологических скважин с БС "Бавенит" в Печорском море в 60-70 км к западу от о. Вайгач под шестиметровой толщей донных осадков в мерзлых грунтах был вскрыт гидролакколит (бугор пучения или булгуннях).

21 августа 2009 г. в Тиморском море на мобильной платформе West Atlas норвежской компании Seadrill во время бурения скважины при достижении глубины 2500 м произошел аварийный выброс нефти. На протяжении двух месяцев ежедневно в море поступало от 60 до 300 м³ нефти. Неоднократные попытки укротить её разлив путем бурения перехватывающей скважины и закачки грязеводяной смеси с соседней платформы не увенчались успехом. В итоге нефтяники были эвакуированы с аварийной платформы и 1 ноября на ней начался пожар.

Как уже отмечено, такие аварии сопровождаются подвижками недр, и носят затяжной характер. В этом убеждает, в частности, опыт эксплуатации нефтегазового месторождения "Экофиск" в Северном море. Его разработка началась 15 июня 1971 г. с бурения четырёх скважин. Затем за счет добычи нефти и газа множеством скважин к 1987 г. давление в залежи заметно снизилось, что привело к её уплотнению и проседанию морского дна на величину свыше 3 м со средней скоростью от 35 до 42 см в год. Такое проседание было обнаружено в 1984 г. В 1994 г оно составило 6 м, в 1999 г. – 7,8 м, а в последние 15 лет происходил со скоростью около 15 см в год. В итоге за более чем 40 лет проседание достигло 10 м, т.е. на много порядков превысило скорость природных тектонических движений.

Характерным примером является разработка в течение более 40 лет нефтяного месторождения Уилмингтон (США), которая привела к

оседанию земной поверхности над месторождением до 8,7 м. Это создало угрозу затопления военно-морской базы Лонг-Бич. Ориентировочная стоимость защитных мероприятий составила в ценах 70-80-х гг. прошлого столетия более 6 млн. долл. США [Кайзер, Пулцифер, 2007].

Не менее значительные техногенные подвижки недр выявлены также на соседних месторождениях " Groningen", "Valhall" и известны во многих регионах мира: "Сураханы" в Азербайджане, "Тенгиз" в Казахстане и др.

Другим опасным проявлением техногенных нагрузок на недра при добыче нефти и газа является наведенная сейсмичность. Спровоцированные таким образом землетрясения с магнитудой от 3 до 7 и выше могут приводить к катастрофическим разрушениям таким, как, например, в Нефтегорске (о. Сахалин), Газли (Узбекистан), Лак (Франция) и др. [Адушкин, Турунтаев, 2008].

Несмотря на неуклонный рост числа подобных аварий, методология прогноза опасных выбросов пластовых флюидов и подвижек недр пока не выработана. Даже после детального изучения структурной геологии и литологии месторождений современными методами морской геофизики и поисково-разведочного бурения вскрытие залежей нефти и газа осуществляется в значительной мере вслепую, без точного знания особенностей геомеханики массива горных пород и режима пластовых флюидов. Как видим, реальная опасность промысла оценивается обычно задним числом, после ввода его в эксплуатацию.

Кроме того, сейчас становится все более очевидным, что опасность выбросов пластовых флюидов возрастает по мере старения промысла, и наиболее характерна для заброшенных беспризорных промыслов. Но, к сожалению, эффективные способы подавления такой опасности и "рекультивации" отживших свой век промыслов неизвестны.

По существу создавшееся ненормальное положение закрепляют "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности" (ПБ 08-624-03). Они предъявляют жесткие требования Госгортехнадзора России к проектированию строительства скважин (п. 2.2), а также к

предупреждению газонефтеводопроявлений и открытого фонтанирования скважин (п. 2.7.7), но вместе с тем не указывают четко способов реализации таких строгих требований. Пробел просматривается и в природоохранных актах нашего государства: они также не оговаривают алгоритма практических действий на заброшенных бесхозных морских промыслах.

Поэтому, следуя таким туманным и расплывчатым "правилам", промысловики вынуждены действовать пока на свой страх и риск, уповая на успех научного поиска надежных способов прогноза опасных процессов в недрах морей.

Методология прогноза

Поиск путей такого прогноза ведется на стыке методов морской геологии и геофизики, океанологии, геомеханики и нацелен на изучение особенностей флюидодинамики осадочных нефтегазоносных бассейнов, а также геологических условий, механизмов и предвестников грифонных выбросов пластовых флюидов из недр морских месторождений нефти и газа.

Особенности флюидодинамики осадочных нефтегазоносных бассейнов. В общем случае в осадочных нефтегазоносных артезианских бассейнах различают флюидодинамические системы четырех основных типов: а) открытого гравитационно-конвекционного; б) полукрытого элизионного; в) закрытого компрессионного; г) гидротермально-конвекционного [Багдасарова, 2000; Голубов, 2009; 2014; Гуревич, Крайчик, 1987].

В системах открытого гравитационно-конвекционного типа распределение давлений напрямую зависит от веса столба жидкости (при данном распределении его плотности) и от потерь напора при фильтрации. Флюиды, а это в основном подземные воды, здесь имеют связь с дневной поверхностью. Неоднородность их плотности обусловлена различиями минерализации, газонасыщенности, температуры, неровностями рельефа и т.д. На этом фоне осуществляется обычное движение подземных вод в артезианском бассейне от областей питания к очагам их разгрузки. Положение последних под дном моря нетрудно определить на основе структурных

карт водоносного или водоупорного горизонтов, получаемых обычно по данным сейсморазведки в сочетании с данными морской геотермии и гидрохимии.

Полуоткрытые системы элизионного типа приурочены к областям новейших нисходящих тектонических движений, где сформировался, и продолжает накапливаться мощный осадочный чехол. Поскольку уплотнение, а также формирование пористости пород чехла не завершилось, то из них здесь все еще отжимаются потоки подземных вод, которые движутся от осевых частей прогибов к их крыльям, и могут разгружаться на дне моря. Методы численной прикидки времени зарождения и интенсивности элизионных потоков базируются на знании особенностей катагенеза глинистых минералов, и в настоящее время хорошо разработаны литологами, особенно в трудах Холодова [2006, 2013]. Он, в частности, на примере кайнозойских толщ Предкавказья выделяет три типа элизионных преобразований, соответствующих уплотнению глин, углей и эвапоритов. Отчетливо показано также почему и как эти преобразования сопровождаются формированием зон аномально-высоких (АВПД) и аномально-низких пластовых давлений (АНПД), резкие перепады которых (в сочетании с катагенетическими преобразованиями пластических осадочных пород в условиях закрытых физико_химических систем) порождают множество форм песчаного диапиризма. Такое явление, несомненно, может проявляться и под дном соседней акватории Каспия, где покров кайнозойских отложений сходен с тем, что развит в Предкавказье.

Заметим также, что поскольку очаги потенциальной разгрузки флюидов систем элизионного типа приурочены в основном к бортам осадочных бассейнов, то координаты этих очагов без особого труда определяются по данным морской сейсморазведки.

Закрытые системы компрессионного типа содержат высоконапорные флюиды, защемленные в замкнутом пустотном пространстве массивов горных пород. Эти системы отличаются обычно АВПД флюидов, которые намного превышают гидростатическое давление (оказываемое весом столба жидкости высотой от точки измерения до поверхности жидкости). Как правило, зоны АВПД экранируются мощными флюидоупорами в виде практически непроницаемых толщ каменной соли или глин.

Примером тому являются зоны АВПД в сейсмоактивных областях развития грязевого вулканизма в Южно-Каспийской впадине, на Керченско-Таманском участке шельфа Черного моря, на восточном побережье и шельфе о. Сахалин, в Баренцевом море и т.д. Примечательны также зоны АВПД в подсолевом структурном этаже Прикаспийской впадины и впадины Мексиканского залива, которые имеют сходное геологическое строение, и расположены на окраинах двух древних платформ: Восточно-Европейской и Северо-Американской.

Вскрытие и проходка зон АВПД чрезвычайно опасны. Свидетельством тому служит авария на месторождении Тенгиз, которое расположено на восточном берегу Северного Каспия. Здесь 24 июня 1985г. с глубины около 5 км из подсолевого структурного этажа из скважины № 37 под давлением почти в тысячу атмосфер вырвался мощный горящий фонтан из нефти и природного газа, насыщенного сероводородом. Фонтан взвился на высоту более 200 м, вышвырнул из скважины на поверхность многотонную колонну буровых труб, свернув их "макаронами", снес близлежащие строения, и бушевал в течение долгих месяцев. На укрощение аварии была брошена бригада ликвидаторов, оснащенная большегрузным авиатранспортом для доставки оборудования с европейского склада "Камерон" стоимостью 2 млн. долларов. Аварию удалось ликвидировать лишь через четыреста дней, что сорвало тогда планы повышения добычи нефти в Казахстане от 18,7 млн. т в 1981г. до 25 млн. т в 1985г. и усугубило спад добычи нефти в СССР, наметившийся с 70-х гг.

По тому же сценарию развивался в Мексиканском заливе в апреле 2010г. упомянутый выше аварийный выброс нефти на морской платформе Deep Horizon.

В обозримой перспективе подобный выброс высоконапорных пластовых флюидов из подсолевого структурного этажа южного борта Прикаспийской впадины может возникнуть и в Северном Каспии на месторождении Кашаган. Неоднократные аварийные выбросы пластовых флюидов возникали здесь на буровой установке "Сункар" во время испытаний скважин Восточный и Западный Кашаган в период с марта 2000г. по апрель 2001г.

Показательно также катастрофическое обрушение самоходной плавучей буровой установки (СПБУ) "60 лет Азербайджана", которое

произошло 9 сентября 1983г. вблизи восточного берега Среднего Каспия. Бурением было намечено вскрытие в недрах молодой Туранской плиты доюрских пород пермо-триасового комплекса и палеозойского кристаллического фундамента. Точка бурения располагалась в 23 км от мыса Ракушечный, где глубина моря равна 43 м. Расчетная глубина бурения составляла 4500 м. Но на глубине 445 м, при проходке глин олигоцена, промывочная жидкость была перебита прорывом газонасыщенных пластовых флюидов. При утяжеленном глинистом растворе удалось пробурить еще 60 м, произвести спуск обсадной колонны диаметром 508 мм и поставить скважину на затверждение цемента, на что требуется обычно от 24 до 30 час. Но уже через шесть часов вновь началось движение глинистого раствора из межколонного пространства. Вскоре из скважины на 50 метровую высоту взвился фонтан газа и начался интенсивный размыв грунта под одной из опор буровой, вышка накренилась, размыло грунт под второй опорой, и вышка рухнула. Авария произошла ночью в штормовую погоду. Погибло два человека. Подоспевшие суда всю ночь вылавливали из воды людей. Спасатели подождли газ, чтобы он не отравлял атмосферу. Через 5 дней факел погас, и выброс иссяк. Но 05.08.1991г. аварийная скважина вновь зафонтанировала. Несколько лет тому назад водолазы КаспНИРХ обнаружили, что грифон подземных флюидов здесь все еще действует. Металлические конструкции вышки не подверглись обрастанию морскими организмами, что объясняется непрерывной активностью грифона, выбрасывающего из недр в море токсичные газы и подземные воды.

Отметим, наконец, подтопление водами Каспийского моря обширной прибрежной полосы суши перед защитной дамбой на северном берегу п-ова Бузачи в районе нефтяного месторождения Каламкас. Эта дамба стала подпирать поток подземных вод, разгружающегося с суши в сторону Каспия, обеспечила заболачивание побережья и вскоре оказалась по существу не на берегу, а посреди воды. Характерно, что еще в 1972г. геолог Бугарь описал на этом полуострове 6-километровую полосу газоводяных грифонов, которая "ныряет" под дно Каспия.

Множество подобных аварий убеждает в необходимости заблаговременной оценки состояния флюидодинамических систем

закрытого компрессионного типа до начала бурения скважин. Для решения такой задачи в её первом приближении, по нашему мнению, есть три возможности.

Первая из них сводится к определению области, где существуют обязательные условия для формирования АВПД: 1) наличие пласта–коллектора (резервуара), полностью изолированного региональным флюидоупором; 2) признаки деформации этого резервуара (т.е. увеличения массы и объема флюидов в нем и/или уменьшения объема самого резервуара с зацементированной в нем постоянной массы флюидов). Нетрудно определить также места, где региональная покрывка нарушена новейшими разломами и поэтому возможны переформирование зон АВПД, межпластовые перетоки флюидов и их возможные выбросы на поверхность моря.

Вторую возможность дают результаты спутникового мониторинга появления пятен нефти на поверхности моря, о чем сказано будет ниже.

Третью возможность предоставляет концептуальная модель геомеханической эволюции и устойчивости нефтегазовой системы [Мельников, Калашник, 2008], в которой основным управляющим параметром принята энергия W [Летников, 2004]. Практическое применение этой модели сводится к определению ожидаемых условий, когда управляющий параметр W достигнет предельных значений, при которых нефтегазовая система по мере её эксплуатации перейдет в неустойчивую стадию нелинейного развития, т.е. когда возникнет бифуркация массива горных пород, и месторождение с его флюидами пойдет "вразнос".

Системы гидротермально-конвекционного типа. Особенности циркуляции в недрах Земли горячих водных и металлоносных, т.е. гидротермальных растворов до недавнего времени не рассматривались в курсах основ геологии горючих ископаемых [Семенович и др., 1987]. Такое явление неоправданно связывалось исключительно с районами новейшего и современного вулканизма, нефтегазоносность которых представлялась сомнительной.

По умолчанию к источникам гидротерм относили только ювенильные воды остывающих магматических расплавов, а также метаморфические воды, высвобождаемые в глубоких зонах земной

коры в результате перекристаллизации водосодержащих минералов. Т.е. возможность гидротермальных процессов внутри осадочных нефтегазоносных бассейнов исключалась. Поэтому методика поиска и разработки месторождений нефти и газа оставалась в стороне от проблем геологии рудных месторождений полезных ископаемых в виде обширного ряда сульфидов, окислов, карбонатов, редких металлов. Нефтяники не касались также вопросов практического использования в ряде стран геотермальных вод для создания подземных тепловых котлов с целью выработки электроэнергии, теплофикации населенных пунктов, развития парникового хозяйства и т.д. [Щербань и др., 1974].

Но сейчас уже не вызывает сомнения, что крупные осадочные артезианские бассейны древних и молодых платформ, включая краевые прогибы и межгорные впадины горно-складчатых областей, также обладают огромными запасами термальных вод и металлоносных растворов. Подтверждением тому явилось открытие в 1970-1980гг. Дагестанской провинции редкометальных геотермальных рассолов, которая насчитывает 56 месторождений промышленных вод с повышенным содержанием редких элементов: Li, Rb, Cs, J, Br, B, K, Mg, Sr и ряда минеральных солей.

Это и ряд других подобных открытий привели к тому, что мысль о взаимосвязи гидротермальных систем с нефтегазносностью недр стала всё более овладевать умами геологов [Амбросимов, Голубов, 2013; Багдасарова, 2000; Богашова, 1991; Готтих, Писоцкий, 2014; Дзюба, 1984; Дмитриевский, 2007; Холодов, 2006; 2013]. В связи с этим в 1994г. Госстандарт России утвердил нормативные документы Р 50-60 5-8 6-94 [Нетрадиционная..., 1994], которые определяют методы оценки ресурсов гидротермальных и парогидротермальных систем разнородных тектонических элементов территории России. Отсюда очевидны и более жесткие требования к разработке месторождений нефти и газа в связи с необходимостью попутной добычи и утилизации термальных металлоносных подземных вод, как того требует статья 23 Закона Российской Федерации "О недрах".

Все это, однако, не вполне учитывало специфику гидротермальных систем под дном морей и океанов.

Пытаясь устранить этот пробел, предварительно отметим, что одной из форм существования и движения гидротермальных растворов является их разгрузка на поверхности Земли или на дне морей и океанов в виде восходящих потоков, которые образуют сосредоточенные (локализованные) или скрытые очаги своей разгрузки. В таких очагах на дне моря и в донных осадках формируются ореолы цветных и редких металлов, железа, серы, мышьяка, исландского шпата и т.д., т.е. гидротермальных руд. Особенности такой разгрузки определяют термодинамические параметры гидротерм, особенности истории геологического развития, строения и геодинамической активности массива горных пород, их проницаемости, теплопроводности, теплового поля и т.д.

В зависимости от коллекторских свойств вмещающих горных пород различают два типа гидротермальных систем: трещинно-жильные и пластовые [Нетрадиционная..., 1994].

Трещинно-жильные системы приурочены, как правило, к интрузивным, метаморфическим и вулканогенно-осадочным горным породам разновозрастных складчатых комплексов, слагающих обычно фундамент осадочных нефтегазоносных бассейнов и, кроме того, в карбонатных постройках и прочных сцементированных песчаниках, слагающих чехол таких бассейнов. Особенности таких систем обусловлены совокупностью тектонических трещин нескольких генераций и разных направлений. Эти системы имеют обычно множество очагов разгрузки, приуроченных в основном к узлам пересечения тектонических нарушений с эрозионными врезами. Поэтому области питания и транзита таких очагов выявляются с трудом. В общем случае для гидротермальных систем этого типа свойственно преобладание вертикальной фильтрации над латеральной и конвективного теплопереноса над кондуктивным.

Пластовые гидротермальные системы связаны с водоносными комплексами осадочного чехла артезианских бассейнов древних и молодых платформ, а также межгорных и предгорных впадин горноскладчатых областей. Для систем этого типа в целом характерно преобладание латеральной фильтрации над вертикальной и конвективного теплопереноса над кондуктивным.

В зависимости от особенностей формирования и генезиса гидротермальные системы осадочных нефтегазоносных бассейнов разделяются на четыре типа: седиментогенные, инфильтрационные, эндогенные и техногенные.

Седиментогенные гидротермальные системы расположены внутри осадочного нефтегазоносного бассейна и в первом приближении их особенности определяются потоком тепла из недр Земли и геотермическим градиентом.

Тепловой поток из недр Земли ориентировочно составляет $50 \text{ кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$, что эквивалентно энергии, заключенной примерно в 30 млрд т условного топлива [Щербань и др., 1974]. Этот поток, как показано в работах Любимовой, формируется под действием источников тепла в горных породах на глубинах до 100 км и практически не изменяется в течение сотен лет. Проходя через земную поверхность, он колеблется в широких пределах ($0,7-2$) $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$.

Геотермический градиент изменяется от 0,008 до 0,1 град/м. Среднее его значение в осадочных породах составляет 0,032 град/м и местами достигает 0,045-0,055 град/м. При градиенте 0,032 град/м температура пород на глубине 3-5 км составляет 110-170°C, а количество тепла, накопленного в 1 км^3 горных пород на этой глубине, – $65\cdot 10^{12}$ ккал [Щербань и др., 1974]. Для передачи такого количества тепла воде необходимо израсходовать примерно 13 млн. т усл. топлива. Таким образом, в осадочных бассейнах на достижимой для бурения глубине 3-5 км могут возникать благоприятные условия для гидротермальной деятельности и существуют огромные запасы тепла, пригодные для практического освоения.

Например, тепловой поток из недр Каспия изменяется от 27 до 209 мВт/м². Наиболее высокие его значения (более 140-150 мВт/м²) зафиксированы во впадине Южного Каспия, а также Терско-Каспийском краевом прогибе [Глумов и др., 2004]. Количественная обработка данных морской геотермии путем использования стационарного уравнения теплопроводности показала, что температура недр под дном этого моря на глубинах 1 и 2 км изменяется от 20-30 до 120°C. На глубинах 3 и 4 км она достигает местами 180°C, а на глубинах 5-20 км нарастает до 1000-1100°C, т.е. вскипание подземных вод, провоцирующее

гидротермальную деятельность, может возникнуть в недрах Каспия на относительно малых глубинах.

Подтверждением тому служит соседнее Тарумовское месторождение пластового типа, которое расположено в Равнинном Дагестане в пределах молодой Скифской плиты. Геотермальные ресурсы здесь приурочены к двум водоносным комплексам терригенных пород: караган-чокракскому и плиоценовому [Нетрадиционная..., 1994].

Караган-чокракский водоносный комплекс залегает на глубинах 2166-2358 м. Его напорные самоизливающиеся из скважин воды имеют температуру 85-93°C и минерализацию от 3,5 до 26,5 г/дм³. Избыточный напор на устье скважин достигает 1,9 МПа, их дебиты при опробовании составляли 27-63 л/с.

Плиоценовый водоносный комплекс залегает на глубинах 1380-1495 м. Его воды имеют температуру 62-63°C и минерализацию 6,5-0 г/дм³. Воды комплекса самоизливающие – избыточный напор на устье скважин составляет 1,1-1,6 МПа, дебиты при опробовании – 23,5-31,5 л/с.

Заметим также, что на Тарумовском месторождении были отмечены аварийные выбросы пластовых флюидов при вскрытии мезозойских отложений с глубины 5300 м.

Инфильтрационные гидротермальные системы. Такие системы представляют собой подземные котлы или породные теплообменники, которые возникают в результате нисходящего проникновения морских и поверхностных метеорных вод в недра в гидрофизическую зону повышенных температур, достигая местами очагов магматизма. Такие подземные котлы могут возникать на участках пористых или трещиноватых, а также закарстованных горных пород, в приразломных зонах земной коры, в замках складок и т.д.

Эндогенные гидротермальные системы. В осадочных нефтегазоносных бассейнах формирование таких систем может быть обусловлено поступлением из глубоких горизонтов земной коры и, возможно, из мантии восходящих потоков тепловой энергии, а заодно и легких продуктов дифференциации магм разного состава в виде эндогенных летучих веществ и металлонесных растворов. Поскольку особенности такого явления определяются, прежде всего,

составом магм, то целесообразно различать "сквозьструктурные" эндогенные гидротермальные системы земной коры океанического и континентального типа.

На дне океанов высокотемпературные и высоконапорные гидротермальные источники приурочены, как правило, к рифтовым зонам срединно-океанических хребтов. Из жерл этих источников выделяются струи и облака так называемых черных и/или белых курильщиков. В первом случае это струи очень горячей воды, насыщенной водородом, углекислым газом, тонкодисперсными сульфидами, сульфатами и окислами металлов, а во втором они обладают меньшими температурами и содержат отложения сульфидов и других соединений. Особо важно, что в составе продуктов черных и белых курильщиков были открыты хемолитоавтотрофные бактерии из группы древнейших сернистых и метановых архебактерий, которые в принципе способны синтезировать углеводороды нефтяного ряда из органического вещества донных осадков в восстановительной обстановке. Немаловажно и то, что склоны отдельных действующих подводных вулканов в Тихом океане выстилает материал, напоминающий асфальт или битум.

В том, что гидротермальная деятельность существенно влияет на химизм морских вод свидетельствуют более 5000 вулканов, действующих под водами Мирового океана в пределах Тихоокеанского, Средиземноморско-Индонезийского и Атлантического вулканических поясов.

Следует признать, что непосредственная связь эндогенной активности недр глубоководной части океана с флюидными системами нефтегазоносных бассейнов пока не очевидна: пятна всплывшей здесь нефти достоверно не зафиксированы, и значительные глубины вод пока неблагоприятны для поисково-разведочного бурения.

В осадочных нефтегазоносных бассейнов, развитых на земной коре континентального типа, формирование "сквозьструктурных" эндогенных гидротермальных систем обусловлено преимущественно магматизмом кислого гранитоидного состава. Внедрение гранитоидов сопровождается восходящими потоками тепловой энергии, а также легких продуктов

глубинной дифференциации магмы кислого состава и вмещающих её пород. Это порождает в итоге полиметаллическую золото-ртутную, кобаль-барит-целестиновую минерализацию, которая не характерна для базальтовых магм земной коры океанического типа.

Вместе с тем при анализе геологических предпосылок формирования эндогенных гидротермальных систем этого типа следует учитывать, что земная кора осадочных нефтегазоносных бассейнов, имеющая ныне континентальный облик, в геологическом прошлом могла подвергаться океанизации.

Так в нефтегазоносных осадочных бассейнах древних платформ, например Сибирской, широко развиты проявления траппового магматизма, для которого был характерен огромный объем излияния на рубеже палеозоя и мезозоя толеитовых базальтов, подобных тем, что формируются сейчас на земной коре океанического типа. Как показано в работе [Дзюба, 1984], этот магматизм обусловил поступление в осадочный чехол Сибирской платформы из нижних частей земной коры и, вероятно, из мантии восходящих потоков металлоносных рассолов и эндогенных летучих веществ. Таким образом, осадочный чехол этой платформы оказался насыщенным рассолами разного происхождения: седиментогенными, инфильтрогенными и эндогенными. Последние в свою очередь имеют здесь смешанный характер: одни из них имеют "океанический" облик, а другие – "континентальный".

Вероятно, такой смешанный характер имеет гидротермальная система на полуострове Челекен, расположенного на восточном борту Южно-Каспийского осадочного нефтегазоносного бассейна.

С одной стороны, судя по геофизическим данным, здесь развита земная кора океанического типа. Эти данные не оставляют сомнения и в том, что гидротермальную деятельность здесь контролирует глубинный разлом. Он уходит своими корнями в мантию и протягивается под дном Каспия вдоль Челекен-Апшеронского порога, западного борта Дербентской котловины и далее на широте Махачкалы подворачивает в сторону нефтегазоносных зон новейшего вулканизма Грозненского и Минераловодского районов Предкавказья. Для добываемой здесь челекенской (а также бакинской) нефти характерна явная

парагенетическая связь с сульфидной телетермальной минерализацией, которая, вероятно, имеет глубинные корни.

С другой стороны, эта нефть не является промышленно металлоносной и не содержит высоких концентраций ванадия, а также никеля и других металлов (свойственных базальтовой магме океанического типа). Кроме того, эта нефть генетически тесно связана с разнообразными пластовыми водами, обогащенными свинцом, цинком, медью, серебром, принимающими активное участие в современном гидротермальном рудообразовании и формировании металлоносных рассолов Челекена [Лебедев, Никитина, 1983; Мирзоев и др., 1993].

Напрашивается вывод о полигенетической эндогенно-седиментогенной природе гидротермальной системы на полуострове Челекен.

В связи с этим особого внимания заслуживает оценка потенциальной опасности бурения в Каспийском море в окрестности локальной нефтегазоносной структуры Хазри на лицензионном участке компании ЛУКОЙЛ, который расположен вблизи Приморского Дагестана в приосевой части Терско-Каспийского краевого прогиба, на продолжении указанного выше глубинного разлома, который протягивается сюда со стороны Челекен-Апшеронского порога. Еще в советские годы гидромагнитная съемка выявила здесь крупный линейный Грозненско-Сулакский магнитный максимум, который прослежен в широтном направлении и на соседней территории в зоне указанного глубинного разлома. Путем решения обратной задачи магниторазведки установлено, что этот максимум обусловлен совокупностью трех намагниченных пластовых тел, залегающих на глубинах около 10 км, 4-5 км и 2-3 км. Судя по данным морской сейсмо- и электроразведки, а также сведениям о геологии соседней территории, нижнее тело соответствует поверхности кристаллического фундамента. Пластовое тело среднего уровня приурочено к эффузивам кайнотипного облика в нижних горизонтах осадочного чехла. Верхнее тело рассматривается как покров эффузивов неогенового возраста, аналогичных одновозрастным эффузивам Грозненского вулканического нефтегазоносного района. Такое истолкование данных морской

геофизики подкреплено недавно тем, что в пределах южного склона Терско-Каспийского краевого прогиба, во фронтальной части Дагестанского клина, установлена провинция позднекайнозойского вулканизма [Исаков и др., 2013]. Здесь откартированы горизонты рыхлых продуктов вулканических извержений в виде пеплов или тефры, которые соответствуют андезит-дацит-риолитовым лавам и образованы газо-паро-пепловыми флюидами, характерными для очагов фумарольной и гидротермальной деятельности.

Таким образом, существует вероятность того, что в окрестностях перспективной нефтегазонасной структуры Хазри бурением может быть вскрыт молодой активный криптовулкан с его гидротермами, аналогичными тем, что используются в практических целях на соседней территории Дагестана в поселках Альбурикент, Каякент и др.

Следует признать, что методика опознания в нефтегазонасных осадочных бассейнах систем гидротермально-конвекционного типа с признаками магматического вулканизма пока несовершенна. Дело в том, что в процессе восходящей фильтрации подземных вод нефтегазонасных бассейнов происходит энергичное выщелачивание рудных компонентов из осадочных (особенно глинистых) толщ. Причем повышенные рудные концентрации зачастую пространственно совпадают с участками скоплений битумов. В частности, в карбонатных толщах доломитов в тесной ассоциации с битумами (керитами, антраколитами) локализуются крупные стратиформные свинцово-цинковые месторождения. Во флишоидных, аспидных и молассоидных формациях образуются золотосульфидные проявления. Среди известняков, мергелей песчаников и алевролитов возникают залежи киновари, меди, железа, марганца и т.д. Грифоны металлонесных растворов, циркулирующих внутри осадочного нефтегазонасного бассейна, трудно отличить от гидротермальных проявлений магматизма, т.к. и те и другие могут поставлять в толщу донных осадков и морских вод значительные массы тяжелых металлов. Ореолы их разгрузки уверенно выявляются методами минералогии и геохимии [Гурский, 2003]. Но корни, а, следовательно, и природа очагов такой разгрузки не всегда поддаются расшифровке без детального "просвечивания" глубинного строения недр геофизическими методами.

Весомым подспорьем в решении этой задачи являются методы высокоточной сейсморазведки, с помощью которой выявлено, в частности, множество упомянутых выше трубообразных вертикальных тел диаметром около 100 м со следами инъективных дислокаций, которые пронизывают осадочный чехол Кряжа Карпинского под дном Среднего и частично Северного Каспия [Голубов, Исмагилов, 2003]. В окрестности единичных таких тел обнаружены ореолы повышенных концентраций элементов-индикаторов гидротермальной деятельности [Амбросимов, Голубов, 2013].

Техногенные геотермальные системы возникают при бурении кустов скважин, особенно при торпедировании их стволов, захоронении радиоактивных отходов, обустройстве подземных теплообменников, самовозгорании угольных пластов и т.д. На суше подобные системы созданы на месторождениях углеводородов, освоение которых проводилось во второй половине минувшего века с помощью подземных ядерных взрывов. Такие технологии использовались для повышения нефтеотдачи пластов (например, на Осинском и Гежском месторождениях в Пермской области, Средне-Ботуобинском месторождении в Якутии [Голубов, 2002, 2008]). Ядерными взрывами созданы подземные хранилища газоконденсата в солевом структурном этаже Прикаспийской впадины на Астраханском, Оренбургском, Совхозном и Карачаганакском месторождениях [Геворкян, Голубов, 1998; Голубов 2002, 2005, 2008]). Ядерно-взрывные технологии использовались также для глубинного сейсмического зондирования земной коры на территории бывшего СССР, для создания энергетического котла в пласте каменной соли в штате Нью-Мексико в США [Голубов, 2013].

Перспективы применения ядерно-взрывных технологий для освоения месторождений нефти и газа пока призрачны, но не исключены полностью. Дело в том, что Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (статья VIII) допускает возобновление мирных подземных ядерных взрывов для промышленных целей по запросу одной из стран-участниц Договора [Голубов, 2005]. В принципе, в обозримой перспективе подземные ядерные взрывы могут прогреметь на новых месторождениях нефти и газа, в том числе и на морских.

Но и без того очевидно, что экспансия нефтегазодобывающей промышленности провоцирует расширение масштабов активизации техногенных геотермальных систем под дном морей и океанов.

Общие сведения о грифонах. Грифон – это сосредоточенный выход подземных флюидов на поверхность моря или суши в виде восходящей струи подземных вод, нефтей и/или газов из массива горных пород. Импульсы активности грифонов могут повлечь крушение буровой установки, потерю устья скважины, аварийный выброс токсичных пластовых флюидов в море и атмосферу и т.д., т.е. создают реальную угрозу чрезвычайных ситуаций и катастроф на морских промыслах.

С позиций гидродинамики грифон представляет собой струйный аппарат для нагнетания флюидов, стенки и подводящий канал (каналы) которого могут быть порой подвижными, что в свою очередь, приводит к вибрации размеров выходного отверстия, т.е. жерла грифона, а также ширины, скорости и термодинамических параметров истечения струи. Теория и математические модели формирования таких струй детально разработаны в рамках механики сплошной среды [Ершов, 2013; Лаврентьев, Шабат, 1977].

С геологической точки зрения грифоны рассматриваются как одна из форм инъективных дислокаций земной коры, которые возникают в результате внедрения одного геологического тела в пространство, занимаемое другими геологическими телами. В нефтегазоносных осадочных бассейнах грифоны проявляют себя в виде выбросов подземных вод (гидровулканов), нефтей, газов, разжиженных глин (грязевых вулканов и глиняных диапиров), внедрения нептунических (песчаных и кластических) даек, жил веществ в растворенном состоянии и т.д. (рис. 5). В масштабах геологического времени подобно флюидам ведут себя также медленно всплывающие массы каменной соли, магматических расплавов, мелкораздробленных горных пород (например, массы меланжа в аккреционных призмах зон субдукции океанической коры в мантию) и т.п.

В этом ряду особого внимания заслуживают своеобразные трубообразные тела, пронизывающие осадочный чехол

нефтегазоносных бассейнов (рис. 6). В начале 2000-х гг. множество таких тел было выявлено методами высокоточной сейсморазведки в недрах Каспийского моря [Голубов, Исмагилов, 2003; Гулиев, Дадашев, 2002]. Летом 2014г. на п-ове Ямал, в нескольких десятках километров от Бованенского нефтегазового месторождения над подобными трубообразными телами были обнаружены два кратера, возникшими, вероятно, в результате выброса газов из недр этого района.

Активность инъективных дислокаций определяется совокупностью природных и техногенных факторов, и зачастую предстает как самовозбуждаемое явление с обратной связью. Т.е. нефтяные грифоны, грязевые вулканы, гидровулканы и т.д., а также сопровождающие их подвижки недр находятся в сложноподчиненном состоянии - развитие одного из них может привести к активизации других грифонов. В одних случаях грифон возникает по причине и после землетрясения, а в других, напротив, он возбуждает землетрясение.

Наиболее благоприятными природными факторами активизации грифонов являются крупные активные разломы, а также дефектные ловушки и флюидоупоры, неспособные удержать нефть, газ и пластовые воды от внедрения в вышележащие горизонты и, как следствие, от формирования вторичных залежей углеводородов или их выбросов на дно моря (рис. 7).

Техногенные факторы, способные спровоцировать грифоны на месторождении нефти и газа, проявляют себя по-разному в зависимости от стадии разработки месторождения, давления пластовых флюидов, состава и надежности флюидоупоров, режима репрессий на пласты, старения стволов скважин и т.д. Значимость техногенных нагрузок на недра месторождения нарастает от начальных к поздним стадиям его разработки, особенности которых рассмотрены ниже.

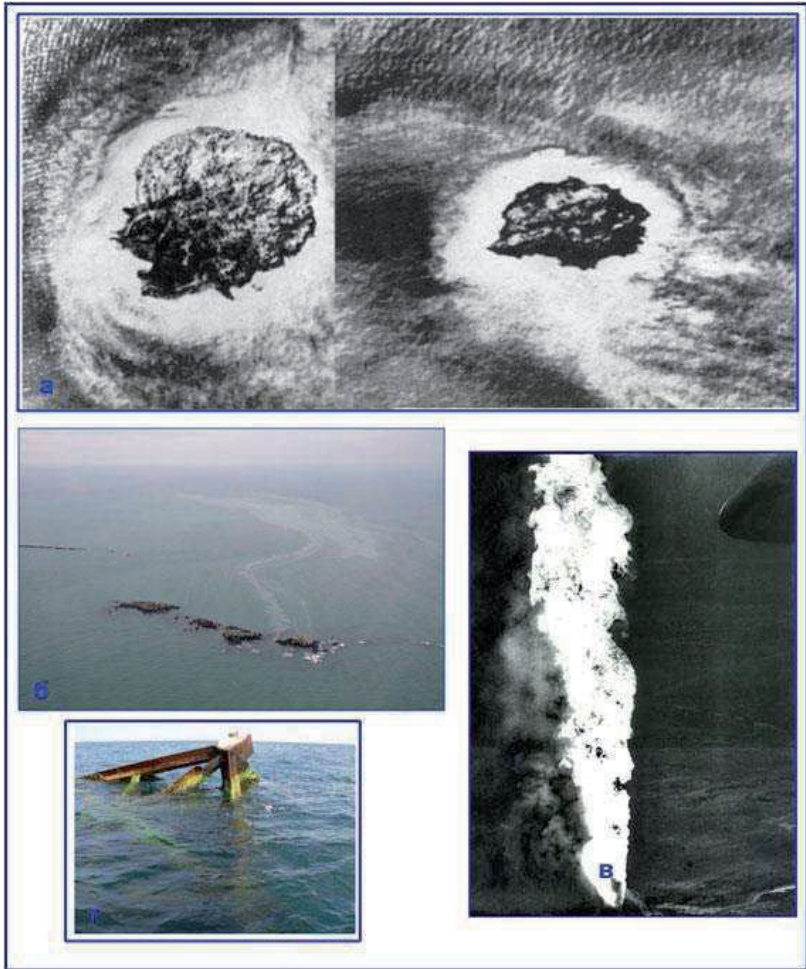


Рис. 5. Примеры выброса пластовых флюидов на месторождениях нефти и газа Каспийского моря: а – извержение грязевого вулкана Бузовны из недр Каспийского моря 13 и 14 сентября 1953 г. [И. Гулиев. Геологический ни-т НАН Азербайджана]; б – выброс нефти из недр месторождения Нефтяные Камни; в – авария на скважине 37 на месторождении углеводородов Тенгиз 24 июня 1985 г., на ликвидацию которой потребовалось 400 дней; г – металлическая конструкция вышки СПБУ "60 лет Азербайджана", которая обрушилась 9.09.1983 вблизи восточного берега Среднего Каспия, в 25 км от мыса Ракушечный в результате аварийного выброса газонасыщенных пластовых флюидов при проходке глиен олигоцена на глубине 508 м (фото П.И. Бухарицина, февраль 1987 г.).

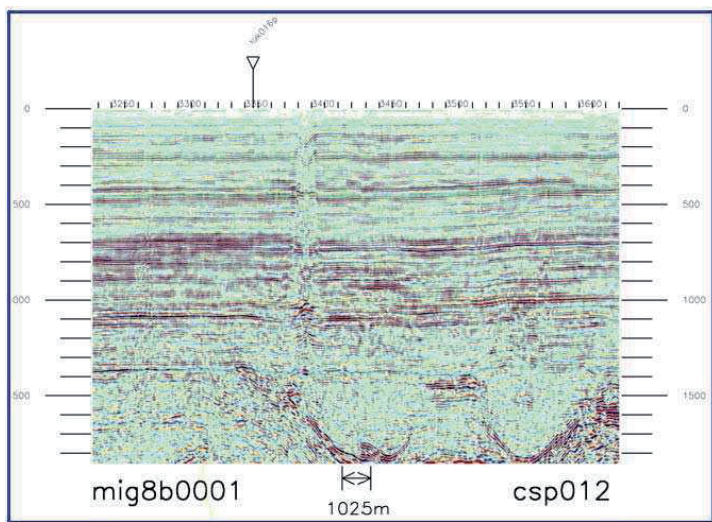


Рис. 6. Трубообразные тела нефтегазоносных осадочных бассейнов: а – сейсмический разрез трубообразного тела со следами инъективных дислокаций под дном Среднего Каспия (данные ГП "Шельф" [Голубов, Исмагилов, 2003]); б – воронка взрыва В-1 на полуострове Ямал в теле молодой Западно-Сибирской плиты (фото В.И. Богоявленского, 25.08.2014).

Стадия поиска и разведки месторождений нефти и газа. На этой стадии, пока месторождения не вскрыты бурением, активность грифонов определяется природными факторами и перспективы прогноза этого явления, как уже отмечено, обычно расцениваются как призрачные, но по нашему мнению, не безнадёжные. Опорой для предварительной оценки такой возможной опасности могут служить

результаты регионального этапа изучения методами морской геологии и геофизики: а) особенностей геологического строения и истории формирования осадочных нефтегазоносных бассейнов, б) флюидодинамических параметров этих бассейнов по сейсмическим данным [Писецкий, 2005]. Эти данные позволяют наметить картину распределения флюидодинамических систем разных типов, выявить функциональную связь проницаемости коллекторов и векторов течения пластовых флюидов с напряженным состоянием массива горных пород и, таким образом определить положение зон и очагов потенциальной активности грифонов в этих бассейнах. Достоверность такой картины могут подкреплять результаты регистрации пятен нефти на поверхности моря спутниковыми методами, а также результаты моделирования геомеханической эволюции и устойчивости нефтегазовых систем.

Наконец, для выбора мест заложения разведочных скважин на перспективных нефтегазоносных структурах целесообразно использовать, в частности, сейсмоэлектромагнитный метод и дифференциально-нормированный метод электроразведки, которые, как показал опыт их применения на Каспийском и других морях, позволяют картировать флюидо-нефтенасыщенные слои, отделить их от "сухих" горизонтов, выявить надежность флюидоупоров и т.д. [Богданов и др., 2004; Добрынин, 2015].

Результаты предварительного прогноза потенциальной опасности грифонов рекомендуется оформлять в виде серии специальных карт, отражающих режим гео-флюидодинамических систем разного типа, развитых в осадочных нефтегазоносных бассейнах той или иной акватории. Макеты подобных карт для разновозрастных осадочных нефтегазоносных бассейнов новейшей тектонической впадины Каспийского моря приведены на рис. 8. Эти построения, несомненно, требуют уточнения и, кроме того, могут быть дополнены картой распределения пятен нефти на поверхности моря, полученной в результате обобщения множества сеансов спутниковых наблюдений, картой распределения землетрясений в этом регионе, а также результатами моделирования геомеханической эволюции и устойчивости нефтегазовых систем месторождения.

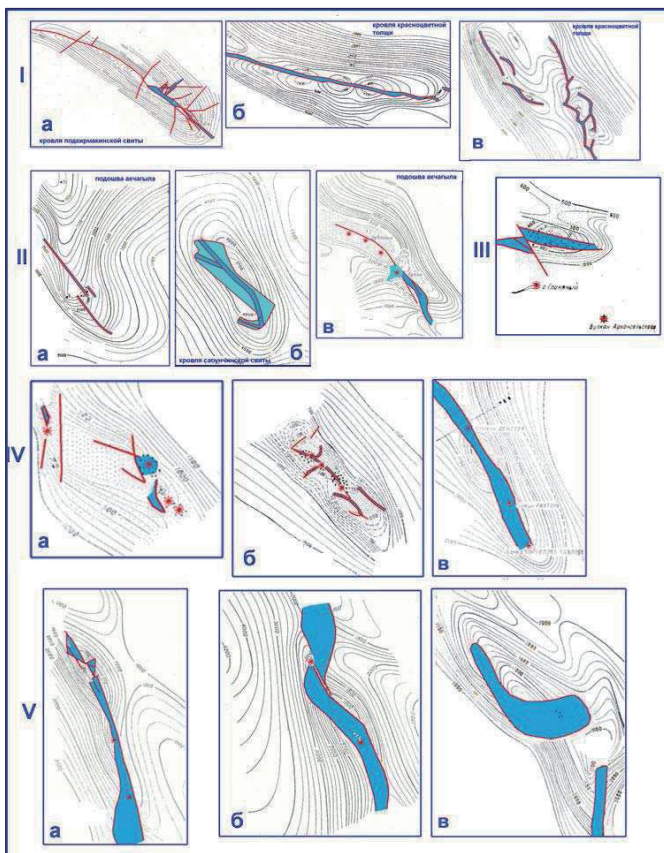


Рис. 7. Очаги перетока и разгрузки пластовых флюидов на структурных картах продуктивной толщи Южно-Каспийской нефтегазоносной провинции [Дзабаев А.А. Основы поисков и изучения нефтегазоносных структур аэромагнитным методом. Ашхабад. Изд-во "Статистика". 1969, 220 с.]: I - Апшероно-Челекенский порог (а – Нефтяные Камни; б- Банка Губкина; в- Банка Жданова). II – Антиклинальная зона о. Песчаный – Шахово-море (а – Банка Макарова; б – Шахово-море; в – Сангачалы-море – о. Дуваный – о. Булла). III – Дашгельская антиклинальная зона; Аляты - море; IV – Хамамдагская антиклинальная зона (а –Хамамдаг-море; б- Свиной-море – Камень Персиянина; в – Камень Игнатия – Банка Корнилова – Павлова); V - Бяндованская антиклинальная зона (а –Бяндован – Бяндован-море; б- Погорелая плита ; в- Банка Головачева). Красные звездочки – грязевые вулканы.

Одним из примеров такого моделирования служат численные расчеты, выполненные Н.А. Касьяновой, которые показали, что на месторождении им. Ю. Корчагина в Каспийском море в результате

отбора флюидов из волжских и неокомских отложений и падения их пластовых давлений на величину 32 бар техногенная осадка морского дна достигнет через 31 год величины 1,07 м, а скорость осадки составит 3,45 см/год. При отработке газовой шапки падение пластового давления в разных скважинах составит от 40 до 91 бар. Осадку дна к 2039-2045 гг. в окрестности скважин будет изменяться от 1,78 до 4,06 м, а скорость осадки будет варьировать от 44,6 до 57,9 см/год. Ожидается, что до 2038 г. развитие таких деформаций не будет носить аномальный характер, а к 2045г., когда будет отработана газовая шапка, ситуация здесь резко ухудшится.

Несколько иные оценки для этого месторождения получены специалистами ПермГТУ. По их мнению, максимальное снижение исходного пластового давления к 2049г. составит 8,0 мПа. Максимальные оседания морского дна при этом составят 97 мм. При совместной добыче нефти и газа ожидаемое максимальное уплотнение продуктивных объектов достигает 890 мм. Ожидается, что основной вклад в оседание морского дна внесет отработка на месторождении запасов газа.

Отметим также результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния западного склона Дербентской котловины Среднего Каспия, которое провел И.А. Гарагаш на основе данных о литологическом составе, физико-механических свойствах и условиях залегания донных грунтов в этом районе. Для расчетов была использована конечно-разностная схема решения трехмерных задач механики сплошных сред, моделирующих нелинейное поведение поронасыщенных грунтов в условиях пластического течения за пределом прочности.

Сначала рассчитывалось начальное напряженное состояние модели под действием сил собственного веса, а затем выполнялось нагружение её горизонтальными тектоническими силами, а также динамическими нагрузками, характерными для землетрясений разной магнитуды. Показано, что в перспективе повторяющиеся землетрясения могут привести к накоплению смещений и постепенному сползанию склона.

Стадия разработки морских месторождений нефти и газа. В зависимости от сил, продвигающих нефть к забою скважин на разных стадиях срабатывания её залежей различают режимы жестководонапорный, упруго-водонапорный, растворенного газа, гравитационный и смешанный. При добыче газа к этому добавляются газовый и газоводонапорный режимы. Каждая из этих стадий отличается своими предпосылками для срабатывания грифонов. В целом на начальных стадиях разработки месторождения, когда еще отсутствует необходимость дополнительных репрессий на пласты, активизация грифонов определяется в основном природными факторами: наличием разломов, дефектами флюидоупорных покрышек и т.д. Срабатывание грифонов на этих стадиях указывает на ошибки выбора точек бурения на поисковом этапе геолого-разведочных работ.

На поздних стадиях разработки месторождения, когда возникает необходимость искусственных репрессий для вытеснения нефти и газа из пор и/или трещин продуктивных горизонтов, опасность аварийных выбросов пластовых флюидов заметно возрастает. Активизация грифонов в этих условиях обретает природно-техногенный или сугубо техногенный характер. Наиболее опасны аварии с открытыми фонтанами при строительстве и эксплуатации скважин, а также грифоны в основании морских платформ. Такие аварии, как правило, сопровождаются возгоранием фонтана, крушением скважины, гибелью людей и загрязнением значительных пространств моря.

В связи с этим разработаны типовые инструкции по действиям персонала в аварийных ситуациях, а также "Методика определения степени риска при проектировании и строительстве нефтяных и газовых скважин", утвержденная Госгортехнадзором РФ от 26.12.1996 и ряд других нормативных документов. Наиболее действенной при этом является система автоматического отключения нефтедобычи в скважинах, которой, однако, неподвластна стихия грифона, бушующего в затрубном пространстве скважины или на удалении от неё.

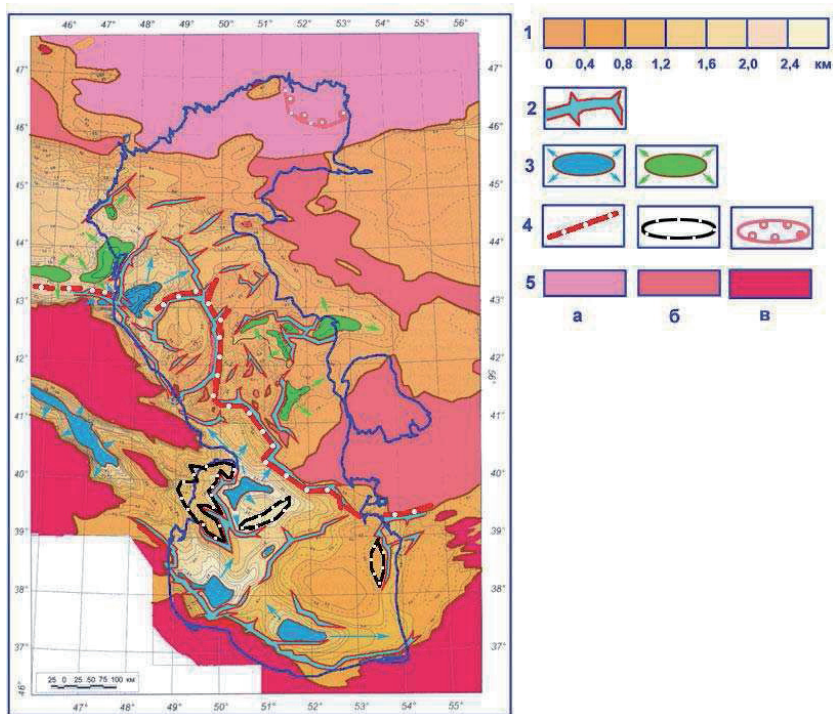


Рис. 8. Карта проницаемых зон и элизионных потоков подземных вод во флюидопорной толще глин олигоцена-миоцена, экранирующей высоконапорные флюидодинамические системы закрытого компрессионного типа Северо-. Средне- и Южно-Каспийской групп осадочных нефтегазоносных бассейнов: 1 – область распространения и мощность флюидоупорных отложений олигоцена-миоцена (майкопская серия); 2 – проницаемые зоны и очаги разгрузки высоконапорных флюидов из домайкопских структурных этажей; 3 – очаги накопления и потоки элизионных подземных вод, отжимаемых из глин олигоцена-миоцена (а – участки повышенной активности элизионных процессов в области современных тектонических погружений; б – участки умеренной активности элизионных процессов в области современных тектонических поднятий и знакопеременных движений); 4 – области и очаги активности: а - гидротермальной деятельности в зонах новейшего магматического вулканизма; б – грязевого вулканизма Южно-Каспийской впадины; в – роста соляных куполов Прикаспийской впадины; 5 – область отсутствия флюидоупорных отложений миоцена-плиоцена в пределах: а – древней Восточно-Европейской платформы; б – молодой Скифско-Туранской плиты; в – области альпийской складчатости.

"Виновников" подобных аварий разделяют обычно на две категории. С одной стороны, это низкий уровень производственной дисциплины, нарушения требований промышленной безопасности и технологии разработки месторождения: падение в скважину обсадных или бурильных колонн, неудачное цементирование обсадных колонн и т.д. С другой стороны, явления горно-геологического характера, такие как поглощение, нефтегазопроявление, выбросы, осыпи, обвалы, искривление ствола скважины и т.п. Пессимисты обычно утверждают, что такие процессы якобы не поддаются ни прогнозу, ни контролю. Оптимисты, напротив, для прогноза аварийных ситуаций на действующих морских промыслах нефти и газа в России и за рубежом внедряют системы многоуровневого комплексного мониторинга состояния недр и морских акваторий.

Первая система геодинамического мониторинга на шельфе была развернута компанией British Petroleum в норвежской части Северного моря в 2003 г. на нефтяном месторождении Valhall. Система состояла из 2414 четырехкомпонентных сейсмических датчиков, покрывающих площадь 45 км², соединенных кабелями между собой и платформой общей протяженностью 120 км. Стоимость системы составила 45 млн. долл. США. До недавнего времени это был единственный в мире полигон непрерывного наблюдения за микросейсмичностью на шельфе в районе разработки нефтяного месторождения. Первые открытые публикации об этих наблюдениях появились в 2009-2010 гг. Наиболее интересными оказались результаты анализа непрерывной регистрации микросейсмичности в течение 6,5 час, обусловленной растрескиванием пород в окрестностях резервуара при добыче нефти. Так была показана принципиальная возможность мониторинга процессов изменения напряжений, деформаций, микроподвижек и миграции флюидов в области резервуара. Неожиданным оказался вывод о том, что микроподвижки могут возникать вне резервуара, как результат воздействия упругих волн, генерируемых при бурении пород резервуара.

Система комплексного геоэкологического мониторинга морских нефтегазоносных акваторий, созданная ИО РАН, включает совокупность

судовых, спутниковых, сейсмологических наблюдений, а также наблюдений с помощью донных и буйковых станций [Лобковский и др., 2005]. Основные элементы этой системы ориентированной на оперативный прогноз внезапных грифонных выбросов пластовых флюидов и опасных подвижек недр, как уже отмечено, внедрены по заказу компании "ЛУКОЙЛ" на месторождении им. Ю. Корчагина в Каспийском море. С сентября 2012г. эта деятельность регулируется "Регламентом геодинамического мониторинга", который официально утвержден руководством компании и опирается на показания двух основных подсистем геодинамического мониторинга: спутниковую и промысловую, каждая из которых объединяет несколько групп или блоков.

Подсистема спутниковых наблюдений. Спутниковые методы морской геологии нефти и газа объединяются в две группы. Первая из них связана с регистрацией пленок нефти на поверхности моря, а вторая – с высокоточными геодезическими способами регистрации подвижек сооружений морских промыслов и массивов горных пород на соседней территории.

Регистрация пленок нефти из космоса на поверхности моря ориентирована на решение трех основных задач: а) поиск морских месторождений углеводородов по очагам разгрузки пластовых флюидов; б) обеспечение безопасности разработки таких месторождений; 3) охрана природы (рис. 9-12). Каждая из этих задач требует понимания особенностей флюидодинамических процессов в недрах морей в сочетании с данными сейсмических, геохимических, геотермических, геоморфологических и других методов исследований.

Методика решения этих задач раскрыта в работах [Голубов, Иванов, 2014; Иванов и др., 2007, 2011, 2015]. Она базируется в основном на том, что радиолокаторы из космоса уверенно регистрируют пятна нефти и ее пленки – так называемые слики на поверхности моря. Многократная космическая радиолокационная съемка и группировка спутников позволяют получать набор изображений одного и того же участка морской поверхности с периодичностью, исчисляемой днями и даже часами. Поэтому обработка такой совокупности снимков позволяет с

вероятностью 90% выявлять по совокупности этих пятен их подводные источники.

В видимом диапазоне цвет нефтяных пятен может регистрироваться оптическими датчиками. Однако спектральное разрешение в отличие от пространственного большинства оптических датчиков ДЗЗ, таких как на ИСЗ Landsat, Spot, UK DMC и др. далеко от желаемого. С их помощью можно различить только основные вариации цвета (и соответственно толщин) нефтяных пленок, как-то: металлическо-серый, радужный и серебристо-серый.

Преимущества космической радиолокации очевидны: она всепогодна, т.е. не зависит от облачности, осадков и солнечного освещения, обладает высоким разрешением (10-25 м), широкой полосой обзора (до 500 км) и высокой чувствительностью к шероховатости поверхности моря – гравитационно-капиллярным волнам.

Вместе с тем космическая радиолокация тоже имеет ряд ограничений. Она не измеряет толщину и другие параметры нефтяной пленки, способна обнаружить такие пленки в относительно узком диапазоне скорости ветра от 2-3 до 7-8 м/с и не исключает регистрацию ложных, сликов, возникающих благодаря процессам и явлениям в нижнем слое атмосфере и верхнем слое моря.

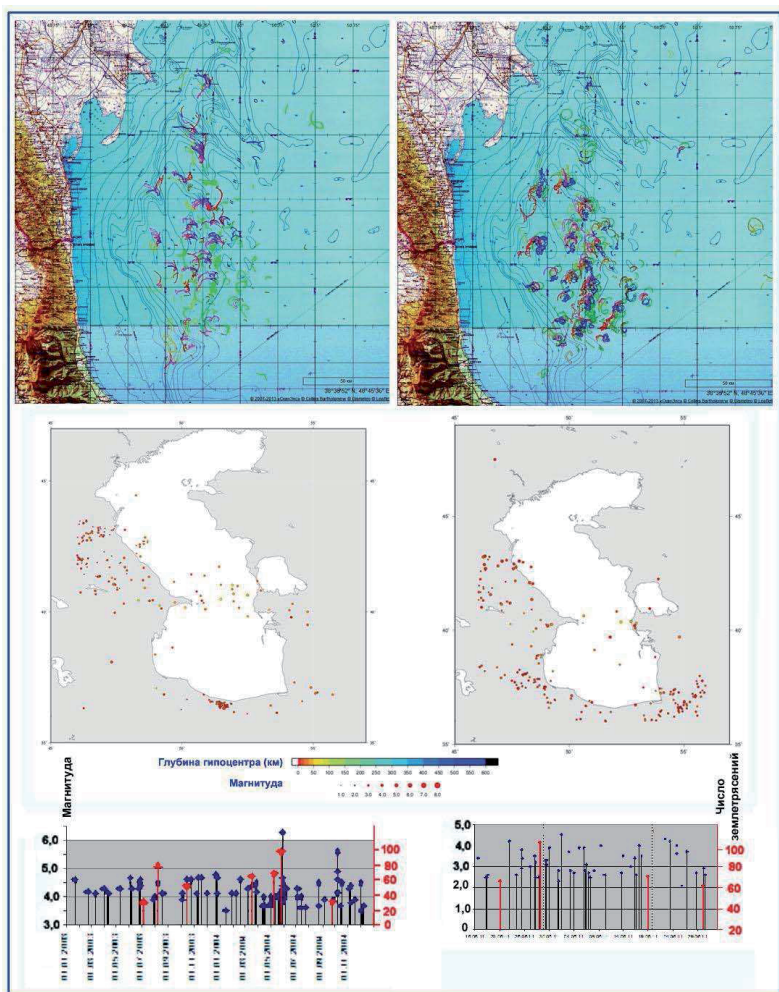


Рис. 9. Верхний ряд: Карты распределения грифонных пятен нефти в западной части Южного Каспия, обнаруженных на радиолокационных изображениях спутника Envisat в 2003–2004 гг. (слева) и в 2011 г. (справа); Средний ряд: Карты распределения гипоцентров землетрясений в 2003-2004 гг. (слева) и в 2011 г. (справа) в период проведения спутниковых съемок Южного Каспия. Нижний ряд: Интенсивность землетрясений и импульсы выбросов нефти из недр Южного Каспия в 2003-2004 гг. (слева) и в 2011 г. (справа) в период проведения спутниковых съемок. В 2003-2004 гг. из недр этой части моря выбрасывалось нефти в среднем 11,8 т/день (4 580 т/год), а в 2011 г. в среднем 43,5 т/день (15 880 т/год). Т.е. в 2011 г., по сравнению с 2003–2004 гг., объем выброшенной нефти возрос в 3,5-3,7 раза.

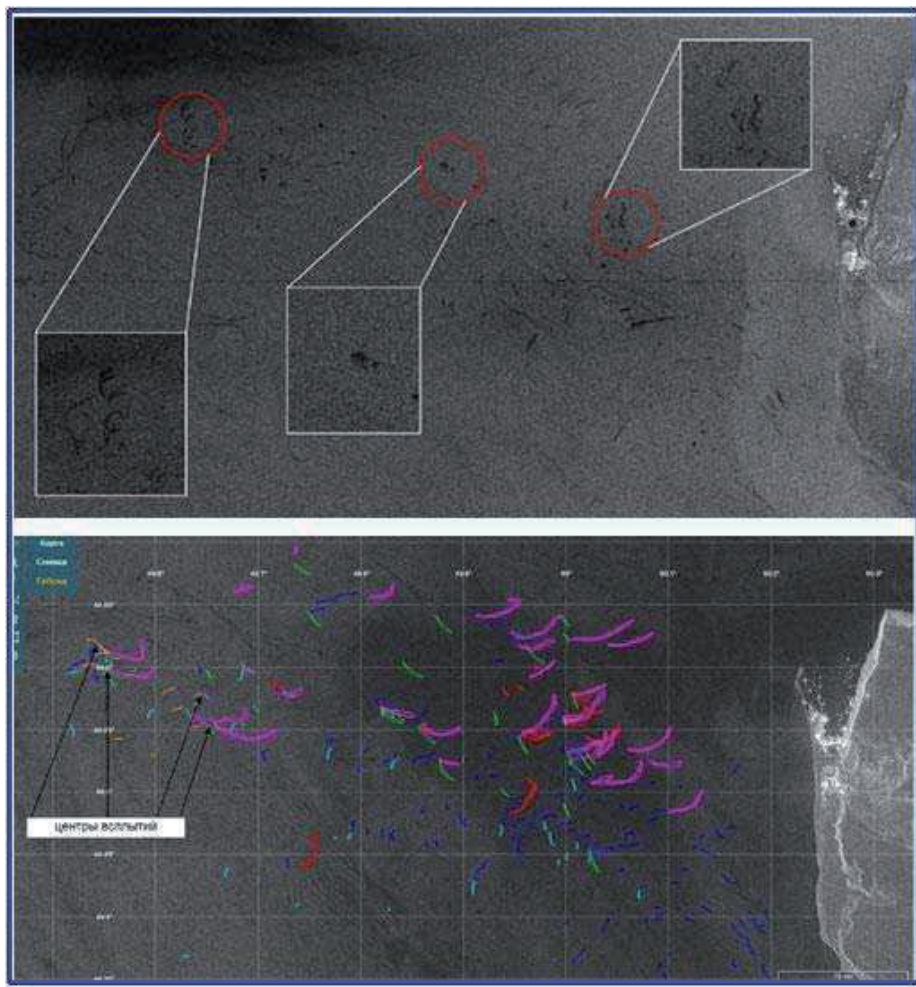


Рис. 10. Выбросы нефти из недр Северного и Среднего Каспия в мае-июне 2012 г. © MDA, ИТЦ "СКАНЭКС": а – увеличенный фрагмент радиолокационного изображения спутника Radarsat-2 от 29.05.2012. Хорошо видны кластеризация пятен-сликов, а также повторяющиеся двойные-тройные сигнатуры (на врезках); б – повторяемость во времени и пространстве пленочных сликов на радиолокационных изображениях Radarsat-1/Radarsat-2 (красный – 20.05.2012, сиреневый – 25.05.2012, синий – 29.05.2012, зеленый – 1.06.2012, светло-коричневый – 8.06.2012, голубой – 10.06.2012, фиолетовый – 13.06.2012).

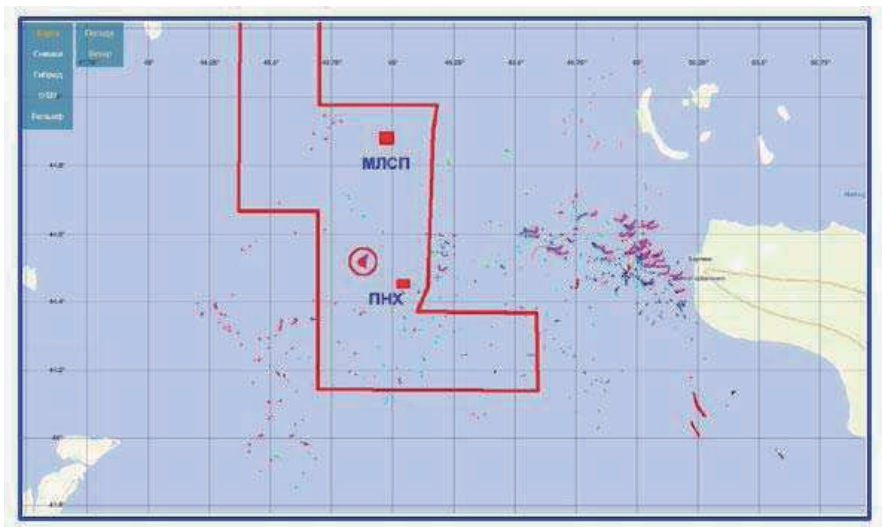


Рис. 11. Сводная карта импульсов активности нефтяных грифонов в Северном и Среднем Каспии в апреле-июне 2012 г. по данным космической радиолокации. МЛСП – морская ледостойкая стационарная платформа, ПНХ – плавучее нефтехранилище. Красный кружок с точкой – эпицентр локального землетрясения с магнитудой 3,3, которое возникло 23.05.2012 г. (данные Института геофизических исследований НЯЦ Республики Казахстан). Красной линией показан лицензионный участок ООО "Лукойл-Нижневожскнефть".

Поэтому, предварительно проводится анализ гидрометеорологической обстановки и «разбраковка» естественных пятен нефти на поверхности моря от прочих, биогенных и аэрогидродинамических силков. Большинство сликов обладает характерной формой, отличной, например, от линейчатых пятен судовых разливов. Биогенные, а также прочие пленки поверхностно-активных веществ, в отличие от грифонных пятен "глубинной" нефти имеют разную толщину, а, следовательно, и разное время "жизни". Более толстые, чем биогенные пленки, пятна грифонной нефти существуют на поверхности моря в более широком диапазоне скоростей ветра – до 6-7 м/с, т.е. наблюдается и тогда, когда прочие тонкие пленки исчезли с поверхности моря. Грифонные пятна восходящей из недр нефти сосредоточены обычно над очагами разгрузки пластовых флюидов. Но

в зависимости от направления и силы морских течений, ветров такие пятна могут смещаться от своих «эпицентров» на дне моря. Поправка на такое смещение вводится на основе совместного анализа синоптической обстановки и структурных карт месторождений нефти и газа. Так можно определить координаты действующих подводных грязевых вулканов, нефтяных грифонов и сипов, а также их привязка к структурным элементам осадочного чехла месторождения. Кроме того, сравнительный анализ состава нефтей в пятнах и в продуктивных горизонтах месторождения позволяет определить положение «гипоцентра» источника выбросов нефти на поверхность моря, т.е. стратиграфический интервал и глубину зарождения такого выброса. В итоге вырисовывается картина грифонной активности, подобная той, что изображена на рис. 12 и 17.

Высокоточные спутниковые геодезические наблюдения позволяет решить две основные задачи обеспечения геодинамической безопасности морских промыслов нефти и газа: а) обнаружение первых признаков просадочных явлений и горизонтальных сдвигов массивов горных пород; б) среднесрочный прогноз землетрясений (от нескольких суток до месяца) тектонической и техногенно-индуцированной природы.

Подсистема промысловых наблюдений. Структурно эта подсистема состоит из трех блоков мониторинга: 1) геолого-геофизической среды; 2) деформаций сооружений промысла; 3) показателей состояния недр и пластовых флюидов.

Мониторинг геолого-геофизической среды. Этот блок осуществляет непрерывный мониторинг геофизических полей: сейсмического, геоакустического, а также поля упругих деформаций и напряжений [Лобковский, Ковачев, 2011]. Измерения выполняются в автоматизированном режиме, непрерывно с дискретностью 80 Гц и ориентированы на решение трех задач: 1) обнаружение очагов концентрации микроземлетрясений, как предвестников сильных землетрясений и подвижек по разломам; 2) обнаружение геофизических аномалий, вызванных появлением газовых "пузырей"; 3) контроль микросейсмичности, отражающей особенности трещинообразования и внедрения пластовых флюидов в пористую среду горных пород.

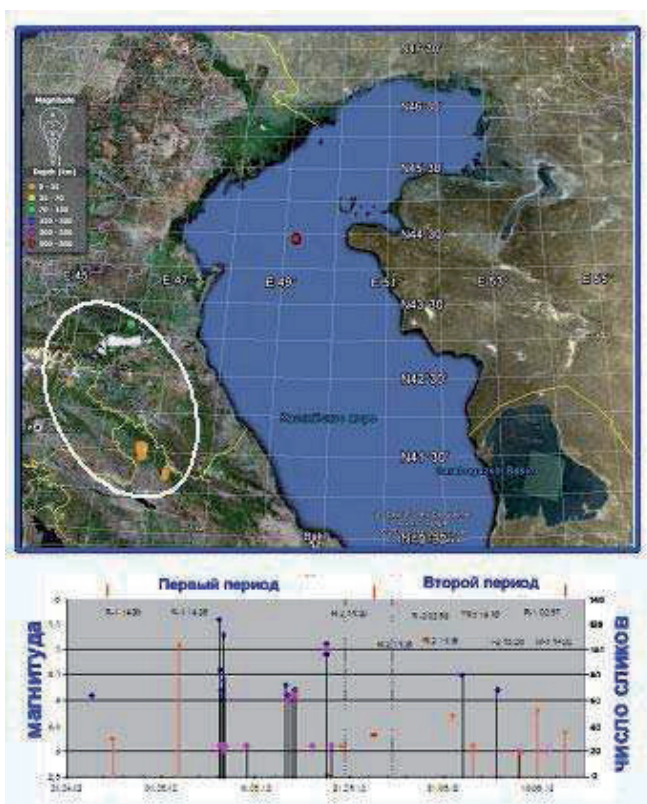


Рис. 12. Вверху – карта эпицентров землетрясений в Каспийском регионе в период с 1.04 по 15.06.2012. Область активности дальних землетрясений показана белым эллипсом (данные USGS, <http://earthquake.usgs.gov/regional/ncic>). Местное землетрясение, возникшее 23.05.2012, показано красным кружком (данные Института геофизических исследований НЯЦ Республики Казахстан); Внизу – график сопоставления активности землетрясений и грифонов в Каспийском регионе с 21.04.2012 по 15.06.2012. Оранжевые линии – количество грифоновых пятен. Темные линии – магнитуда землетрясений по данным: а) USGS (синие ромбы); б) национальной сейсмической службы Азербайджана (сиреневые ромбы); в) Института геофизических исследований Республики Казахстан (красный квадрат).

Мониторинг деформаций сооружений промысла. Объектом этого блока является мониторинг деформаций и наклонов сооружений промысла. Он осуществляется его маркшейдерской службой и состоит из непрерывного автоматизированного дистанционного контроля

положения сооружения в пространстве и времени. В итоге определяются: 1) абсолютные и относительные величины деформаций и сравнение их с расчетными; 2) степень опасности деформаций.

Конструктивно рассматриваемая подсистема состоит из донной и судовой частей.

Донная часть объединяет 3 группы донных сейсмографов типа Гвидон-М, которые донными кабелями через усилители-ретрансляторы подключены к устройству мультиплексирования и синхронизации данных (рис. 13-15). Сейсмоприемники измеряют скорости смещения морского дна в диапазоне рабочих частот 3-30 Гц по уровню 0,7 в динамическом диапазоне 90 дБ. Частота собственных колебаний сейсмоприемников составляет 5 Гц; коэффициент затухания – 0,7; коэффициент электромеханической связи (КЭМС) – $34 \text{ В/м}\cdot\text{с}^{-1}$.

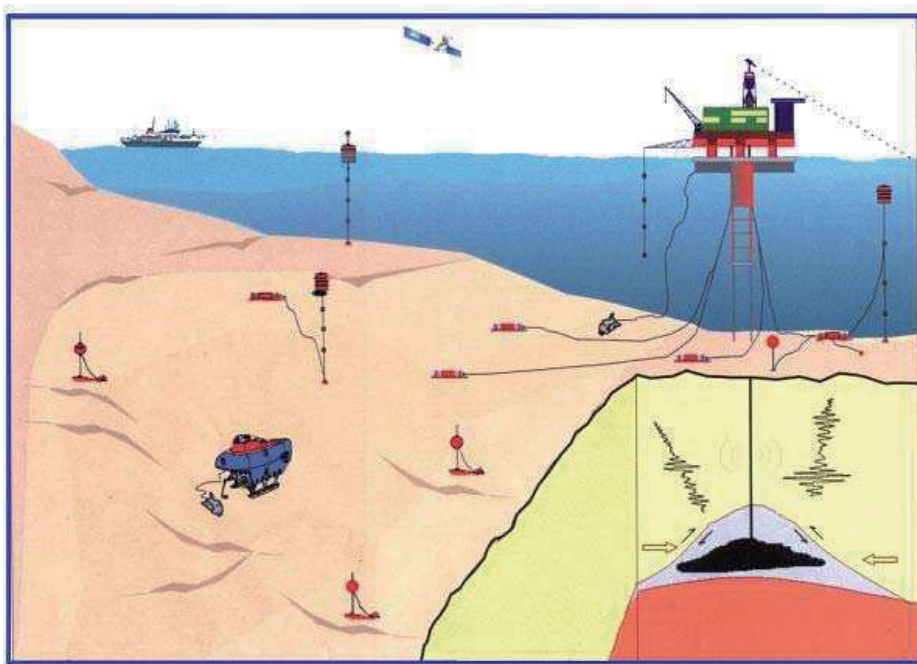


Рис. 13. Схема геодинамического мониторинга морских месторождений нефти и газа.

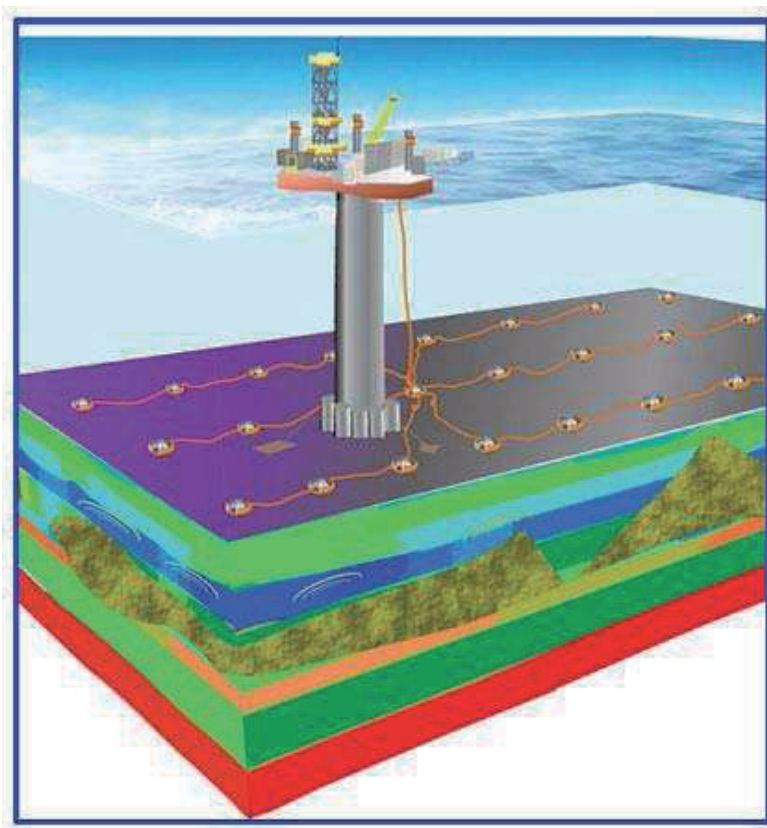


Рис. 14. Схема донного сейсмического мониторинга морской нефтегазодобывающей платформы.

Судовая часть включает блок сбора и обработки данных БОС 404, блок наклономеров и акселерометров Инклин-2. Гидрофоном измеряются колебания придонного давления в диапазоне рабочих частот 3-30 Гц по уровню 0,7 в динамическом диапазоне 90 дБ.

Инклинометр типа AGS 5, измеряет наклоны палубы ЛСП-1 вокруг двух горизонтальных взаимно перпендикулярных осей в диапазоне $\pm 5^\circ$ с разрешающей способностью до $0,001^\circ$ и погрешностью измерения $0,06^\circ$ (рис. 16).

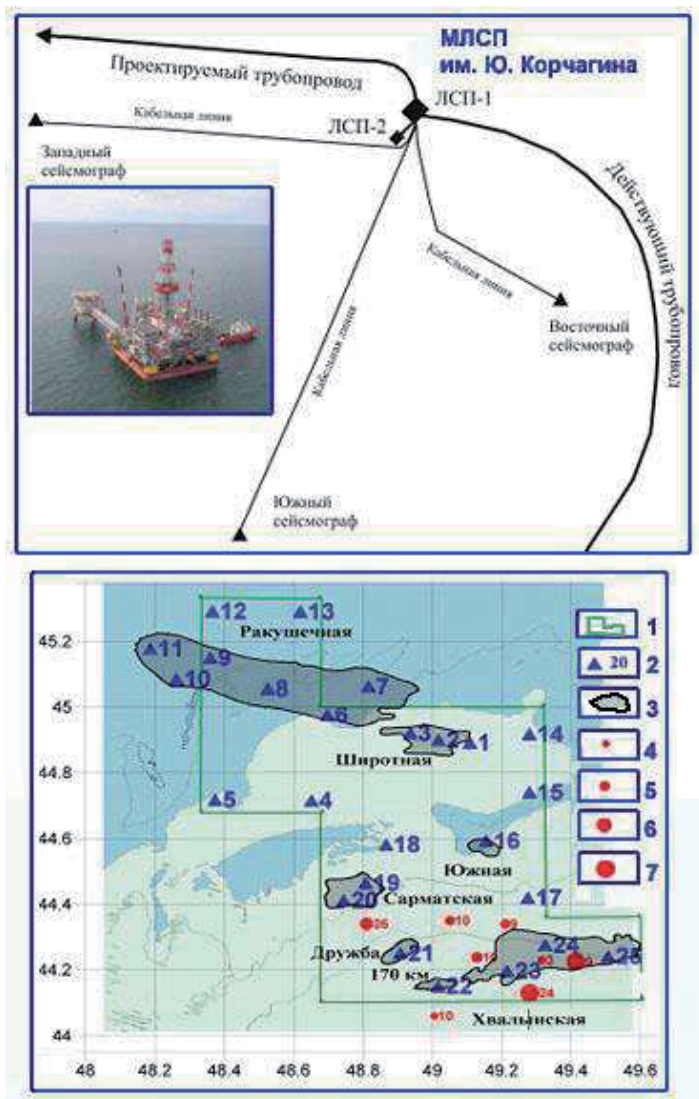


Рис. 15. Вверху – схема установки донных модулей и прокладки кабелей в районе МЛСП им. Ю.Корчагина. Внизу – результаты донных сейсмологических наблюдений ИО РАН на лицензионном участке ООО «ЛУКОЙЛ Нижневолжскнефть»: 1 – границы лицензионного участка; 2 – донные сейсмографы; 3 – контуры локальных нефтегазоносных структур; 4-7 – эпицентры землетрясений с указанием глубины очага (км) магнитудой: 4 – 2,0-2,1; 5 – 2,2; 6 – 2,5; 7 – 2,9-3,0.

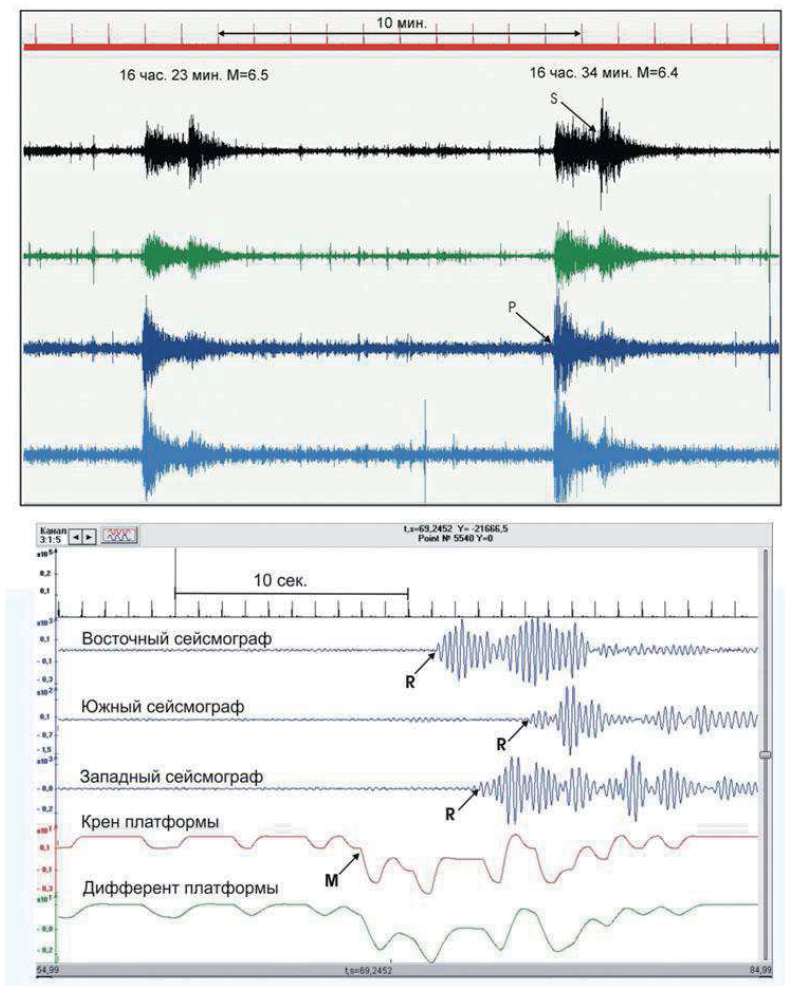


Рис. 16. Верху – Пример записи донными сейсмографами МЛСП им. Ю.Корчагина землетрясения в Северо-Западном Иране 11 августа 2012 г. Внизу - регистрация «импульсных» колебаний платформы на месторождении им. Ю. Корчагина датчиками системы геодинамического мониторинга ИО РАН.

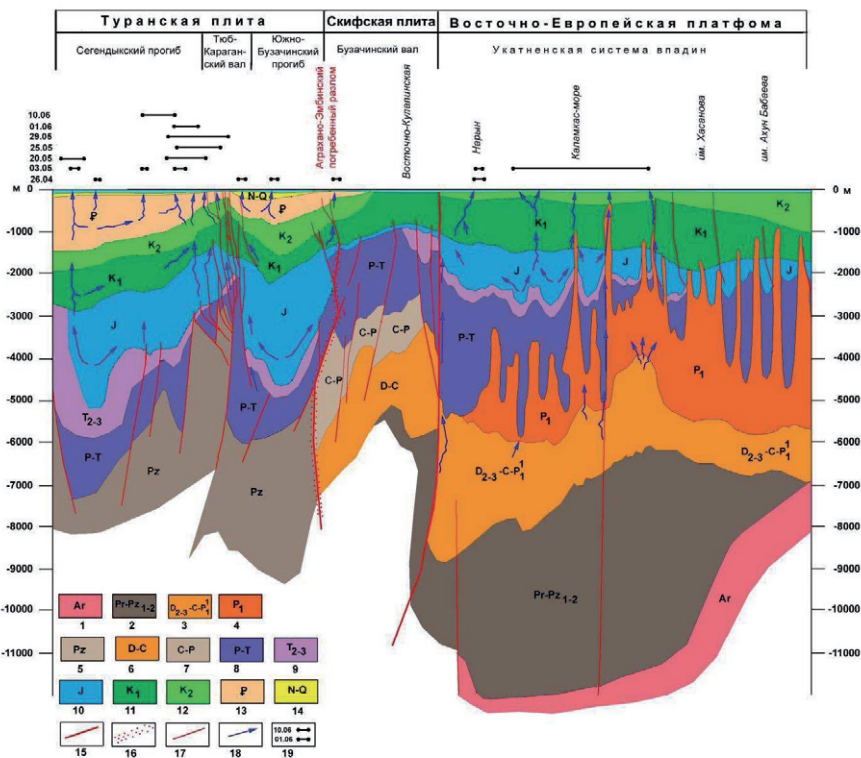


Рис. 17. Геологический разрез Северо- и Средне-Каспийской групп осадочных нефтегазоносных бассейнов и схема формирования грифонов.

Акселерометр предназначен для регистрации сильных воздействий на платформу, и выполнен на базе Micromachined Accelerometer (MMA1260 и MMA2260). Он измеряет виброускорения по трем взаимно перпендикулярным осям (вертикальной и двум горизонтальным) в частотном диапазоне 3-30 Гц, динамическом диапазоне – 90 дБ с чувствительностью – 1200 мВ/г, при спектральной плотности амплитуды собственных шумов в диапазоне частот 0,1-1000 Гц – $350 \times 10^{-6} \text{ г/Гц}^{-1/2}$, где г – единица измерения виброускорения, $1\text{г} = 9,81 \text{ м/сек}^2$). В блоке мультиплексирования и синхронизации данных формируется информационный поток, синхронизированный с мировым универсальным временем. В блоке сбора и обработки данных БОС-404

производится предварительная обработка поступающей со всех датчиков информации, ее визуализация на экране дисплея и сохранение в файлах на жестком диске. Этим блоком также вырабатывается сигнал опасности при превышении сигналов от наклономера и акселерометров заданных пороговых величин. Дальнейшая передача данных подсистемы гнодинамического мониторинга на берег для последующей обработки осуществляется по спутниковому каналу связи либо на электронных носителях.

Мониторинг показателей состояния недр и пластовых флюидов.

Это блок предназначен для решения трех задач: 1) обнаружить предвестники аварийных выбросов пластовых флюидов и подвижек земной коры; 2) разбраковка истинных и ложных предвестников грифонных выбросов пластовых флюидов; 3) привязка очага разгрузки пластовых флюидов к его источнику в недрах месторождения.

Основой для решения первой задачи служат данные постоянных скважинных телеметрических исследований, которые регистрируют искривления стволов скважин, скачки пластовых давлений, заметные изменения пористости коллекторов, температурного режима, минерализации и газонасыщенности пластовых флюидов, интервалы поглощения бурового раствора, возрастания скорости проходки скважин, межколонных и заколонных перетоков и т.д.

Вторая задача, несмотря на её актуальность, в настоящее время практически пока не решается. Как уже отмечено, при анализе данных спутниковых наблюдений осуществляется предварительная формальная разбраковка истинных пятен нефти, появившихся на поверхности моря вокруг месторождения углеводородов, от "ложных" сликов иной природы. Но даже если нефтяное пятно является истинным и приурочено к очагу разгрузки на дне моря, то это еще не означает, что источник такой разгрузки обладает значительной мощностью и представляет угрозу для промысла. В частности, выбросы нефти и газовых пузырей из толщи донных осадков, а также приповерхностных горизонтов осадочного чехла обычно безобидны для промысловых сооружений. Такие маломощные выбросы не могут служить основанием для срабатывания аварийного сигнала на промысле. Они указывают

лишь на зарождение восходящей миграции пластовых флюидов, которая может быть чревата их аварийным выбросом в будущем, но не в данный момент.

Вот почему получаемая со спутников картина распределения темных пятен (сликов) на поверхности моря вокруг месторождения углеводородов нуждается в оперативной проверке методами подспутниковых судовых и подводных наблюдений. Схема такой проверки должна включать следующие операции: а) отбор подозрительных проб нефти с поверхности и дна моря в очаге её разгрузки; б) сравнительный химический анализ этих проб с составом нефтей продуктивных горизонтов месторождения; в) привязка проб нефти к источнику её разгрузки в недрах месторождения; г) оценка мощности и потенциальной опасности этого источника.

Результаты прогноза опасности грифонов на стадии разработки морских месторождений нефти и газа. В целом особенности такого прогноза вписываются в План ПЛРН, который является обязательным для каждого морского месторождения нефти и газа в соответствии законодательством Российской Федерации.

Такой план предусматривает, в частности, построение ситуационных моделей наиболее опасных чрезвычайных ситуаций, а также комплекс организационных, инженерно-технических, природоохранных и санитарно-гигиенических мер, направленных на профилактику готовности к действиям в таких ситуациях.

Весомым подспорьем при построении таких моделей может и должен служить положительный опыта применения "Регламента геодинамического мониторинга" на месторождении им. Ю. Корчагина". Поэтому действующие и вновь разрабатываемые Планы ПЛРН рекомендуется дополнить данными такого мониторинга. Это результаты регистрации: а) пятен нефти, выбрасываемой из недр моря на его поверхность; б) землетрясений в дальней и ближней окрестности промысла по данным локальной и региональной сети сейсмологических наблюдений; в) наклонов и деформаций оснований и конструкций промысла; г) резких перепадах пластовых давлений; д) деформаций стволов скважин и т.д.

Стадии старения и после ликвидации морского промысла. Как убеждает реальность, аварийные выбросы пластовых флюидов, наиболее характерны не для новых, а для стареющих и заброшенных месторождений нефти и газа. Эксплуатация старых промыслов связана, как правило, с существенным обводнением продукции добывающих скважин, которое обретает природно-техногенный характер. К отличительным особенностям такого процесса относятся возникновение в массиве горных пород новых трещин, оперяющих тектонические нарушения, закачки в скважины значительных объемов вод и различных реагентов в режиме переменных давлений, перфорация и гидроразрывы пластов, разрушение обсадных колонн и цементного камня, не выдерживающих агрессивного воздействия сероводорода, углекислоты, ионов хлора и т.п. Все это приводит обычно к подтягиванию подошвенных и контурных вод к сводам залежей, заколонным и межпластовым перетокам пластовых флюидов и т.д. В результате такой перестройки флюидодинамики месторождения опасность грифонных выбросов пластовых флюидов на дно моря заметно возрастает.

Поэтому для обеспечения промышленной безопасности, охраны недр и окружающей природной среды промысловики обязаны строго соблюдать "Инструкцию о порядке ликвидации, консервации скважин и оборудования их устьев и стволов" (РД-08-492-02), что, однако, не устраняет опасность аварийных выбросов пластовых флюидов в затрубном пространстве скважин.

Примером тому служат сотни заброшенных нефтяных скважин, которые были пробурены в недрах Южного Каспия в районе Апшероно-Челекенского порога и Бакинского архипелага, начиная с 1896 г., т.е. еще в царское, а затем и в советское время. Разрушенные стволы и заколонные пространства этих скважин служат сейчас каналами разгрузки на дно моря пластовых флюидов в виде нефтей, токсичных высокоминерализованных подземных вод и газов.

С необходимостью ликвидации 11 аварийных нефтяных скважин, пробуренных в северной части Каспийского моря в 2009 г. столкнулись и промысловики Казахстана из АО "Атыраумунайгазгеология". Эта проблема стала объектом пристального внимания депутатов

парламента Республики Казахстан и широко освещалась в средствах массовой информации.

Таким образом, завершение разработки и ликвидация морского месторождения нефти и газа не означает того, что в окрестности этого месторождения должен быть свернут также и полномасштабный мониторинг состояния земной коры. Напротив, необходимость такого мониторинга после ликвидации промысла только возрастает.

Заключение

1. Созданная в настоящее время теоретическая и информационная база позволяет разработать методологию и детальную схему мониторинга и прогноза аварийных выбросов пластовых флюидов, а также опасных подвижек недр морских месторождений нефти и газа на стадиях их поиска, разведки и разработки.

2. На стадии поиска и разведки морских месторождений нефти и газа такой прогноз сводится к определению областей, зон и очагов потенциальной опасности грифонных выбросов пластовых флюидов путем комплексного мониторинга и направлен на уточнение схемы размещения скважин поисково-оценочного бурения и плана ПЛРН.

3. Система многоуровневого геодинамического мониторинга – необходимое средство безопасной разработки каждого морского месторождения нефти и газа.

4. "Регламент геодинамического мониторинга", действующий на месторождении им. Ю.Корчагина в Каспийском море, подтвердил свою эффективность, и может быть рекомендован для внедрения на других морских промыслах нефти и газа.

5. Рассматриваемая система многоуровневого геодинамического мониторинга, включая указанный "Регламент", нуждаются в совершенствовании по трем основным позициям, имеющим в основном организационный характер. Для повышения надежности этой системы необходимо:

5.1. Составить на основе результатов региональных геолого-геофизических исследований серию специальных карт, отражающих

режим гео-флюидодинамических систем осадочных нефтегазоносных бассейнов той или иной акватории, а также распределение зон и очагов потенциальной опасности выбросов пластовых флюидов.

5.2. Наладить оперативную проверку результатов радиолокационного спутникового мониторинга пленочных загрязнений (темных пятен) на поверхности моря данными подспутниковых судовых и подводных наблюдений, а также данными сравнительного анализа состава пленок и нефтей продуктивных горизонтов месторождения.

5.3. Уточнить формулировки законодательных актов и нормативных документов Российской Федерации в части, касающейся необходимости создания на каждом морском промысле нефти и газа системы многоуровневого геодинамического мониторинга.

Литература к разделу

1. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). 2005. Изд-во "Инэк". 252 с.
2. 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.
3. Багдасарова М.В. Современные гидротермальные системы и их связь с формированием месторождений нефти и газа. «Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности». М.: Наука, 2000. - с. 100-115.
4. Богашова Л.Г. Стадийный характер формирования рудоносных рассолов.// Состав и условия образования морских и континентальных галогенных формаций. Сб. науч. тр. Новосибирск, Наука, 1991, с. 45 – 51.
5. Богданов Г.А., Кобзарев Г.Ю., Делия С.В., Зеленцов В.В., Иванов С.А., Легейдо П.Ю., Мандельбаум М.М. Опыт применения и геологические результаты работ дифференциальным нормированным методом электроразведки на российской акватории Каспийского моря // Геофизика, 2004. № 5. С. 38-45.

6. Богоявленский В.И. Выбросы газа и нефти на суше и акваториях Арктики и Мирового океана // Бурение и нефть. 2015. № 6. С. 4-10.
7. Богоявленский В.И. Богоявленский В.И. Чрезвычайные ситуации при освоении ресурсов нефти и газа в Арктике и Мировом океане // Арктика: экология, экономика. 2014. № 4. С. 48-59.
8. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Особенности геологического строения и разработки нефтегазовых месторождений в регионе Северного моря. "Гронинген" и "Экофиск" // Бурение и нефть. 2014. № 4, С. 4 - 8.
9. Бухарицин П.И. Фонтан огня // Наука и Жизнь. 1986. № 10. С. 66.
10. Бухарицин П.И. Трудная нефть Северного Каспия. Человек и стихия - 89: сб. - Л., 1988. - с. 105-107.
11. Бухарицин П.И. Черная тень Тенгиза // Наука в России, 1992. № 4. С. 64-67.
12. Бухарицин П.И., Голубов Б.Н., Иванов А.Ю. Результаты и вопросы комплексирования методов спутникового и подспутникового мониторинга пленочных загрязнений моря в условиях экспансии морской нефтегазодобычи // Материалы международной научно-практической конференции «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности» (16-17 октября 2015 года, Астрахань, Российская Федерация). Астрахань, 2015. С. 143.
13. Бухарицин П.И., Лабунская Е.Н. Исследования морских льдов в целях обеспечения безопасности нефтеразведочных работ на шельфе Северного Каспия. // Вестник АГТУ. Экология: науч. журнал. Астрахань, 2002. с. 33-39.
14. Геворкян С.Г., Голубов Б.Н. О деформациях полостей подземных ядерных взрывов в районе Астраханского газоконденсатного месторождения. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2.1998, с. 17-37.
15. Голубов Б.Н. Проблема и пути снижения геодинамического риска экспансии нефтегазодобывающей промышленности в Арало-Каспийском ареале новейшего прогибания земной коры / В тр. межд. конф. Caspian Offshore 2014. 10-12 сентября 2014, Баку. <http://www.theenergyexchange.co.uk/event/caspian-offshore/attend>

16. Голубов Б.Н. Экспансия нефтегазодобывающей промышленности как регулятор биосферного круговорота впадины Каспийского моря и фактор опасных явлений // Бурение и нефть, № 11. 2009. С. 20-23.
17. Голубов Б.Н. Последствия техногенной дестабилизации недр Астраханского газоконденсатного месторождения в зоне подземных ядерных взрывов. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1994, № 4 с. 25-42.
18. Голубов Б.Н. Зоны подземных ядерных взрывов (ПЯВ) – техногенные очаги дегазации и возмущений режима флюидодинамических систем месторождений углеводородов. Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенез. Материалы Всероссийской конференции. Москва, 22-25 апреля 2008 г. М.: ГЕОС, 2008, с. 111-119.
19. Голубов Б.Н. Проблема оценки и устранения опасных последствий подземных ядерных взрывов на нефтяных и газовых месторождениях России (на примере Осинского месторождения). Оценка воздействия на окружающую среду предприятий нефтегазового комплекса. Научно-техническое общество нефтяников и газовиков им. Акад. И.М. Губкина. Сб. докладов и сообщений на конференции, г. Туапсе. 30 сентября -5 октября 2001 г. М. 2002 г.; с.62 – 93.
20. Голубов Б.Н. Проблема ревизии Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний и возобновления мирных подземных ядерных взрывов. Вестник НЯЦ РК. Выпуск 2(22) июнь 2005 г, с. 5 – 27.
21. Голубов Б.Н., Иванов А.Ю. Активизация выбросов нефти из недр Северного и Среднего Каспия в апреле-июне 2012 г. по спутниковым и геолого-геофизическим данным // Исслед. Земли из космоса, 2014. № 2. С. 62-81.
22. Голубов Б.Н. Исмагилов Д.Ф. Трубообразные тела под дном Северного Каспия и флюидный режим его недр / Тр. Всерос. конф. «Генезис нефти и газа». 15-18 апреля 2003, Москва. Под ред. Д.Н. Дмитриевского, и А.Э. Конторовича. М.: ГЕОС. 2003. С. 78-80.

23. Голубов Б.Н., Сапожников Ю.А. Особенности поведения техногенных радионуклидов в зонах подземных ядерных взрывов. Вестник НЯЦ РК. Вып. 3, сентябрь 2010, с. 101 – 116.
24. Голубов Б.Н. Активизация соляного карста и угроза обводнения подземного хранилища радиоактивных отходов Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), спровоцированные подземным ядерным взрывом "Гном" в штате Нью-Мексико, США. Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. Т. 4. Вып. 1 • 2013. Специальный выпуск Система планета Земля. Web. <2227-9490eaprovrg_e-ast4-1.2013.62>
25. Голубов Б.Н., Свистунов Ю.И. Результаты и возможности изучения Терско-Каспийского краевого прогиба методами морской геофизики // Морская геология и геофизика. 1972, № 3, с. 73-77.
26. Готтих Р.П., Писоцкий Б.И. Нефтегазорудные аспекты мантийной дегазации Земли. Электронный журнал "Глубинная нефть". Т. 2. №8. 2014. с. 1376-1380. http://journal.deepoil.ru/images/stories/docs/DO-2-8-2014/9_Gottich-Pisotskiy_2-8-2014.pdf.
27. Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г. Субвертикальные зоны углеводородной дегазации Земли. // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы междунар. конф. памяти акад. П.Н. Кропоткина. 20-24 мая 2002, Москва. М.: ГЕОС, 2002. С. 318-319.
28. Гуревич А.Е., Крайчик М.С., Батыгина Н.Б. и др. Давление пластовых флюидов. Л.: Недра. 1987. – 223 с.
29. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Том 1. Методы изучения и процессы формирования химического состава иловых вод в отложениях Черного, Азовского, Каспийского, Белого, Балтийского морей. М. ГЕОС, 2003. - 332 с.
30. Дзюба А.А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы. Новосибирск. Наука, 1984, 158 с.
31. Дмитриевский А.Н. Фундаментальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии.// Нефтегазовая гидрогеология на современном этапе (теоретические проблемы, региональные

- модели, практические вопросы) / Отв. ред. А.Н. Дмитриевский, А.А. Карцев, Л.А. Абукова: М.: ГЕОС, 2007, С. 7-12.
32. Добрынин С.И. Определение места заложения разведочных скважин на продуктивных нефтегазовых структурах с применением инновационных технологий. Сборник статей международной исследовательской организация "Cognitio" по материалам I международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы науки XXI века» г. Москва: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). – СПб: Международная исследовательская организация "Cognitio", 2015. С. 47-51.
33. Ершов В.В. Флюидодинамические процессы в грязевулканических структурах и их связь с региональной сейсмичностью (на примере о-ва Сахалин): дис. на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук. Институт динамики геосфер РАН.- М. 2013. - 214 с.
34. Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Затягалова В.В. О нефтегазоносности и разгрузке подземных флюидов в южной части Каспийского моря по данным космической радиолокации // Исслед. Земли из космоса, 2007. № 2. С. 62–81.
35. Иванов А., Голубов Б., Евтушенко Н., Терлеева Н. Картирование нефтепроявлений и признаков нефтегазоносности недр Южного Каспия из космоса // Земля из космоса, 2015а. № 4(20). С. 20-26.
36. Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Терлеева Н.В. Сравнительный анализ распределения естественных нефтепроявлений в юго-западной части Каспийского моря по данным космической радиолокации с оценкой нефтегазоносности недр // Исслед. Земли из космоса, 2015б. № 6. С. 1-15.
37. Иванов А.Ю., Достовалов М.Ю., Синёва А.А. Определение параметров нефтяных загрязнений по данным космической поляризационной радиолокационной съемки в районе нефтепромыслов «Нефтяные Камни» в Каспийском море // Исслед. Земли из космоса, 2011. № 5. С. 31–44.

38. Иванов А.Ю., Терлеева Н.В. Нефтяной разлив в Мексиканском заливе – вклад дистанционного зондирования в мониторинг чрезвычайной ситуации // Земля из космоса – наиболее эффективные решения, 2011. № 8. С.72-79. (http://zikj.ru/images/archive/no8/no8_ivanov-mexica_72-79.pdf).
39. Иванов А.Ю., Терлеева Н.В. Аварии с морскими объектами НГК и их мониторинг из космоса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2015. № 10. С. 5-12.
40. Исаков С.И., Тулышева Е.В., Хлопкова М.В. Особенности химизма и минералогии плиоцен-плейстоценовых вулканических пеплов Дагестана. III-я Межд. науч-практ. конф. молод. учен. и специалистов, посвященной памяти академика А.П. Карпинского, ВСЕГЕИ, С-Петербург. 2013. С. 405-409.
41. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1977. – 408 с.
42. Лебедев Л.М., Никитина И.Б. Челекенская рудообразующая система. М.: Наука, 1983, 240 с.
43. Лобковский Л.И., Ковачев С.А. Система геодинамического мониторинга морского нефтегазодобычи на шельфе на примере морского нефтегазового месторождения имени Ю. Корчагина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. №11. С. 11-14.
44. Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий; [отв. ред. С.С. Лаппо]. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова.- М.: Наука, 2005. – 326 с.
45. Лобковский Л.И., Турунтаев С.Б., Голубов Б.Н., Иванов А.Ю., Ковачев С.А. Система прогноза аварийных выбросов пластовых флюидов из недр морских месторождений нефти и газа (на примере промыслов Каспия). Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. 16 - 20 ноября 2015 г. г. Москва. ИО РАН им. П.П. Ширшова. Т. II, С.74-78.
46. Мирзоев Р.Х., Гасанов Р.К., Харитонов В.М., О металлоносности нефтей Западной Туркмении. Геология нефти и газа. 1993, № 5.

47. Немировская И.А. Нефть в океане. М.: Научный мир, 2013. - 432 с.
48. Нетрадиционная энергетика. Геотермальная энергетика. Методика определения гидротермальных и парогидротермальных ресурсов. Р 5 0 - 6 0 5 -8 6 - 9 4. Издание официальное. М. ИПК Изд-во стандартов, 1996, 28 с.
49. Очерки по истории развития геологии в Азербайджане. Ред. Ш.Ф. Мехтиев, А. Али-Заде. Баку. Изд-во "Элм", 1982, 150 с.
50. Писецкий В. Б. Прогноз флюидодинамических параметров нефтегазоносных бассейнов по сейсмическим данным. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Тюмень. 2005. 50 с.
51. Семенович В.В., Высоцкий И.В., Корчагина Ю.И., Матвеева А.К., Мазор Ю.Р. Основы геологии горючих ископаемых. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1987.- 397 с.
52. Холодов В. Н. Геохимия осадочного процесса – М.: ГЕОС, 2006. – 608 с.
53. Холодов В. Н. Типы элизионных систем и связанные с ними месторождения полезных ископаемых. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2013. № 3, С.5-41.
54. Щербань А.Н., Бабинец А.Е., Цырульников А.С., Дядькин Ю.Д. Тепло Земли и его извлечение.-Киев: Наукова Думка, 1974, 264 с.
55. BP to settle federal, state and local Deepwater Horizon claims for up to US \$18.7 billion. Oilfield Technology. July 2015, p. 5.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА ПЛЕНОЧНЫХ (НЕФТЯНЫХ) ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРЯ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Введение

В настоящее время обнаружение, мониторинг и контроль поверхностных (пленочных) загрязнений нефтью и нефтепродуктами не возможен без современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Важную роль в этом мониторинге играют современные радиолокаторы с синтезированной апертурой или РСА (Иванов, 2007; Иванов, 2010). Однако обнаружение и мониторинг нефтяных

загрязнений моря сопряжен с рядом проблем, связанных со спецификой формирования радиолокационных изображений (РЛИ) морской поверхности (Иванов и др., 2011). Основываясь на опыте обнаружения, идентификации и классификации нефтяных загрязнений моря с помощью РСА, возможно провести обобщение основных процессов и явлений в атмосфере и толще воды, приводящих к образованию областей выглаживания на морской поверхности – или сликов и соответственно темных пятен на радиолокационных изображениях морской поверхности (Иванов, 2007; Ivanov 2011). Ниже будут описаны методы распознавания разнообразных сликов и пленочных загрязнений на РЛИ и проблемы, связанные с идентификацией и классификацией пленочных нефтяных загрязнений морских акваторий.

Нефтяные загрязнения наносят значительный ущерб окружающей среде, они оказывают пагубное воздействие на флору и фауну, прежде всего прибрежных районов, нарушая процессы физико-химико-биологического обмена в системе океан-атмосфера, так или иначе, влияют на социально-экономические процессы (Немировская, 2013). Прибрежные регионы, пострадавшие от нефтяного загрязнения, несут огромные материальные потери. Своевременное обнаружение и принятие мер по ликвидации загрязнения может если не предотвратить, то, по крайней мере, снизить ущерб в десятки и сотни раз.

Пленки на поверхности моря наблюдаются практически повсеместно (Немировская, 2013). Антропогенные пленочные загрязнения возникают вследствие ряда причин, среди них наиболее распространенными являются сбросы мочных вод, отработки, льяльных вод, выносы нефти и нефтепродуктов со стоком рек, промышленные и канализационные стоки, аварии на объектах нефтегазового комплекса (НГК) в море (Иванов, 2007). Не стоит исключать из рассмотрения и природные источники нефти, т.н. грифоны, сипы и грязевые вулканы, создающие естественные нефтепроявления.

Назначение методики

Нефтяное загрязнение моря неизбежно сопряжено с любыми операциями по добыче и транспортировке нефти и нефтепродуктов, хотя его масштабы могут быть различны: как незначительными и легко

«перевариваемыми» экосистемами, так и катастрофическими, уничтожающими биоту целых морских регионов. Способность нефти и нефтепродуктов покрывать тонкой пленкой большие акватории моря при сравнительно небольших разливах приводит к тому, что даже незначительный разлив может привести к крайне негативным последствиям (Немировская, 2013).

Усилия по снижению рисков, связанных с разливами нефти, нефтепродуктов и других поверхностно-активных веществ (ПАВ), в целом направлены на внедрение эффективных систем мониторинга, слежения за движением судов и улучшение координации служб мониторинга и оперативного реагирования.

Прорыв в обеспечении экологической безопасности морских перевозок был достигнут благодаря развитию новых технологий ДЗЗ и не представляет технических затруднений. В настоящее время мониторинг акваторий портов, рейдов, морских транспортных узлов и наиболее загруженных судоходных трасс осуществляется с помощью данных ДЗЗ. Особое значение приобретает космический мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов в связи с появлением радиолокационных спутников, позволяющих всепогодно обнаруживать, идентифицировать и отслеживать динамику нефтяных пятен на поверхности того или иного моря.

Использование космических снимков позволяет в сжатые сроки получать информацию о состоянии водной поверхности на больших территориях, выявлять вновь возникающие ареалы загрязнения, отслеживать пути миграции ранее обнаруженных пятен и оперативно передавать полученную информацию в соответствующие службы.

Наиболее эффективным средством для мониторинга загрязнений является радиолокационное зондирование морской поверхности. Привлекательность таких данных, обусловлена возможностью быстрого получения оперативной информации на значительных акваториях в любое время суток с высоким разрешением и/или широким обзором.

Разлившаяся на поверхности моря нефть быстро образует нефтяное пятно, пленка которого гасит мелкомасштабное ветровое волнение (гравитационно-капиллярные волны) и таким образом

формирует области выглаживания, именуемые сликами; эти слики отображаются темным тоном на радиолокационных изображениях (Иванов, 2007). Поэтому для решения задач мониторинга одним из уникальных средств являются радиолокаторы с синтезированной апертурой или РСА, которые формируют радиолокационные изображения поверхности моря – двумерные картины интенсивности рассеяния радиолокационного сигнала.

Методика идентификации основана на анализе сигнатур, возникающих на РЛИ моря из-за рассеяния поверхностью моря радиолокационного сигнала при ее облучении активными СВЧ-сигналами. Возможность дистанционного обнаружения пленочных (нефтяных) загрязнений морских акваторий и их диагностики обеспечиваются изменением физического состояния части поверхности моря, обусловленным изменением волнения под влиянием пленки нефти или нефтепродукта, а именно выглаживанием мелкомасштабных компонент ветрового волнения (Иванов, 2010). Уникальность радиолокационной съемки заключается в ее всепогодности – независимости от естественной освещенности (и таким образом от времени суток), погоды и облачного покрова.

Оперативность оценки является основным требованием к предлагаемой методике, так как традиционные методы наземно-воздушного наблюдения не могут обеспечить достаточно быстрой и качественной обработки получаемых данных и, как следствие, не соответствуют современным требованиям по обеспечению безопасности природной среды.

Цифровая обработка получаемых со спутника радиолокационных данных необходима для повышения оперативности и точности выявления районов загрязнения и оценки качества проводимых работ по ликвидации последствий загрязнения.

Цели и задачи методики

Для достижения обозначенных целей радиолокационного мониторинга необходимо решение следующих задач:

- сбор дополнительной информации об акватории, о прилегающих территориях, о состоянии морской среды (ветер, волнение,

температура поверхности моря и концентрации хлорофилла) на момент съемки;

- выявление загрязнений с учетом возможных источников (добывающих и перерабатывающих нефтяных платформ и скважин, объектов транспортировки нефти, морского транспорта и др.) на основе первичной экспертной оценки;
- классификация загрязнений по типу и виду происхождения;
- построение карт пленочных загрязнений акватории, оценка площадей загрязнения, выявления зон акватории подверженных риску наибольшего загрязнения;
- уточнение и валидация полученных данных, окончательная экспертная оценка на основе научно-обоснованных методов или данных местных органов контроля;
- при проведении многолетнего мониторинга – проведение оценки изменения ситуации посредством сравнения карт, полученных за разные годы.

Исходные данные

В рамках радиолокационного мониторинга могут использоваться следующие данные и материалы:

- архивные радиолокационные снимки спутников ERS-1, ERS-2, Envisat (закончил съемку в 2012 г.) и Radarsat-1 (в 2013г.);
- оперативные радиолокационные снимки спутников Radarsat-2, TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed-1/2/3/4 и др. С 2014г. стало возможно использование данных нового европейского радиолокационного спутника «Sentinel-1A», а ближайшей перспективе (с 2017г.) - данных серии новых спутников Radarsat или Radarsat Constellation Mission;
- растровые и векторные карты, другие дополнительные и гидрометеорологические данные, объединенные в географическую информационную систему (ГИС) или геопортал (Иванов и др., 2014).

Общие закономерности распространения и распределения нефти/нефтепродуктов в морской среде

Нефть и нефтепродукты, попадающие в водную среду естественных водоемов, очень скоро перестают существовать как исходные субстраты. В море нефть находится в различных миграционных формах в виде: поверхностных пленках, эмульсиях, нефтяных агрегатах и комочках, в растворенном виде, а также в форме поглощенной взвесью и донными осадками, и аккумулированной водными организмами (Немировская, 2013). Количественное соотношение этих миграционных форм нефти в море определяется множеством факторов и зависит как от состава и свойств самой нефти, так и условий ее поступления в водоем и его гидрологических особенностей и прочих факторов окружающей среды.

Нефтяные пятна (пленки) – первоначальная форма, которая образуется при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов. Разливы – наиболее сложные и динамичные явления распределения маслянистых примесей в море. В первые часы существования пленок преобладают физические процессы гравитационного растекания и дисперсии, а затем физико-химические процессы – испарение и растворение. Затем нефть под действием ветра и волн может эмульгировать, образуя нефте-водяные и водно-нефтяные эмульсии, и потом диспергирует на отдельные агрегаты и начинает разлагаться под действием микроорганизмов. Образование однородных пленок определяется содержанием высокомолекулярных соединений (смол и асфальтенов), которые слабо трансформируются под воздействием внешних факторов. Например, при содержании асфальтенов более 1% нефть плохо растекается по морской поверхности.

Нефть, как и вода на поверхности перемещается со скоростью, составляющей несколько процентов от скорости ветра. По приблизительным оценкам скорость перемещения нефтяных пленок (дрейф) составляет 60% от скорости течения и 2-4% от скорости ветра.

На сегодняшний день площадь покрытия поверхности океана пленками нефтепродуктов меньше частоты их обнаружения и в среднем не превышает 1%. Их распространение совпадает с трассами морского

судоходства и, особенно с маршрутами ее перевозок. При понижении температуры воды физико-химическое разложение нефти замедляется, что означает, что естественное очищение окружающей среды после разливов нефти в высоких широтах будет длиться значительно дольше, чем в умеренных. Волнение и морские течения обуславливают перемещение и перемешивание нефтепродуктов по акваториям всех морей, что приводит к загрязнению их шельфа, прибрежных зон и побережий.

При перевозке нефти в танкерах и длительном испарении вязкость нефти увеличивается настолько, что часто приводит к формированию смоляных комочков и агрегатов. Нефтяные агрегаты – одна из самых распространенных форм нефтяного загрязнения морей. Нефтяные агрегаты, в итоге попадающие в толщу осадков, долго сохраняются в морской среде, в том числе в прибрежных осадках. Прослойки, состоящие из смеси мазута и песка, при разрыхлении даже в течение года могут привести к образованию slickов на поверхности моря. Глубина захоронения остатков нефти определяется волновой энергией, конфигурацией берега и типом прибрежных отложений. К участкам с обрывистым и берегами из-за волнового отражения нефть не может приблизиться, и побережье практически не загрязняется.

Большое влияние на распределение нефтеуглеводородов в водной толще оказывают гидродинамические условия конкретного района. В зависимости от направления течений и стратификации верхнего слоя моря концентрация углеводородов происходит либо в поверхностном, либо в придонном слое, но в периоды вспышек цветения фитопланктона их содержание существенно меняется.

Содержание нефтеуглеводородов в поверхностном микрослое (интерфейс вода-воздух толщиной 200-300 мкм) значительно превышает их концентрации в «толстом» поверхностном слое, но зависит от режима перемешивания вод. При силе ветра более 3-х баллов оно резко падает.

Методологические основы обработки данных спутникового (радиолокационного) мониторинга

Выбор технических характеристик съемки для задач мониторинга пленочных загрязнений (полоса обзора, поляризация, разрешение, углы падения лучей, периодичность обзора). Радиолокация из космоса – часто единственная возможность оперативного мониторинга состояния водной поверхности благодаря высокой чувствительности радиолокационного сигнала к поверхностной шероховатости (Иванов, 2010). Использование радиолокационных данных позволяет достаточно точно определять положение и площади пленочных загрязнений.

Среди главных преимуществ РСА-съемки отметим:

- РСА на спутниках и космических аппаратах (КА), позволяют получать РЛИ морской поверхности независимо от времени суток, степени освещенности, в любых гидрометеорологических условиях с обзором от 10 до 400-500 км;
- Радиолокационное излучение чувствительно к шероховатости морской поверхности (МП) из-за ветрового мелкомасштабного волнения. Начальные виды волн, образующиеся на МП под действием ветра, называются капиллярными; они имеют длину несколько миллиметров. Пленка на поверхности воды значительно уменьшает интенсивность взаимодействия ветра с поверхностью моря, что приводит к подавлению капиллярных и мелких гравитационно-капиллярных волн. Гашение мелкомасштабных волн нефтяной пленкой приводит к резкому уменьшению рассеяния радиоволн в сторону антенны, что и создает темные пятна на РЛИ.

Для мониторинга антропогенных загрязнений в Каспийском море обычно выбирается режим съемки Wide (широкий) или ScanSAR (сканирующий), номинальное пространственное разрешение при данном режиме съемки 25 и 75 м. Для обнаружения пленочных загрязнений оптимально производить съемку при углах падения 20° - 45° и выбирать вертикальную поляризацию (VV) сигнала.

Для повышения вероятности обнаружения и правильного распознавания нефтяных/пленочных загрязнений, а также для оценки экологического состояния верхнего слоя моря, часто приходится использовать мультиспектральные и оптические съемки низкого, среднего и высокого пространственного разрешения спутников, таких, например, как: Aqua, Terra, Suomi NPP, UK-DMC-2, Landsat, SPOT, EROS-A/B и др. На оптических изображениях этих спутников по локальному изменению цвета моря можно судить, как о наличии пленок нефти, так и состоянии морской среды из-за цветения водорослей, выносов терригенных взвесей и взмучивания вод на мелководьях.

Подходы к дешифрированию радиолокационных изображений. Наиболее важный этап в процессе идентификации нефтяных пятен – выделение пятен на РЛИ (или сегментация РЛИ) и определение набора параметров, их характеризующих. Если пятно-слик имеет хороший набор отличительных параметров, то можно ожидать, что результат классификации будет обнадеживающим, и, наоборот, если слик с трудом удастся выделить путем сегментации, то в этом случае корректная классификация практически невозможна.

Основные отличительные черты пленочных загрязнений для распознавания на РЛИ это четкие границы пятен, ветровая «размазка» вдоль направлению ветра, часто наблюдается перьевидный край с подветренной стороны. В связи с антропогенным происхождением подобные загрязнения чаще всего имеют контекстное окружение – привязаны к судам, морским вышкам, платформам, терминалам и др. объектам НГК, рейдам и портам, устьям крупных рек, региональным или местным судоходным трассам, районам добычи или транспортировки нефти. Для определения источника нефтяного загрязнения используется геоинформационный или ГИС-подход и моделирование дрейфа (Иванов и Затягалова, 2007; Ivanov and Zatyagalova, 2008; Ivanov, 2011).

Процесс выделения пятен нефти и нефтепродуктов стоит из ряда последовательных этапов, на которых обращают внимание на следующие особенности темного пятна-слика на РЛИ и контекстную информацию, а именно:

1. размер (длина и ширина), форма и соотношение длины слик к его ширине;
2. радиолокационный контраст слик-чистая вода;
3. скорость и направление ветра во время съемки;
4. природа края слика: четкая, постепенная, градиентная, перьевидная, и т.п.;
5. наличие связей слик с явлениями в атмосфере и океане, элементами подводной топографии и геоморфологии, отображенными на РЛИ, и ориентация относительно них. Среди них: штилевые области, конвективные и дождевые ячейки, зоны интенсивных осадков, атмосферные внутренние волны, крупные волны и зыбь, внутренние волны, границы течений (сдвиги скорости течения), фронты, вихри, апвеллинг, выносы рек, температурные и соленосные аномалии, области бурного развития фитопланктона (цветение вод), приливные явления, наличие рифов и мелей, подводных грязевых вулканов, грифонов, сипов и т.п.;
6. вовлеченность в поле течений, наличие т.н. филаментов;
7. повторяемость во времени;
8. повторяемость в пространстве наличие групп или кластеров похожих слик, точек их схождения;
9. положение пятна-слика относительно проходящих судов, судоходных трасс, нефтяных месторождений, нефтедобывающих и буровых платформ, выносных терминалов, мест перегрузки нефтепродуктов, подводных нефтепроводов, портов, якорных стоянок, устьев рек, выходов канализационных и сточных систем и т.п.

Некоторые из данных параметров могут быть индивидуальны в зависимости от источника пленочного образования. В общем случае пятна пленочных загрязнений можно классифицировать следующим образом (табл. 7):

Антропогенные (нефтяные) загрязнения – это загрязнения, образованные в результате деятельности НГК на суше и в море. На

РЛИ пленки, образованные в результате антропогенных загрязнений имеют ярко выраженный контраст с морской поверхностью, четкую границу и неоднородную текстуру. Их форма изменчива и не однородна, как правило, антропогенные загрязнения имеют привязку к своему источнику и распространяются в зависимости от направления и скорости ветра и течений. К антропогенным загрязнениям относятся: аварийные разливы (сырая нефть и нефтепродукты), пленочные загрязнения, образованные в ходе деятельности береговых предприятий (нефтепродукты, сточные воды, искусственные ПАВ), выносы с речным стоком (нефтепродукты, сточные воды, ПАВ).

Судовые разливы, вид антропогенных загрязнений, образованных: 1) балластными водами, которыми заполняют танки нефтеналивных судов – в них часто присутствуют следы нефти и нефтепродуктов в смеси с водой; 2) моечными танкерными водами, представляющими собой смеси остатков нефтепродуктов и др. маслянистых веществ с водой, моющими веществами и др. реагентами, образованными в результате мойки танков нефтеналивных танкеров и танкеро-химовозов; 3) отработкой – отходами машинного отделения – смесями нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов (ГСМ) различного типа с водой; 4) трюмными (льяльными) водами, которые скапливаются на днище судов, и в большинстве случаев содержат достаточно большое количество нефтепродуктов, ГСМ и прочих масел и жиров, 5) смесями нефтепродуктов и отходов рыбопереработки (которые содержат животные жиры и характерны в основном для рыболовных судов), и 6) прочими судовыми сточными водами из различных систем судна, которые могут содержать любые биогенные или минеральные масла (например, лакокрасочные вещества, канализационные воды, отходы пищеблока и т.п.). Для судовых разливов характерна линейчатая форма, т.к. они происходят на ходу судна и попадают в кильватерный след; их пленки обычно имеют толщину более 10^{-6} м. После разлива пятна претерпевают сложную трансформацию под действием ветра, волн и течений, со временем становясь менее выраженными. Они имеют небольшие размеры 1–10 км² и существуют на МП от 12 до 36 час. Во многих

случаях их распределение в пространстве маркирует судоходные трассы.

Вероятные антропогенные загрязнения (в том случае, когда разлив имеет характерные форму, текстуру и контрасты, но пространственно не привязан ни к одному из промышленных объектов НГК, т.е. может быть идентифицирован с вероятностью 50%);

Вероятные судовые разливы (в том случае, когда судовой разлив имеет характерную линейчатую или квазилинейчатую форму, но четко не привязан к судну, судовой трассе, якорной стоянке, рейду и т.п.; т.е. может быть идентифицирован с вероятностью менее 50%);

Пленочные загрязнения неизвестной природы (в том случае, когда идентификация природы пленки по ряду причин затруднена).

Ограничения метода радиолокационного зондирования пленочных загрязнений. РСА имеет ряд существенных ограничений, влияющих на надежность обнаружения пленочных загрязнений на поверхности моря. Обнаружение и идентификация пятен на РЛИ зависит как от скорости ветра и состояния водной среды, так и от характеристик самой пленки. При слабом ветре 1-2 м/с морское ветровое волнение не развивается и темные пятна пленочных загрязнений неразличимы на фоне темной (выглаженной) морской поверхности. При сильном ветре более 10 м/с пленочные загрязнения, как правило, исчезают с поверхности моря вследствие активного ветро-волнового воздействия и перемешивания. Для обнаружения нефтяных загрязнений оптимальна скорость ветра от 3 до 6 м/с. В этом случае пленки на фоне однородной «серой» водной поверхности выглядят как обособленные темные пятна.

Таблица 7.

Пленочные загрязнения

Пленочные образования	Поверхностные явления	Места наблюдения	Условия наблюдения	Размеры	Толщина
Антропогенные	Темные, высококонтраст	В прибрежных	Обнаруживаются при	Могут иметь самые	Варьирует

(нефтяные) загрязнения	ные области неоднородной текстуры, однозначно геопрозрачно привязанные к морским и прибрежным объектам НГК.	районах, на шельфе в местах промышленной активности нефтегазового комплекса (НГК)	скорости ветра до 10-12 м/с, существуют на МП от 24 час и более	разнообразные размеры и формы	(толщина пленок аварийных разливов может достигать нескольких мм)
Вероятные антропогенные (нефтяные) загрязнения	Темные области различного контраста и неоднородной текстуры, не имеющие однозначной привязки к объектам НГК				
Судовые разливы	Темные вытянутые области, геопрозрачно привязанные к конкретным судам и/или судовым трассам	Судоходные трассы, якорные стоянки, рейды	Обнаруживаются при скорости ветра до 8-10 м/с, существуют на МП в общем случае от 12 до 24 часов	Обычно от 1 до 10 км ² ; форма, главным образом, линейчатая	>10 ⁻⁶ м
Вероятные судовые разливы	Темные вытянутые области, не имеющие четкой привязки к судам и/или судовым трассам				
	Темные области		Обнаруживаются при	Могут иметь самые	

Пленочные образования неизвестной природы	различного контраста и текстуры	повсеместно	скорости ветра до 6-8 м/с; время существования зависит от природы вещества пленки	разнообразные формы и размеры	Варируется (обычно от нескольких нм до 10^{-3} мм)
---	---------------------------------	-------------	---	-------------------------------	--

Идентификация пленочных загрязнений также затруднена из-за того, что РСА не измеряет какие-либо параметры нефтяной пленки (Иванов, 2007; Иванов и др., 2011). Кроме того, пленочные образования могут быть сформированы не только нефтью и нефтепродуктами, но и разнообразными сликообразующими процессами, имеющими место в верхнем слое моря и придном слое атмосфер – т.н. аэрогидродинамическими процессами и явлениями, а также прочими поверхностно-активными веществами, в т.ч. биогенными (Иванов, 2007) (табл. 8):

Основные из них:

- 1) *Штилевые зоны* (области пониженной скорости ветра или ветрового затишья).

Если скорость ветра по каким-либо причинам падает до нуля, то эта область отобразится на РЛИ темным тоном. На РЛИ области низкой скорости ветра (штилевые области) могут иметь самые разнообразные формы и размеры, однако обычно имеют поперечный размер в большинстве случаев значительно превышающий типичный поперечный размер нефтяных загрязнений, что связано с характерными масштабами изменчивости ветра.

- 2) *Атмосферные гравитационные волны, вихри, конвективные ячейки и др.* Атмосферные гравитационные волны (АГВ) создают на МП сликообразные полосы с периодической структурой. В случае если скорость ветра в поле АГВ у поверхности моря упадет до 1-2 м/с, на изображении появится серия квазипараллельных темных полос или сликов. Валообразные вихри в атмосфере также могут создавать сликовые полосы на МП, но чаще всего количество полос в них

меньше по сравнению с АГВ. Стики, связанные с конвективными процессами в атмосфере, обычно имеют ячеистую (крапчатую) текстуру и ярко выраженную периодическую структуру, более или менее равномерно распределены по акватории, но могут быть организованы в широкие полосы.

- 3) *Дождь и дождевые ячейки.* Отличительные признаки «дождевых» сликов – наличие частичной или полной оторочки (или обрамления) округлой или овальной формы относительно яркого тона, которая часто представляет собой границу распространения шквалистого ветра под мощными кучевыми и кучево-дождевыми облаками.
- 4) *Апвеллинг.* Апвеллингом называется компенсационный подъем более холодных и богатых биогенами вод с глубины в верхние слои океана (моря). В прибрежной зоне он обычно вызывается сгонными ветрами, которые относят поверхностные воды по направлению от берега. Отличительная особенность – привязка к хорошо известным районам распространения апвеллинга в Мировом океане, а также значительные размеры сликовых областей.
- 5) *Морской лед.* Такая форма льда, как ледяное сало, а также другие первоначальные формы льда (нилас, шуга), которые появляются при отрицательной температуре воздуха в относительно спокойных ветровых условиях, могут создавать на РЛИ темные пятна различной формы и размеров. При таянии морского льда вполне вероятно образование тонкой пленки пресной воды и формирование сликов за счет выглаживания мелкомасштабного ветрового волнения в ней. Отличительными признаками является наличие рядом полей (отдельных льдин) дрейфующего или припайного льда, полярное или субполярное местоположение.
- 6) *Внутренние волны.* Стики, создаваемые внутренними волнами (ВВ) на поверхности моря, достаточно хорошо выражены и имеют ярко выраженную периодическую структуру, как и поверхностные проявления АГВ, хотя возникают в разных средах. Анализ РЛИ выявил три типа поверхностных проявлений ВВ в прибрежных зонах: светлые и темные (двойные), только темные (чисто сликовая картина) и только светлые полосы. Так как радиолокационный

контраст уменьшается со скоростью ветра, то для ВВ, распространяющихся в направлении дальности (перпендикулярно направлению полета), при ветрах от слабых до умеренных наблюдаются главным образом двойные или одиночные (темные) сигнатуры; для ВВ, распространяющихся в направлении полета, преобладают одиночные темные полосы.

- 7) *Фронты, вихри и сдвиги скорости течения.* Для их интерпретации обычно привлекают два объяснения: первое, что обычно довольно часто наблюдается в океане, это – скопление пленок ПАВ в конвергентных зонах, связанных с этими структурами. Второй эффект – гидродинамическая модуляция ряби градиентами течений, которая при определенных соотношения скорости течения и скорости ветра может привести к образованию сликовых областей. Отличительная особенность – расположение сликов рядом с сигнатурами океанских фронтов, вихрей или сдвигов скорости течения: они вовлечены в явление, а не игнорируют его.
- 8) *Элементы мелководной и подводной топографии.* Темными пятнами разнообразной формы на РПИ могут отобразиться элементы подводной топографии или прибрежные участки дна, обнажившиеся во время отлива. Это происходит, потому что они имеют выглаженную поверхность по сравнению с окружающим их взволнованным морем из-за влажного илистого грунта. Отличительная особенность – повторяемость пятен во времени в одном и том же месте приливно-отливной зоны или неглубокой прибрежной зоны.

Таблица 8.

Атмосферные и гидрологические процессы и явления, образующие слики на поверхности моря (Иванов, 2007)

Процессы и явления	Проявления на поверхности моря	Места наблюдения	Условия наблюдения
Биогенные пленки пленки или пленки биогенных	серии длинных многокилометровых полос в поле поверхностных	повсеместно в прибрежных зонах с высокой биологической	исчезают при скорости ветра более 4-5 м/с

поверхностно-активных веществ	течений (т.н. филаменты, «муаровые» структура)	активностью и районах апвеллинга	
Первоначальные типы морского льда (ледяное сало, нилас)	темные области различной формы и небольших или средних размеров	главным образом вблизи краев ледовых полей, но также и в открытом море	при ветре не более 4-5 м/с, в полярных регионах в период осенне-зимнего охлаждения
Штилевые зоны	темные области различной формы и с размерами, часто существенно превышающими пятна пленочных загрязнений	повсеместно	ветер меньше 2 м/с
Ветровая тень	темные области, часто округлой формы, наблюдаемые вблизи побережий или непосредственно у берегов	повсеместно вблизи суши, гористых побережий и островов	наблюдаются при скоростях ветра до 15 м/с
Дождевые ячейки	яркие ячейки или полу-ячейки округлой формы с темными пятнами ближе к центру	повсеместно в тропических и субтропических районах	сильный дождь и ветер
Внутренние волны	серии квазипараллельных светло-темных полос, организованные в хорошо выраженные цуги	в основном над шельфом	ветер до 8 м/с
Взаимодействие на сдвигах	отдельные узкие, искривленные полосы	на границах интенсивных течений в открытом	ветер до 8-10 м/с

скорости	переменного контраста	море	
Апвеллинг	темные области крупных размеров	в зонах дивергенций поверхностных течений, вблизи побережий	ветер до 6-8 м/с

Предварительная обработка радиолокационных изображений.

1) Прием данных радиолокационных данных осуществляется на наземные станции. Синтез РЛИ происходит посредством специально программного обеспечения, например, SAR Image PROCESSOR, которое позволяет формировать продукты Level 1 (синтезированное изображение) из файлов формата Level 0 (радиолокационная голограмма). В случае съемок с ИСЗ Radarsat, входными данными являются стандартные RAW Signal Data.

На выходе формируются стандартные продукты Georeferenced Data (Level 1) в соответствующих форматах (xml):

SLC - Single Look Complex product,

SGF - SAR Georeferenced Fine Resolution product (Path Image),

SGX - SAR Georeferenced Extra Fine Resolution product (Path Image Plus),

SCN - ScanSAR Narrow beam product,

SCW - ScanSAR Wide beam product.

Далее производится радиометрическая и геометрическая коррекция изображений.

2) Для углубленной обработки данных используется программа SCANEX IMAGE PROCESSOR (IP), с помощью которой производится картографическая привязка данных к эталону и контрастирование изображений, а при необходимости - сглаживание спекл-шума. Для этого необходимо:

3) Следующий этап обработки – загрузка данных на геопортал (например, «Геомиксер» разработки ИТЦ СКАНЭК). Геопортал в виде интерактивной карты обеспечивает доступ к различным

геопространственным данным, в том числе загруженных самим пользователем, позволяет совмещать различного вида информацию (растровую, векторную, атрибутивную), осуществлять интерактивный анализ РЛИ и выводить результаты анализа на финальную карту. Доступ к геопорталу производится через веб-браузер.

Для размещения растровых данных на геопортале необходимо выполнить процедуру «тайлинга» в программе «Tiling Tools». Эта процедура выполняет пирамидальный алгоритм сегментации изображения, что необходимо для оптимального отображения данных космической съемки при различном их масштабировании в геопортале. Для проведения процедуры необходимо:

4) В качестве дополнительной информации на портал добавляются векторные слои прогнозных полей ветра и слой судовой обстановки. Также имеется возможность добавления атрибутивной информации, других данных, фото и видео файлов, др. необходимой информации.

Загрузка всех данных производится непосредственно в браузере. В настоящее время реализуется автоматическая загрузка данных на геопортал сразу после предварительной обработки изображений.

Тематическая обработка. После загрузки данных на геопорталы проводится тематическая обработка и экспертный анализ, а именно:

- общая экспертная оценка РЛИ на предмет обнаружения пятен (простая/сложная сцена);
- оценка гидрометеорологической (ветер/волнение/течения, наличие льда, биогенных пленок ПАВ) и судовой обстановки; анализ доступной подспутниковой (наземной) метеорологической информации и др. доступных данных;
- интерактивное выделение всех пятен пленочных загрязнений среди прочих сликообразующих явлений;
- идентификация пятен (т.е. – пленочное или не пленочное загрязнение, наиболее вероятный тип: нефть, нефтепродукты, судовой сброс и т.п.);
- классификация идентифицированных пятен с привязкой к возможному источнику загрязнения на берегу или на море (нефтяной

разлив, судовой разлив, речной вынос и т.д., привязанный к конкретному терминалу/нефтеперерабатывающему заводу/базе, судну, устью реки, местам сброса канализации/сточных вод и т.п.);

- определение площади и координат геометрического центра разлива(ов);
- определение местоположения (координаты) судов, которые могут быть причастны к сбросам. Идентификация судна, причастного к разливу (вероятному разливу) проводится как на РЛИ, так и по данным систем автоматической идентификации судов (АИС), которые содержат полную информацию о судне, а именно: название, габариты, скорость, курс следования, флаг и др. данные.
- при необходимости моделирование дрейфа с помощью различных доступных программ. Для установления источника загрязнения дополнительно проводится моделирование дрейфа пятна назад во времени; в особых случаях, когда пятно наблюдается в районе, близком к охраняемому участку или при аварийной ситуации, используется моделирование, позволяющее прогнозировать дрейф пятна.

В настоящее время на поверхности океана, морей и внутренних водоемов практически повсеместно встречаются два типа веществ, формирующих пленочные слики, это – поверхностно-активные вещества – ПАВ и нефтеуглеводороды (НУ). Особенно часто они наблюдаются в прибрежных зонах и районах с повышенной биологической активностью. Вещества, формирующие пленки на поверхности моря можно разделить на две главные категории: естественные (натуральные), т.е. образующиеся в море или естественным способом в него поступающие, и искусственные, обусловленные хозяйственной деятельности человека (рис.18).

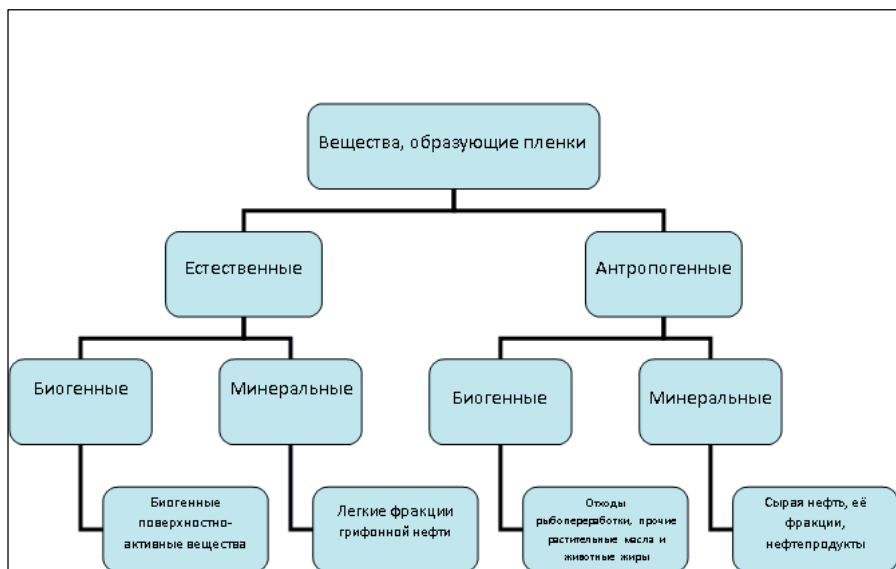


Рис. 18. Обобщенная схема классификации веществ, образующих пленки на морской поверхности (Иванов, 2007).

Натуральные биогенные пленки образуются в море в результате жизнедеятельности гидробиоты, главным образом планктона и рыб, а также в районах нереста и размножения морских животных. Грифоны, грязевые вулканы, сипы (англ. seep – просачивание) и т.п. геологические структуры на морском дне естественным образом выбрасывают в море большое количество углеводородов (газов и нефти) минерального происхождения.

Антропогенное загрязнение моря НУ в основном связано с хозяйственной деятельностью береговых предприятий, нелегальным сбросом разнообразных нефтепродуктов; выносом с речным стоком, авариями нефтеналивных судов. И, наконец, биогенное антропогенное загрязнение включает в себя сброс продуктов рыбопереработки и разнообразных отходов пищевой промышленности, содержащих природные жиры и масла, с судов и побережья.

Принципы идентификации пленочных загрязнений на РЛИ

Наиболее важный этап в процессе идентификации нефтяных пятен – выделение пятен на РЛИ (сегментация РЛИ) и определение набора параметров, их характеризующих. Если пятно-слик имеет хороший ряд отличительных параметров, то можно ожидать, что результат классификации будет прекрасным, и, наоборот, если слик с трудом удается выделить путем процедуры стандартной сегментации, то в этом случае корректная классификация практически невозможна.

Визуальные и интерактивные методы анализа данных космической радиолокации – это обнаружение и классификация пятен на РЛИ с активным участием оператора; в настоящее время они используются повсеместно (Иванов, 2007). Для этого проводят предварительную обработку РЛИ, а затем визуальное или машинное выделение темных пятен похожих на нефтяные загрязнения. Обычно она включает набор стандартных последовательных процедур, таких как радиометрическая коррекция (радиометрическое выравнивание яркости РЛИ в направлении наклонной дальности), геометрическая коррекция по орбитальным данным, географическая привязка изображений и сглаживание спекл-шума путем фильтрации изображений. Далее оператор на основании своего опыта использует тот набор типичных признаков, который достаточно полно характеризуют обнаруженное пятно, например, таких как форма и размер пятна, радиолокационный контраст, однородность/неоднородность фоновой поверхности моря, гидрометеорологические условия (скорость и направление ветра), характеристики краев пятна (четкие, нечеткие, перьевидные) наличие рядом биогенных филаментов пленок ПАВ, положение РЛИ относительно берега, объектное окружение (буровые платформы, суда и т.п.), время года и суток. Обнаруженным пятнам присваивается низкий, средний или высокий уровень достоверности.

Особенности дешифрирования антропогенных пленочных загрязнений в Каспийском море

Идентификация пленочных загрязнений в Каспийском море проводится/проводилась по данным космической радиолокации –

данных радиолокационных спутников Envisat, Radarsat-1 и Radarsat-2. Для данной акватории спутниковая радиолокация является незаменимым средством мониторинга еще и из-за географического местоположения региона. Поскольку Астрахань и др. приморские города являются крупными портами России, радиолокационный мониторинг необходимо вести круглогодично. Съёмку желательно проводить в маловетреную погоду, при скорости ветра не более 3-6 м/с. Для северной части моря наиболее характерны антропогенные загрязнения – судовые разливы, связанные, главным образом, с судоходством и время от времени – с рыболовством. На поверхности моря в основном наблюдаются тонкие пленки, они неустойчивы и разрушаются при увеличении ветра более 6-7 м/с (пленки сырой нефти и её эмульсий могут сохраняться до 9-12 м/с) и существуют на поверхности не более суток. Эти пленки на радиолокационных изображениях выглядят как темные образования и обычно привязаны к судовым трассам; их пятна-слики имеют четкие границы в начале образования и более размытые в конце, линейчатую или более компактную форму.

Поскольку Астрахань является одним из крупных транспортных узлов России, в районе Астраханского рейда сходятся оживленные судоходные трассы. Суда, подходящие к Астраханскому каналу, оставляют за собой кильватерные следы, которые сохраняются некоторое время после прохождения судов. Благодаря его гидродинамическим свойствам, нередко антропогенные пленки концентрируются в нем. Это явление наблюдается также на ряде радиолокационных изображений. Под действием ветра и гидродинамических процессов пленки вытягиваются по направлению к открытому морю, и концентрируются вдоль кильватерных следов, образуя линейчатые, вытянутые вдоль судоходных трасс линейчатые сигнатуры с четкими границами. Однако достаточно часто наблюдается отдельные округлые пятна небольшой формы, которые обусловлены единичными сбросами.

Учитывая сложное очертание дельты р. Волга, на поверхности акватории северной части характерно частое образование локальных областей, покрытых плавающими макро-водорослями, а также зон ветрового затишья. На радиолокационных изображениях они также

выглядят как темные образования, примыкающие к берегам или рукавам дельты. Зоны ветрового затишья образуются, как правило, повсеместно у высоких подветренных берегов, имеют характерную форму и чаще всего нечеткие границы (характерны для западного, более возвышенного берега от Махачкалы до Дербента). Следует заметить, что они крайне затрудняют обнаружение пленок нефти и нефтепродуктов в заливе.

На границе северной и средней частей и в юго-западной части Каспийского моря наблюдаются естественные нефтепроявления, обусловленные периодической (или эпизодической) работой подводных грифонов, сипов и грязевых вулканов. Они имеют характерные сигнатуры (в виде клякс, запятых, зигзагов, полукругов и даже петель – под действие поля течений), что позволяет их уверенно детектировать среди прочих сликовых образований на поверхности моря (Иванов, 2007; Иванов и др., 2007; Голубов и Иванов, 2014; Иванов и др., 2014; Иванов и др., 2015). В этих случаях анализ РЛИ должен проводиться по специальной схеме с учетом окружающей обстановки и возможного присутствия сликоподобных явлений иной природы. В частности, обнаружение и идентификация естественных нефтепроявлений (их сликов) должно проводиться с учетом их формы, размеров, степени кластеризации (повторяемости во времени и пространстве в одном и том же месте), наличия двойных-тройных (повторяющихся) сигнатур и т.н. точек всплытия (часто небольшие кляксообразные «утолщения» в местах всплытия), и, самое главное, по их пространственной привязке к достоверно известным или предполагаемым источникам на дне (Иванов и др., 2007). Более того, их пленки, имея значительно большую толщину, чем пленки биогенных ПАВ, существуют на поверхности моря в более широком диапазоне скоростей ветра – до 6-7 м/с, т.е. наблюдаются и тогда, когда биогенные пленки уже исчезли с водной поверхности. На заключительном этапе обработки сами РЛИ, векторные слои пятен и необходимая для анализа информация должна объединяться в каком-либо веб-картографическом сервисе, позволяющего размещение и интерактивный анализ всей совокупности геопространственных данных (Иванов и Затыгалова, 2007; Иванов и др., 2014).

Наконец различные аспекты мониторинга пленочных загрязнений в Каспийском море приведены и обсуждаются в работах (Иванов и др., 2004; Иванов и др., 2007; Востоков и Иванов, 2007; Иванов и др., 2011; Иванов и др., 2012; Голубов и Иванов, 2014; Иванов и др., 2014; Иванов и др., 2015; Бакун и др., 2015; Иванов и др., 2016).

Литература к разделу

1. Бакун О., Евтушенко Н., Иванов А., Филимонова Н. Многолетний спутниковый контроль экологической обстановки в северной части Каспийского моря // *Земля из космоса*, 2015. № 4(20). С. 27-31.
2. Востоков С.В., Иванов А.Ю. Применение методов спутникового зондирования для мониторинга нефтяного загрязнения и экологического состояния морской среды в местах добычи и транспортировки нефти в Каспийском море // *Морские испытания*, 2007. № 2. С. 28–38.
3. Голубов Б.Н., Иванов А.Ю. Активизация выбросов нефти из недр Северного и Среднего Каспия в апреле-июне 2012 г. по спутниковым и геолого-геофизическим данным // *Исслед. Земли из космоса*, 2014а. № 2. С. 67–81.
4. Голубов Б.Н., Иванов А.Ю. Новообразованные очаги выбросов нефти из недр Северного и Среднего Каспия по спутниковым и геолого-геофизическим данным // *Электронное научное издание «Альманах Пространство и Время»*, 2014б. Т. 5. Вып. 1. Ч. 2: «Пространство и время Каспийского Диалога».
5. Иванов А.Ю., Востоков С.В., Ермошкин И.С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря) // *Исслед. Земли из космоса*, 2004. № 4. с.82-92.
6. Иванов А.Ю. Стики и плёночные образования на космических радиолокационных изображениях // *Исслед. Земли из космоса*, 2007. № 3. С. 73–96.
7. Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Затягалова В.В. О нефтегазоносности и разгрузке подземных флюидов в южной

- части Каспийского моря по данным космической радиолокации // *Исслед. Земли из космоса*, 2007. № 2. С. 62–81.
8. Иванов А.Ю., Затягалова В.В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем // *Исслед. Земли из космоса*, 2007. № 6. С. 46–63.
 9. Иванов А.Ю. О восстановлении параметров морской среды по данным космических РСА // *Исслед. Земли из космоса*, 2010. № 3. С. 77-92.
 10. Иванов А.Ю., Достовалов М.Ю., Синёва А.А. Определение параметров нефтяных загрязнений по данным космической поляризационной радиолокационной съемки в районе нефтепромыслов «Нефтяные Камни» в Каспийском море // *Исслед. Земли из космоса*, 2011. № 5. С. 31–44.
 11. Иванов А.Ю., Исмагулов А.Л., Филимонова Н.А., Антонюк А.Ю., Евтушенко Н.В. Спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений в Северном Каспии как элемент системы мер промышленной безопасности и охраны окружающей среды // *Oil & Gas Journal Russia*, 2012. № 3.
 12. Иванов А.Ю., Колмыков Е.В., Бобков А.А. и др. О характере и причинах возникновения мелкомасштабных пленочных slickов в Северном Каспии, обнаруженных по данным спутникового радиолокационного мониторинга // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*, 2014а. № 12. С. 17-22.
 13. Иванов А.Ю., Потанин М.Ю., Филимонова Н.А., Евтушенко Н.В., Антонюк А.Ю. Оперативный мониторинг морских акваторий: новые геоинформационные решения и интернет технологии // *Земля из космоса – наиболее эффективные решения*, 2014б. 2(18). С. 30-38.
 14. Иванов А., Голубов Б., Евтушенко Н., Терлеева Н. Картирование нефтепроявлений и признаков нефтегазоносности недр Южного Каспия из космоса // *Земля из космоса*, 2015а. № 4(20). С. 20-26.
 15. Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Терлеева Н.В. Сравнительный анализ распределения естественных нефтепроявлений в юго-западной части Каспийского моря по данным космической

- радиолокации с оценкой нефтегазоносности недр // *Исслед. Земли из космоса*, 2015б. № 6. С. 47-61.
16. Иванов А.Ю., Кучейко А.А., Филимонова Н.А. и др. Многолетнее пространственно-временное распределение пленочных загрязнений в Черном и Каспийском морях по данным космической радиолокации: сравнительный анализ // *Исслед. Земли из космоса*, 2016 (в печати).
17. Немировская И.А. Нефть в океане. Загрязнение и природные потоки. – М.: Научный мир, 2013. 428 с.
18. Ivanov A.Yu. Remote sensing of oil films in the context of global changes. In: *Remote Sensing of the Changing Oceans*. Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 2011. p. 169–194.
19. Ivanov A.Yu., Zatyagalova V.V. A GIS approach to mapping oil spills in a marine environment // *Int. J. Remote Sens.*, 2008. Vol. 29. N 21. P. 6297–6313.

Люблю книги
ljubljuknigi.ru



yes
I want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов!
Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на
www.ljubljuknigi.ru

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.ljubljuknigi.ru

OmniScriptum Marketing DEU GmbH
Heinrich-Böcking-Str. 6-8
D - 66121 Saarbrücken
Telefax: +49 681 93 81 567-9

info@omniscrptum.com
www.omniscrptum.com

OMNIScriptum



