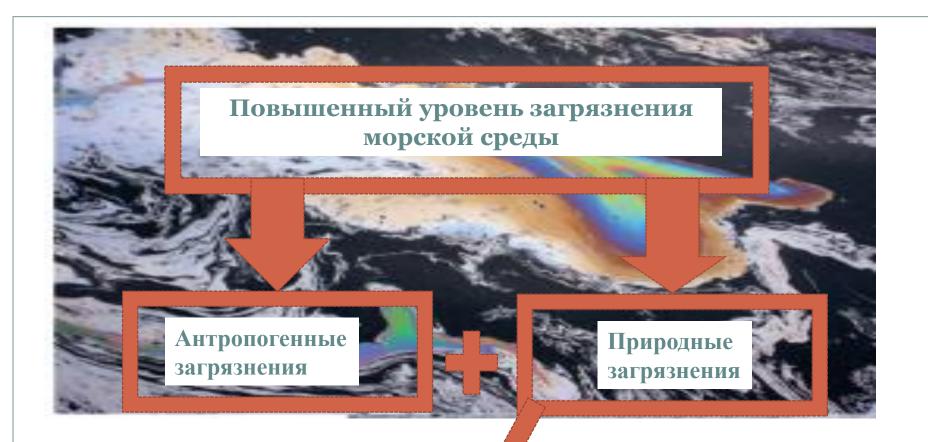
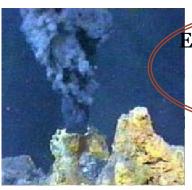
НЕФТЯНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВЫХОДОВ УГЛЕВОДОРОДОВ С МОРСКОГО ДНА: СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

М.И. Митягина*
Институт космических исследований РАН









Естественные выходы углеводородов с морского дна

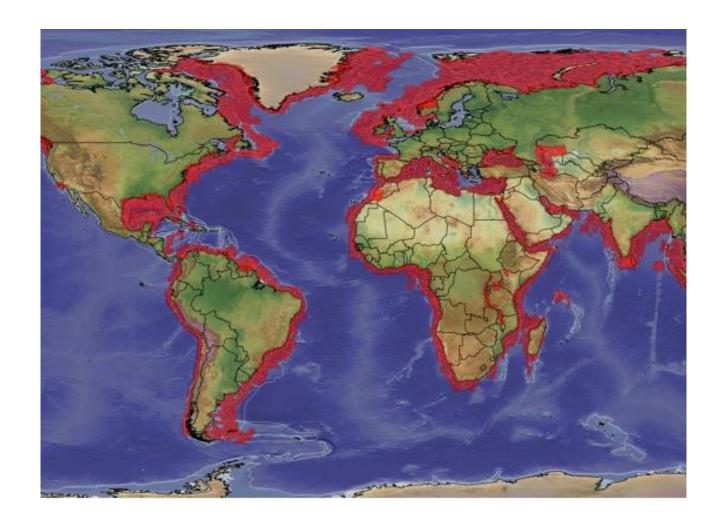


Интерес к определению районов естественных проявлений углеводородов на морском дне и установлению причин их возникновения определяется следующим:

- 1) Вероятное наличие связи между естественными проявлениями углеводородов с морского дна и нефтяными и газовыми месторождениями, что превращает эти уникальные явления в своего рода критерий нефтегазопоиска
- 2) Знание районов локализации естественных проявлений углеводородов необходимо и для выбора безопасных мест строительства подводных инженерных сооружений
- 3) Естественные проявлений углеводородов являются постоянно действующими источниками загрязнения, которые необходимо учитывать при оценке экологического состояния акваторий и принимать во внимание при исследовании синоптических и климатических изменений океана.

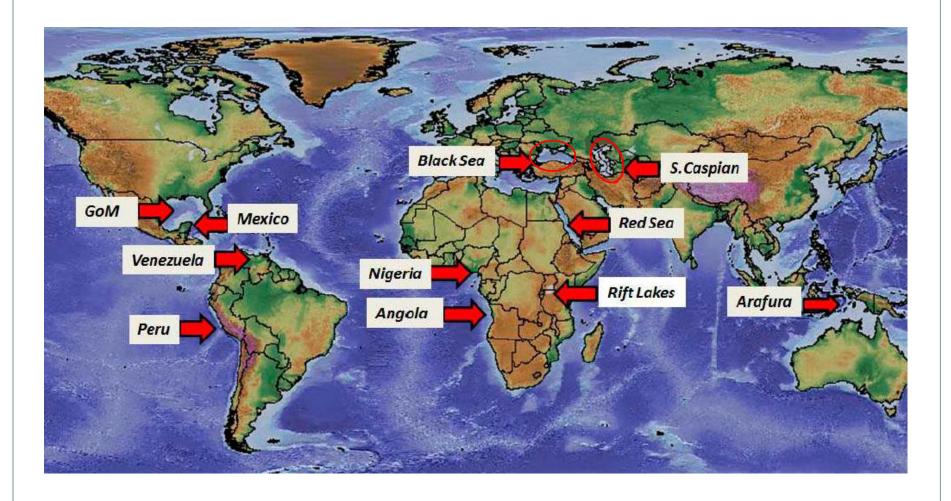


GLOBAL OFFSHORE SEEPS DATABASE





«ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ» СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ



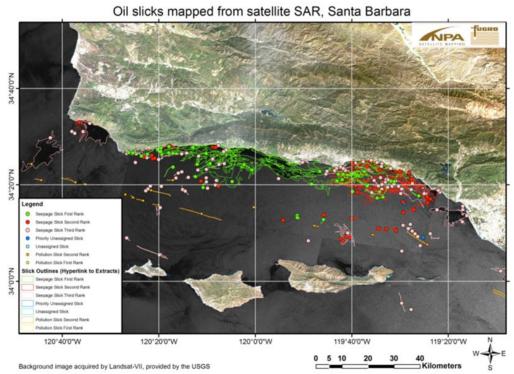




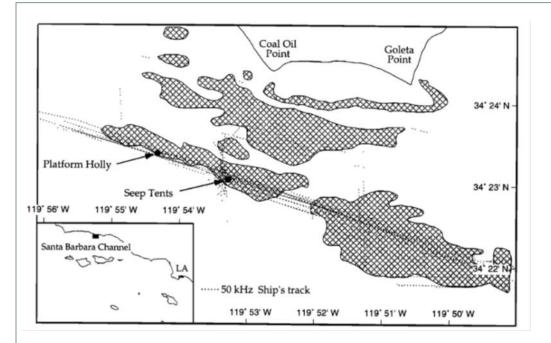
The largest natural oil and gas seeps in the Western Hemisphere lie in the Santa Barbara Channel.

According to the California State Lands Commission, they comprise more than 1,200 of the over 2,000 active submarine seeps along the California coast.

MARINE SEEPS IN THE SANTA BARBARA CHANNEL







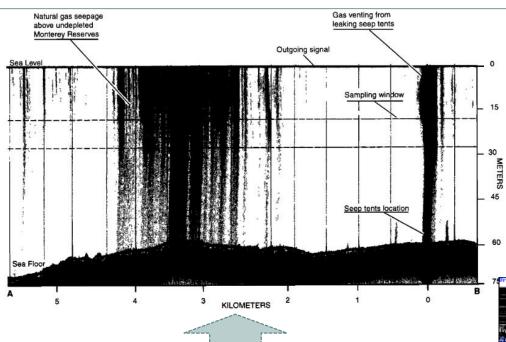
NATURAL OIL SEEPS OFF COAL OIL POINT (COP), CALIFORNIA

The most intense area of natural seepage in the Santa Barbara Channel is the Coal Oil Point seep field about 15 km west of the city of Santa Barbara. These seeps were observed by the earliest Spanish settlers and English explorers

Coal Oil Point seeps about 7,800 to 8,900 tonnes of oil per year.

To account for seeps likely to be present elsewhere in the Santa Barbara Channel and the offshore Santa Maria and Santa Monica Basins, the total oil seepage offshore southern California is now estimated to be about twice the seepage at Coal Oil Point, or about 17,000 tonnes annually, rounded to one significant figure of 20,000 tonnes of oil per year.

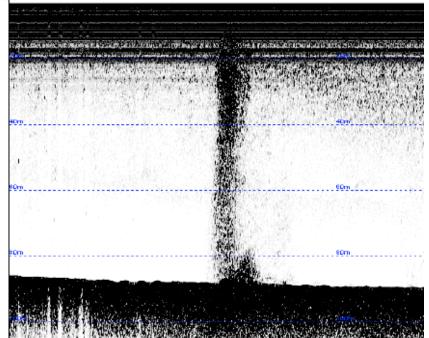




NATURAL OIL SEEPS OFF COAL OIL POINT (COP), CALIFORNIA

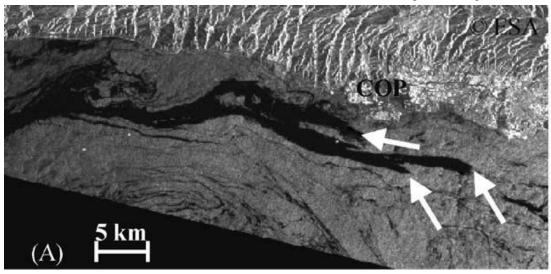
A 50 kHz sonar record along the offshore from Coal Oil Point

Example of an acoustic anomaly recorded by a 12 kHz echo sounder and interpreted to be from gas bubbles rising through the water column from a depth of about 90 m. Note that the gas-bubble train (water-column anomaly) extends as a straight line from a mound on the seafloor to the surface.

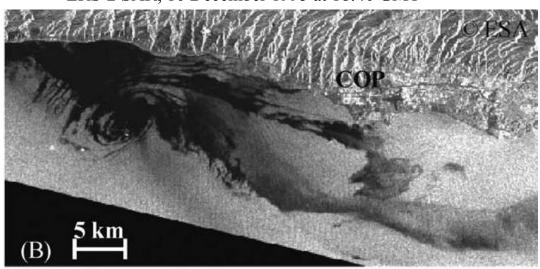




NATURAL OIL SEEPS OFF COAL OIL POINT (COP), CALIFORNIA



ERS-2 SAR, 10 December 1995 at 18:40 GMT



ERS-1 SAR, 13 January 1996 at 18:40 GMT Ref: DiGiacomo et al 2004



THE SANTA BARBARA CHANNEL



Photographs showing fresh tar residue at Coal Oil Point.

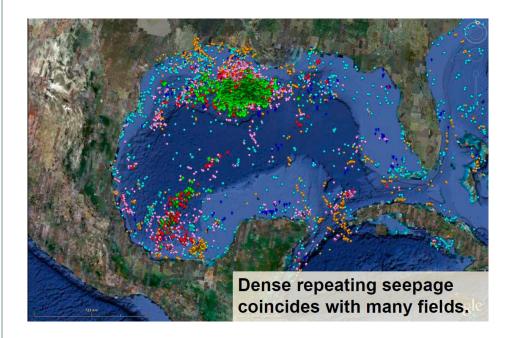


Photograph showing tarball morphology typically found on Santa Barbara County's northern beaches and rocks.

The natural oil and gas seeps beneath the Santa Barbara Channel cause petroleum to drift to the ocean's surface, producing a persistent oil slick that's usually carried north and west by ocean currents, generally coming ashore between Santa Barbara and Gaviota. As the oil rises to the surface and floats, it coagulates and biodegrades into tar. This is the same tar that is found on the beaches along the Santa Barbara coastline.



THE GULF OF MEXICO



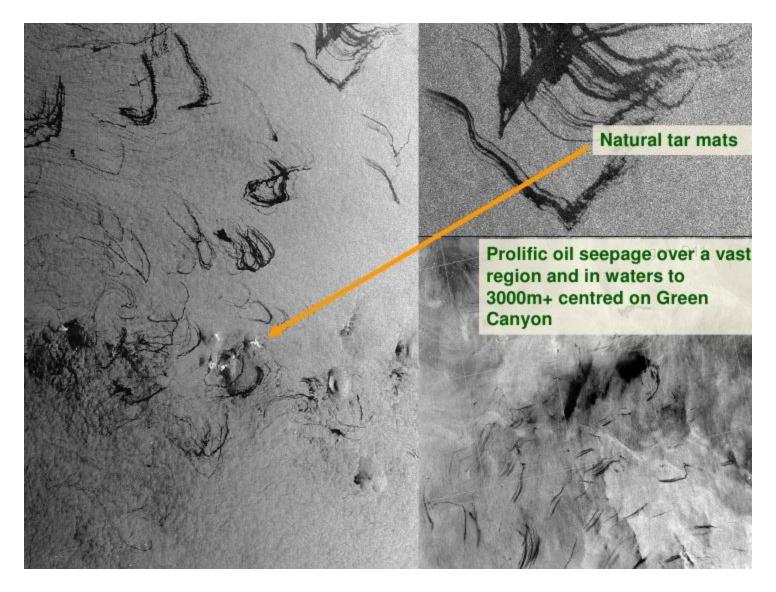
A satellite survey published in January of 2000 counted at least 600 natural oil seeps within the Gulf of Mexico. And they release a lot of oil.

The SAR images indicate that water is covered with oil amounts to,

- a) conservatively ~850 sq. km of the in the northern Gulf of Mexico
- b) and ~150 sq. km in the southern Gulf of Mexico.
- 1. Mitchell, R., MacDonald, I. R. & Kvenvolden, K. Estimates of total hydrocarbon seepage into the Gulf of Mexico based on satellite remote sensing images. EOS Supplement 80, OS242 (1999).
- 2. MacDonald, I. R. et al. Asphpalt volcanism and chemosynthetic life, Campeche Knolls, Gulf of Mexico. Science 304, 999-1002 (2004).

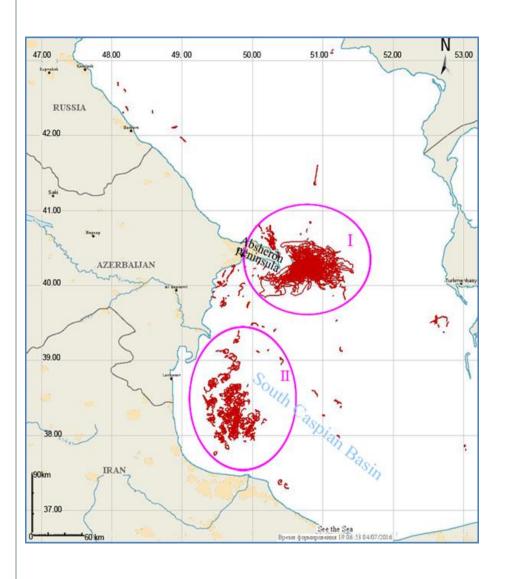


THE GULF OF MEXICO





КАСПИЙСКОЕ МОРЕ



Картина поверхностных загрязнений Каспийского моря нефтесодержащими пленками предопределена природными особенностями Каспийского моря, главной из которых является наличие больших запасов нефти и газа в его недрах.

Каспий относится к крупнейшим нефтяным провинциям мира, и именно в этом регионе был создан один из первых в мире морских промыслов.

Со дна Каспийского моря осуществляется основная часть всей добычи нефти и газа в Азербайджане.

Два основных района наиболее интенсивного загрязнения морской поверхности Каспийского моря:

- 1) области Апшеронского и Бакинского архипелагов
- 2) западный борт Южно-Каспийской впадины





АZERBALIAN 40°23 Нефтяные Камни 40°17 40°05 39°59

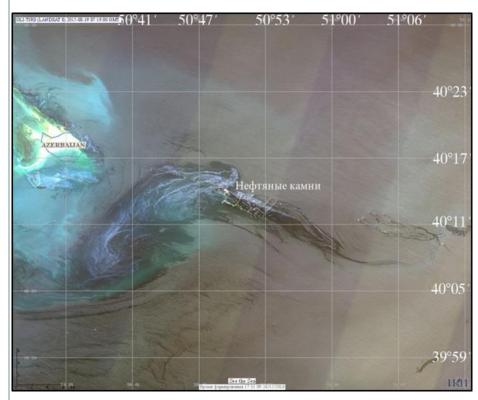
Sentinel-1A SAR. 11.06.2015, 14:28 UTC $S=290 \text{ km}^2$

РАЙОН НЕФТЕДОБЫЧИ НЕФТЯНЫЕ КАМНИ

- ➤ Морское месторождение Нефтяные Камни, расположено в акватории Каспийского моря, 42 км к юго-востоку от Апшеронского полуострова, 100 км от Баку
- Разработка этого месторождения началась в 1949 году. Для того, чтобы создать основания буровых платформ, было затоплено семь списанных кораблей, в том числе и первый в мире самоходный металлический нефтеналивной танкер, построенный в 1877—78 годах по заказу «Товарищества братьев Нобель» для доставки керосина наливом из Баку в Царицын (ныне Волгоград) и Астрахань.
- ➤ Сейчас Нефтяные Камни это более двухсот стационарных платформ, связанных между собой эстакадами общей протяжённостью 350 километров.



РАЙОН НЕФТЕДОБЫЧИ НЕФТЯНЫЕ КАМНИ



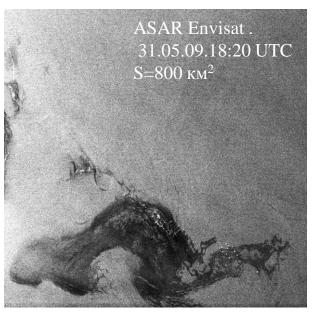
OLI-TIRS UC3 Landsat-8. 19.08. 2015, 07:19 UTC $S = 330 \text{ km}^2$

В области солнечного блика, нефтесодержащие плёнки имеют повышенную яркость и проявляются как светлые структуры, окружённые тёмным ореолом

- ➤ Непрерывное загрязнение морской поверхности нефтью в районе Нефтяных Камней обусловлено в основном не утечками в процессе нефтедобычи или устарелым оборудованием, а поступлением нефти из естественных и искусственных грифонов (выход нефти на поверхность моря).
- ➤ Естественные выходы нефти на поверхность моря в этом районе были известны задолго до начала нефтедобычи. Нефть просачивалась по трещинам из выступающей над поверхностью моря каменной гряды Чёрные камни, которая позже получила новое название Нефтяные камни.
- ➤ Образование искусственных грифонов является характерной особенностью процесса морской разведки и нефтедобычи.
- ➤ За время разбуривания месторождения "Нефтяные камни" до 1958 г. грифонообразование имело место в 37 скважинах. При этом грифоны некоторых скважин действовали от нескольких дней до 2 лет, а количество выбрасываемой нефти во время действия грифона колебалось от 100 до 500 т в сутки [Маилян, 1966].
- У И сегодня искусственные грифоны остаются одним из источников нефтяного загрязнения Центрального Каспия.





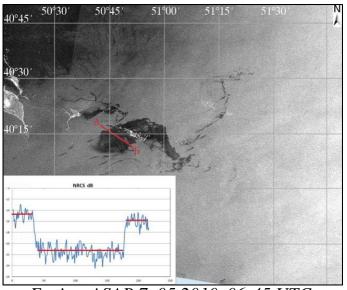


РАЙОН НЕФТЕДОБЫЧИ НЕФТЯНЫЕ КАМНИ

- ▶ Практически на всех спутниковых изображениях района нефтедобычи идентифицируются нефтяные пятна, причем следы нефти выявляются зачастую на площади более 800 км² вокруг морских буровых платформ.
- Размер и направление распространения пятна зависят в основном от метеоусловий.
- ▶ Район месторождения «Нефтяные Камни» может выступать в роли своеобразной естественной лаборатории, где можно исследовать: влияние ветра и течений на распространение нефтяного пятна, а также зависимость формирования радиолокационных образов нефтяных загрязнений от условий наблюдения.



РЛИ Sentinel-1A SAR, 29.05.2015, 02:43 UTC $S=375 \text{ км}^2$



Envisat ASAR 7 .05.2010, 06:45 UTC,

 $S = 290 \, \text{км}^2$

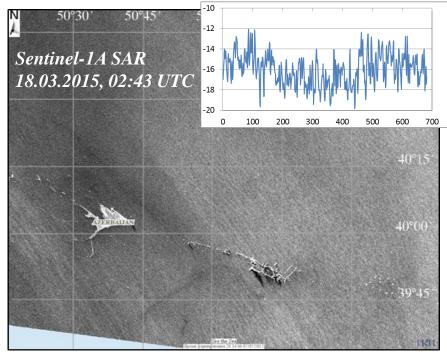
РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ОБРАЗЫ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ УМЕРЕННЫХ ВЕТРАХ

Нефтяная плёнка, покрывающая морскую поверхность и образующая сликовую область, проявляется на РЛИ в виде обширных темных областей пониженного рассеяния на фоне относительно светлой взволнованной морской поверхности.

Ослабление интенсивности обратно-рассеянного радиолокационного сигнала в сликовой области достигает 2 - 11 dB, что определяется толщиной поверхностной плёнки, скоростью приповерхностного ветра, а также поляризацией зондирующего сигнала



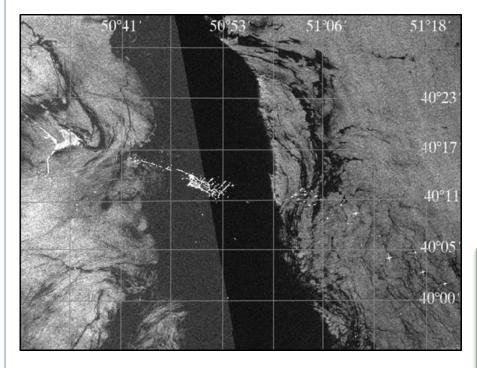
РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ОБРАЗЫ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ СИЛЬНОМ ВЕТРЕ / АКТИВНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССАХ В ПРИВОДНОМ СЛОЕ



Относительно небольшое нефтяное загрязнение морской поверхности площадью около $4~{\rm km}^2$, идентифицируется в непосредственной близости от нефтедобывающей платформы

- Сильный приповерхностный ветер (более 9-10 M/cсочетании развитым поверхностным препятствует волнением развитию обширного слика, т.к. при больших скоростях ветра поверхностные пленки, как нефтяные, так и биогенные, начинают разрушаются под воздействием ветра быть волнения не всегда МОГУТ идентифицированы на спутниковых РЛИ.
 - Вариации поля приповерхностного ветра, обусловленные конвективными движениями в приводном слое атмосферы, приводят к появлению на РЛИ ячеистых структур.
- ▶ В результате совокупного влияния описанных выше факторов нефтяное загрязнение слабо проявляется на спутниковом РЛИ различим только очень небольшой участок пониженного рассеяния в непосредственной близости от платформы.
- Вариации интенсивности обратнорассеянного сигнала, связанные с присутствием нефтяной плёнки на морской поверхности в этом случае невелики и составляют примерно 1,5-2 дБ

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ОБРАЗЫ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ СЛАБЫХ ВЕТРАХ



Фрагмент РЛИ ASAR Envisat от 4 июня 2015, 02:43 UTC, полученного над районом нефтедобычи Нефтяные Камни в условиях слабого приповерхностного ветра.

Выявить на этом РЛИ нефтяное загрязнение вокруг платформ, а тем более, установить его площадь, не представляется возможным.

На РЛИ, полученных в условиях слабого приповерхностного ветра, выявляются обширные тёмные области пониженного рассеяния.

При слабом ветре или его отсутствии гравитационно-капиллярная компонента поля поверхностного волнения, ответственная за Брегговское резонансное рассеяние, может не успеть развиться, что приводит к значительному ослаблению интенсивности обратно-рассеянного сигнала.

На РЛИ, полученных в условиях слабого приповерхностного ветра, присутствует много областей пониженного рассеяния, не связанных с наличием на морской поверхности нефтяной пленки, что значительно повышает вероятность «ложной тревоги» при мониторинге нефтяных загрязнений, а также приводит к завышению их площади

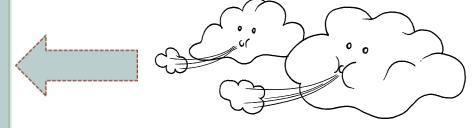


Площадь нефтяного загрязнения, определяемая исключительно по радиолокационным данным может оказаться ЗАВЫШЕННОЙ, если данные получены при слабых ветрах или в штилевых условиях



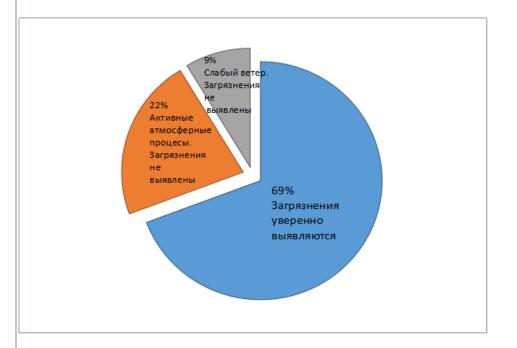


Площадь нефтяного загрязнения, определяемая исключительно по радиолокационным данным может оказаться ЗАНИЖЕННОЙ, если данные получены в присутствии значительных возмущений в приводном слое атмосферы





ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБРАЗОВ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ

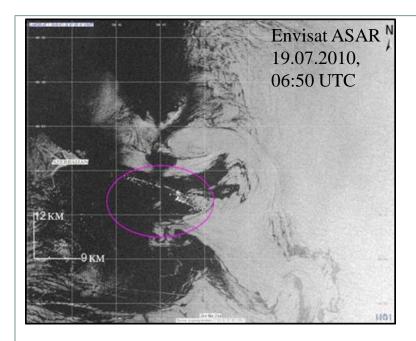


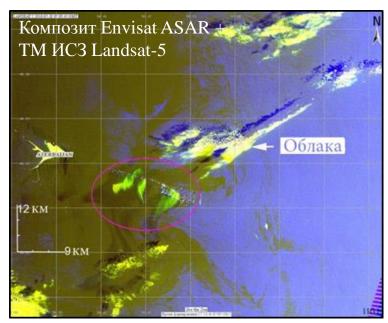
69% случаев - нефтяное загрязнение с уверенностью выявляется.

22% случаев - нефтяные загрязнения не выявлены, потому что их проявления маскировались радиолокационными образами активных атмосферных процессов либо потому, что съемки проводились в условиях сильного приповерхностного ветра.

9% случаев - на момент съемки в районе интереса наблюдался слабый приповерхностный ветер или условия, близкие к штилевым. На РЛИ присутствует обширная область пониженного рассеяния и уверенно выделить нефтяное загрязнение не удаётся.





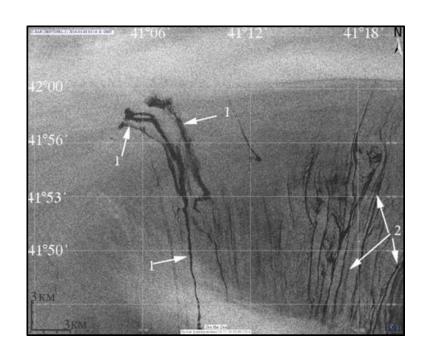


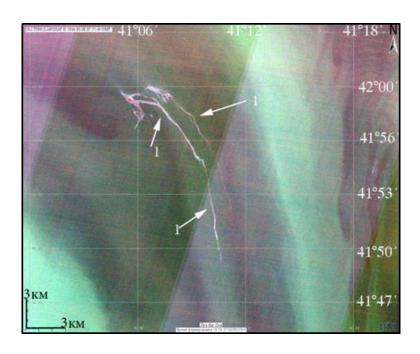
СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

Привлечение к анализу данных, полученных сенсорами оптического диапазона в зоне солнечного блика в близкое время над тем же районом, позволяет выделить нефтяные пятна и исключить области ослабления ветра.



СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА



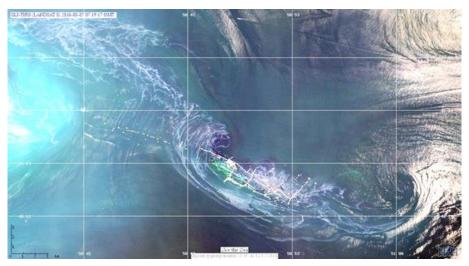


Пример совместного анализа радиолокационного и оптического изображений.

- а Фрагмент РЛИ Sentinel-1A SAR от 8.03.2016, 03:16 UTC;
- б фрагмент цветосинтезированного изображения сенсора Landsat-8 OLI (4, 2 и 1 спектральные каналы) от 8.03.2016, 07:55 UTC.
- 1—нефтесодержащие поверхностные плёнки;
- 2—биогенные плёнки



ВЛИЯНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ



OLI-TIRS UC3 Landsat-8, 5.08.2016, 07:19 UTC

Вовлеченные в вихревые движения пленки распространяются в северо-западном направлении на расстояние до 20 км и в юговосточном направлении на расстояние до 10 км. Площадь загрязнения 200 кв. км.

Факторы, оказывающие наибольшее влияние на размер, форму и направление распространения нефтяного загрязнения в окрестности нефтедобывающей платформы:

- > приповерхностный ветер;
- > поверхностные течения.

Район Апшеронского полуострова — это самый бурный район на всей акватории Каспийского моря.

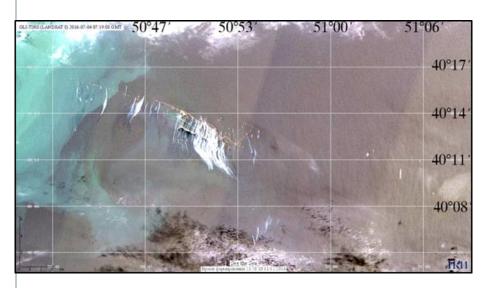
Орографический и мысовой эффекты создают благоприятные условия для развития ветра, наблюдаются частые штормовые ветры.

Система поверхностных течений является сложной и отличается неустойчивостью.

Наблюдаются высокие скорости поверхностных течений, между о. Жилой и Нефтяными Камнями, например, скорость поверхностных течений может достигать 100 см/сек



ВЛИЯНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ



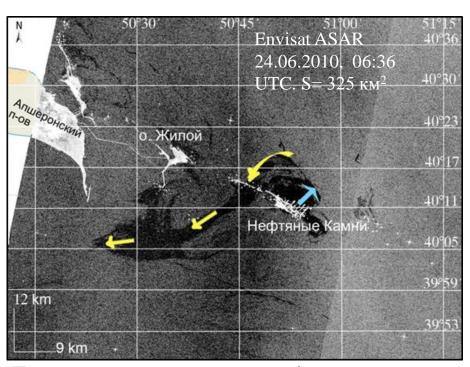
OLI-TIRS UC3 Landsat-8, 4.07.2016, 07:19 UTC

- ▶ После выхода на поверхность нефтяное загрязнение распространяется под влиянием преобладающего на момент наблюдения в районе интереса северного ветра.
- Слики вытягиваются по ветру к югу от платформы на расстояние около 5 км. Общая площадь загрязнения составляет около 20 км².
- Такая ситуация достаточно часто наблюдается на спутниковых изображениях этого района, площадь загрязнения в таких случаях относительно невелика для этого района.

На первом этапе своей эволюции после всплытия на поверхность нефтяное загрязнение растекается и распространяется в основном под действием приповерхностного ветра



ВЛИЯНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЕТРА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

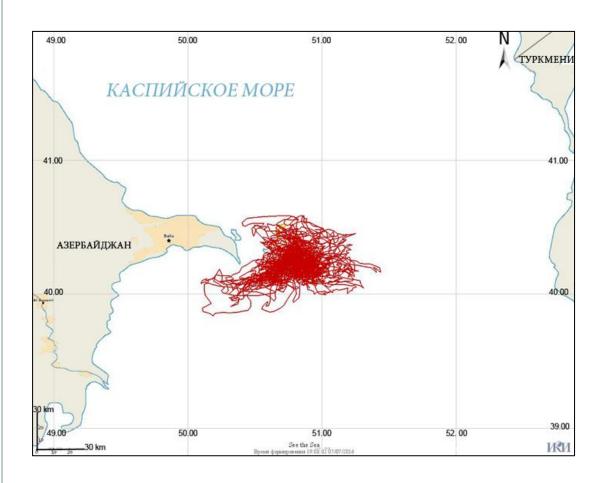


Два этапа распространения нефтяного загрязнения:

- I. Нефтяные плёнки перемещаются и растекаются под действием локального ветра до тех пор, пока не оказываются захваченными поверхностными течениями
- П. Нефтяное загрязнение может оказаться захваченным поверхностными течениями, и распространяться этими течениями на достаточно большие расстояния или же оказаться вовлеченным в вихревые движения. Нефтяное загрязнение, захваченное поверхностными течениями, может распространяться на значительные расстояния, вплоть до 70 км, в направлениях, не совпадающих с направлением приповерхностного ветра.

После всплытия на поверхность нефтяное загрязнение распространялось в северо-восточном направлении (голубая стрелочка на рисунке). На расстоянии 6,5 км от выхода на поверхность нефтяное загрязнение оказалось захваченным поверхностным течением, обусловленным развивающимся вихревым диполем, повернуло на северо-запад, а затем, увлечённое сопутствующим вихревому диполю течением, продолжило распространяться на юго-запад, т.е. против ветра, на расстояние до 40 км от начальной точки.

РАЙОН НЕФТЕДОБЫЧИ НЕФТЯНЫЕ КАМНИ

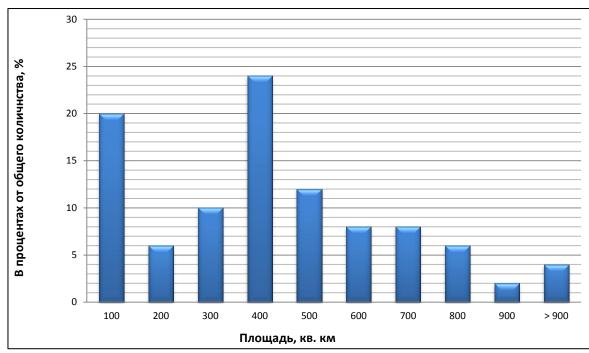


- ▶ Площадь акватории Каспийского моря вблизи р-на нефтедобычи Нефтяные Камни с той или иной частотой подвергающаяся нефтяному загрязнению, составляет более 5000 км², что является серьёзным фактором, приводящим к ряду негативных экологических последствий и ухудшающим экологическую ситуацию в Каспийском море
- ▶ Превалирует перенос загрязнения в юго-западном направления на расстояния до 75 км

Сводная карта нефтяных загрязнений в окрестности района нефтедобычи Нефтяные Камни, выявленных по спутниковым радиолокационным данным

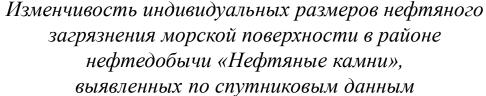


РАЙОН НЕФТЕДОБЫЧИ НЕФТЯНЫЕ КАМНИ



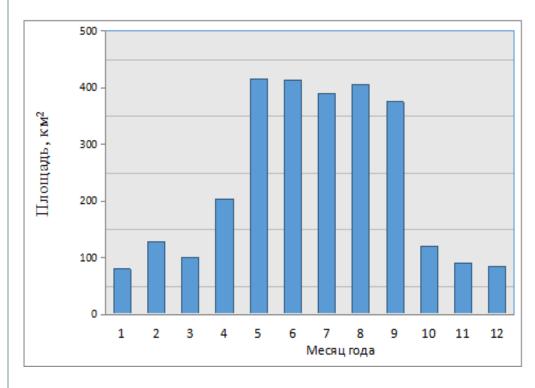
Наиболее часто наблюдается загрязнение площадью порядка 400 км^2 , однако в отдельных случаях их площади могут превышать 900 км².

Оценки базируются исключительно на спутниковых данных и могут в ту или другую сторону отличаться от измерений *in* situ.





РАЙОН НЕФТЕДОБЫЧИ НЕФТЯНЫЕ КАМНИ



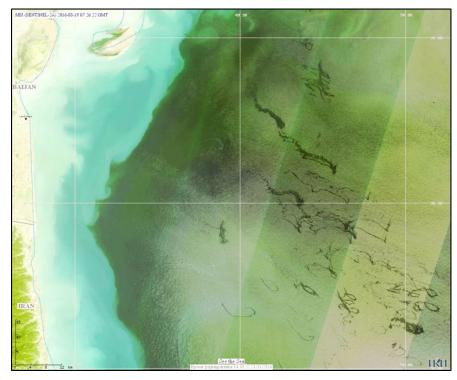
Изменчивость усреднённых за месяц индивидуальных площадей нефтяных загрязнений морской поверхности, выявленных на спутниковых РЛИ в районе нефтедобычи Нефтяные Камни

Площади загрязнений, выявляемые на РЛИ, полученных в холодный период — с октября по апрель — относительно невелики.

Этот факт может быть объяснён тем, что в этот период в районе интереса интенсифицируются атмосферные процессы и нередко наблюдаются сильные ветра и шторма.



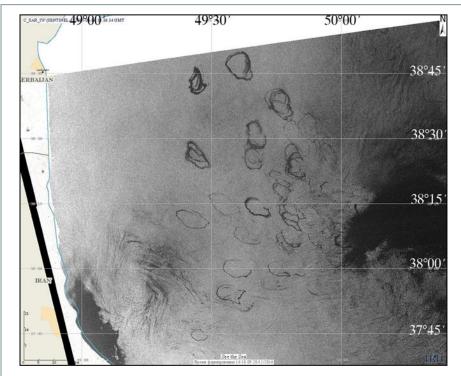
НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ГРЯЗЕВЫМ ВУЛКАНИЗМОМ



MSI UC3 Sentinel-2, 19.08.2016

- ➤ Западный борт Южно-Каспийской впадины является уникальным и классическим регионом развития грязевого вулканизма.
- ➤ По количеству вулканов, их разнообразию и интенсивности проявления он не имеет аналогов в мире.
- ▶ Большинство грязевых вулканов Южно-Каспийской впадины характеризуются интенсивной грифонно-сальзовой деятельностью, т.е. периодически выделяют относительно небольшие объёмы газов, грязи и воды с частицами нефти, что приводит к появлению на воде грязевых и нефтяных пятен.
- Активизация подводных вулканов и грифонов в местах разгрузки углеводородов приводит к появлению на морской поверхности грязевых и нефтяных пятен, хорошо различимых на спутниковых снимках.





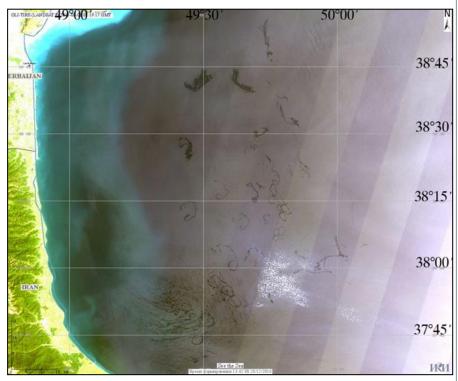
Sentinel-1A SAR. 4.06. 2015, 14:36 UTC

Плёнки проявляются на морской поверхности в виде хорошо узнаваемых многочисленных окружностей, серповидных, подковообразных и спиралеобразные структур относительно небольших размеров.

Площадь отдельного загрязнения варьирует, как правило, в пределах $0.5 - 4 \text{ км}^2$.

Площади пятен, образовавшихся в результате значительной энергетической разгрузки, могут достигать $20~{\rm km}^2$.

НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ГРЯЗЕВЫМ ВУЛКАНИЗМОМ



OLI-TIRS ИСЗ Landsat-8. 3.08.2015, 07:19 UTC

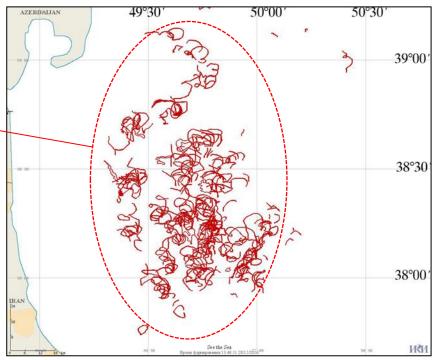


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ Прязевые вулканы, выявленные сейсмическим мегодом Прязевые вулканы, наявленные геолого геофизическим мегодом Прязевые вулканы со скоплениями кристалогидратов ВАКТ ВАКТ ВОВОТОВНИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ Прязевые вулканы, выявленные геолого геофизическим мегодом Прязевые вулканы со скоплениями кристалогидратов ВОВОТОВНОЕ В ВОВ

Карта расположения грязевых вулканов Южно-Каспийского. Красным эллипсом отмечено расположение поверхностных загрязнений морской поверхности, выявленных по спутниковым данным

Пространственная локализация плёночных загрязнений на спутниковых изображениях югозападной части Каспийского моря

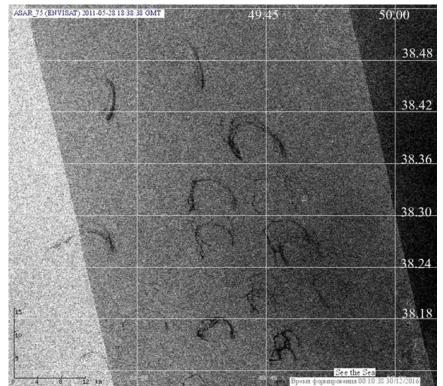
НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ГРЯЗЕВЫМ ВУЛКАНИЗМОМ



Сводная карта поверхностных загрязнений морской поверхности юго-западной части Каспийского моря, составленная на основе спутниковых данных



СВЯЗЬ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА ➤ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ



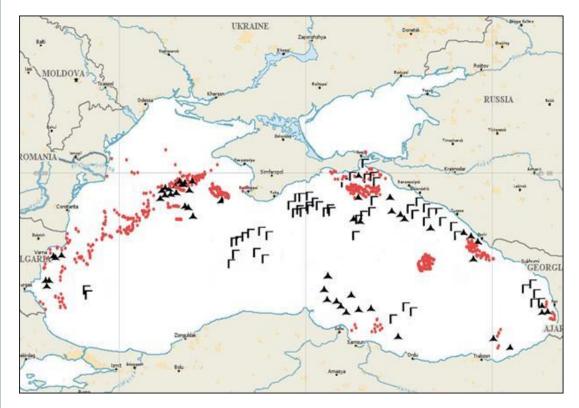
Грязевулканические проявления в Южном Каспии на спутниковом РЛИ ASAR Envisat от 28 мая 2011 г., 06:59 UTC

Накануне, 27 мая 2011 г., на дне Каспия в 166 километрах от Баку было зарегистрировано землетрясение, магнитуда подземных толчков которого составила 3,90.

- Рассмотрена зависимость частоты возникновения поверхностных проявлений вулканизма спутниковых грязевого магнитуд данных OT количества Каспии землетрясений Южном В прилегающих к нему районах.
- ▶ Выявлена достаточно высокая корреляция между проявлениями грифонов на спутниковых изображениях и землетрясениями магнитудой 3 4 балла.
- Различными исследователями установлено немало фактов, когда извержения грязевых обуславливаются вулканов землетрясениями, эпицентры которых разных расстояниях находятся на сейсмические вулканов, И волны передаются некоторым опозданием, способствуя пробуждению вулкана не в тот день, а через несколько дней и даже недель зависимости от дальности расстояния между вулканом И эпицентром землетрясения, магнитуды последнего и глубины его очага

Восьмая международная Школа-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». 03.04 - 07.04.2017, г. Таруса

КАРТА-СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНОВЫХ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ В ЧЁРНОМ МОРЕ



Красные точки – задокументированные метановые выделения.

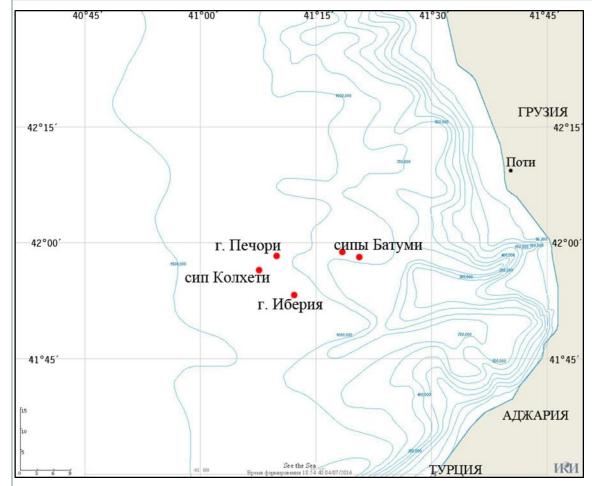
Черные треугольники – выходы нефти и газа на поверхность.

Г- грязевые вулканы

Районы наиболее интенсивных проявлений разгрузки углеводородных газов из недр в толщу воды:

- шельф Болгарии (свыше 480 выходов газа на дне моря);
- северо-западный шелф Черного моря (около 200);
- Керченско-Таманский шельф;
- шельф России по всей площади Сочи-Адлерской депрессии;
- грузинский шельф и континентальный склон (565);
- турецкий шельф в прибрежной зоне восточных Понтид в районе Ризе;
- глубоководная часть. Свыше 60–ти грязевых вулканов задокументировано к настоящему времени в Чёрном море, преимущественно, в центральной его части и в прогибе Сорокина на глубинах свыше 1500 м



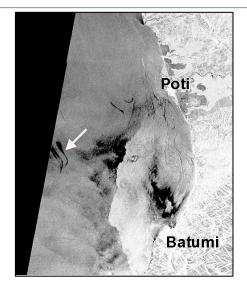


Батиметрическая карта морского дна в грузинском секторе Черного моря с нанесёнными на неё исследованными метановыми сипами

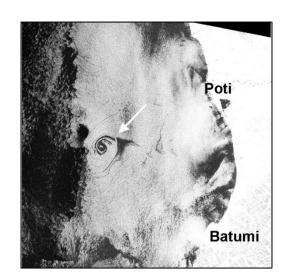
ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ АКВАТОРИИ ЧЁРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА ВБЛИЗИ ПОБЕРЕЖЬЯ ГРУЗИИ

На спутниковых изображениях этого участка акватории выявляются сликовые образования, радикально отличающиеся по своим структурным характеристикам как от нефтесодержащих сликов, образовавшихся в результате судовых сбросов, так и от сликов, образованных на морской поверхности плёнками биологического происхождения, повсеместно и постоянно встречающихся на морской поверхности.

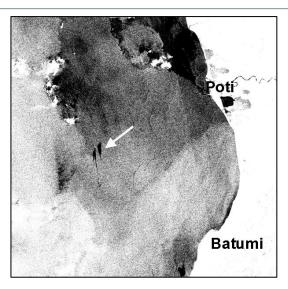




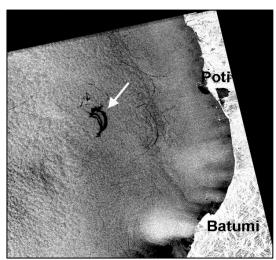
ASAR Envisat 16.06.10 07:28 UTC



ASAR Envisat 05.06.11 07:34 UTC



ASAR Envisat 14.07.10 19:03 UTC



ASAR Envisat 06.01.11 07:32 UTC

ПРИМЕРЫ ПРОЯВЛЕНИЙ СЛИКОВЫХ СТРУКТУР НА РЛИ МП В РАЙОНЕ ГРУЗИНСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА

Определяющий признак этого класса сликовых образований:

строгая приуроченность пространственного положения к определённой географической точке, являющейся исходной точкой для множества выявленных нами сликовых структур, различающихся формой, размерами и направлением распространения.



Обобщены результаты анализа большого объёма разнородных спутниковых данных

Выдвинута гипотеза о наличии генетической связи между поверхностными проявлениями плёночных загрязнений этого типа и естественными газо- и нефтепроявлениями в этом районе.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы к рассмотрению были привлечены опубликованные в научной печати результаты натурных измерений.



НИС «Профессор Водяницкий» (42-й рейс, июнь 1993 г.).

НИС «Профессор Водяницкий» (46-й рейс, август 1994),

«Посейдон» (Германия) (317-й рейс, октябрь - ноябрь 2004 г.)

НИС «Профессор Логачев» (26-й рейс, июнь 2005г) - часть учебной и исследовательской программы ЮНЕСКО

«Метеор» (Германия) (72-й рейс, март – апрель 2007 г.,

84-й рейс, март 2011 г) - проект METRO (Methane and methane hydrates within the Black Sea).

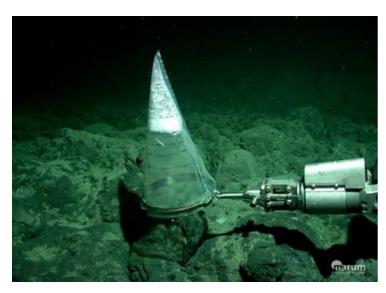


выводы:

- I. Глубоководные сипы в грузинских водах представляют собой уникальный для Чёрного моря тип струйных газовыделений, в которых метан сосуществует одновременно в свободной форме и в виде газогидратов.
- II. Отличительной чертой этих сипов является присутствие следов нефти в донных газогидратах и полное отсутствие признаков грязевого вулканизма.
- III. На поверхности моря в районах обнаружения этих сипов различными исследователями отмечалось присутствие нефтяных пятен природного происхождения.



- Акустические исследования
- Детальные геохимические анализы
- Заборы проб грунта
- Определение состава газогидратов и выделяющихся газов



Gas bubble catcher





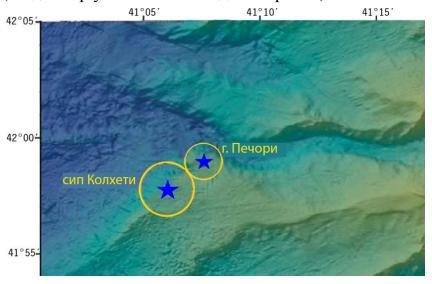
Gas hydrate experiment

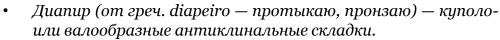


По данным акустического зондирования была построена числовая модель рельефа дна.

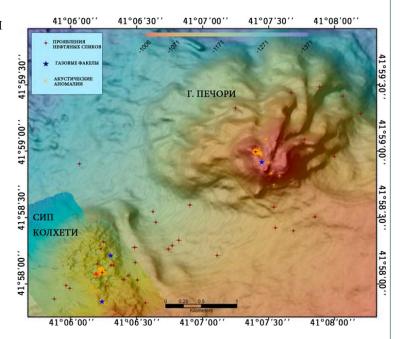
Два конусообразных поднятия:

- 1) диапировая гора Печори, диаметром 2-2,5 км и высотой 75 м
- 2) диапир у сипа Колхети диаметром 1,4 км и высотой 20 м





- Диапировые складки и купола обыкновенно возникают за счёт выдавливания из нижних горизонтов высокопластичных пород солей, глин.
- Процесс вызван действием силы тяжести и перераспределением масс. При этом более лёгкие пласты протыкают и приподнимают вышележащие слои.



Красные звездочки – точки проявления нефтяных сликов на поверхности

Синие звездочки – газовые факелы,

Жёлтые точки соответствуют зарегистрированным акустическим аномалиям водного столба

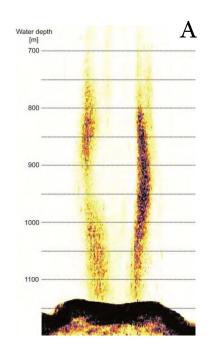
Подводные выходы газов:

- (А) два газовых факела сипа Колхети, функционирующие одновременно
- (Б) газовый факел из кратера диапировой горы Печори

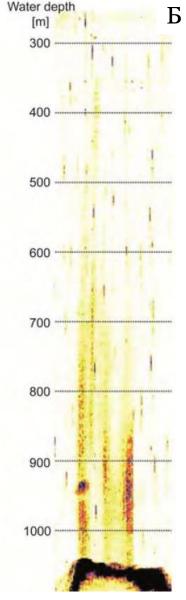
Ширина газовых факелов соответствует ширине кратеров у горы Печори и сипа Колхети

Ослабление интенсивности отражённого в факеле газовом эхо-сигнала ПО направлению OTморского дна поверхности свидетельствует о том, что морской потенциально поверхности достигают лишь достаточно крупные пузырьки диаметром около 1 см более мелкие пузырьки при всплытии разрушаются на первых 100 м

PARASOUND echograms showing acoustic anomalies ('flares') originating from rising gas bubbles or oil coated gas bubbles.



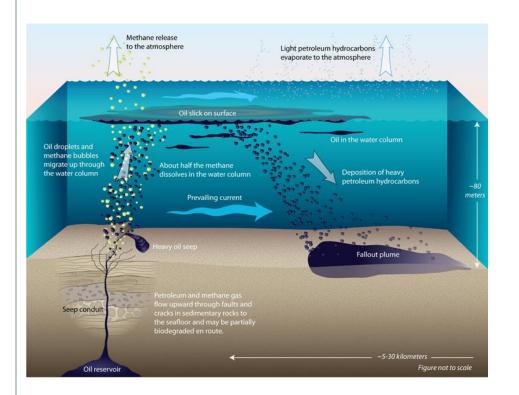
Two flares at the Colkheti



Pechory mound

seer

ТРИ ФОРМЫ ВЫХОДА НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ



При естественных выходах углеводорода только малая часть органического вещества попадает на поверхность моря в виде нефтяной пленки, тогда как наибольшим углеводородным загрязнениям подвержены морское дно и нижние слои водного столба в окрестности естественного источника.

I. Газовые пузырьки - по мере всплытия быстро разрушаются, насыщая толщу морской воды органическим веществом

II. Капли жидкости Жидкие капли, имеющие большую плотность, охлаждаются при соприкосновении с морской водой и опускаются на дно вблизи кратера. Жидкие капли с меньшей плотностью по мере всплытия с больших глубин растворяются или перемешиваются с водой.

III. Заполненные газом пузырьки с нефтяной оболочкой.

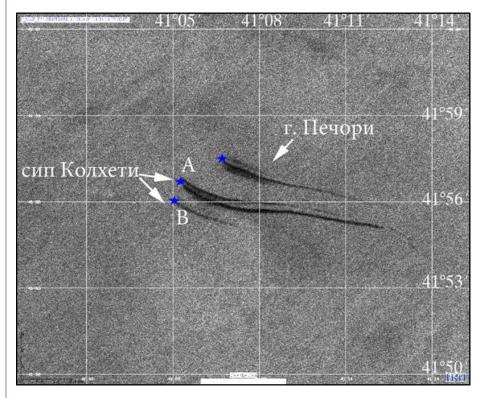
Имеют при значительном объёме небольшую массу.

Оказываются способны преодолеть большие расстояния с большой скоростью.

Находящаяся внутри пузырька капля нефти защищена оболочкой от непосредственного контакта с водой, что позволяет ей достичь морской поверхности, где оболочка лопается, газ высвобождается в атмосферу, а нефть остаётся на поверхности



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ТОЧКИ ВЫХОДА НА МОРСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ



Фрагмент РЛИ SAR Sentinel -1A от 24.05.2016, 03:24 UTC

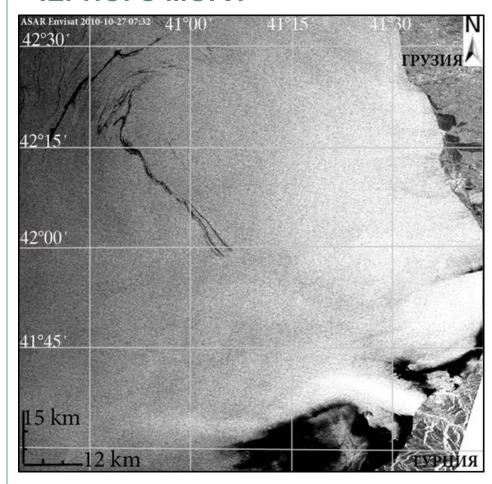
Характерный признак, общий для естественных нефтепроявлений на морской поверхности в рассматриваемом районе – их «полосчатая» структура.

Факт наличия трех четко различимых полос объясняется тем, что нефть доставляется на морскую поверхность газовыми пузырьками в результате одновременной активности трёх газовых факелов: из горы Печори и двух ядер прорывания сипа Колхети

Вблизи точки всплытия наблюдаются три сликовые полосы различной ширины. В процессе эволюции и дрейфа слика эти полосы могут слиться, а могут продолжать эволюционировать относительно синхронно, сохраняя при этом свою обособленность.

Наибольшая толщина плёнки наблюдается вблизи точки всплытия. Поверхностный слик формируется под влиянием поля ветра и течений.

В зависимости от условий формирования поверхностная плёнка либо вытягивается вдоль направления приповерхностного ветра, либо вовлекается в вихревые движечия вольностного ветра.



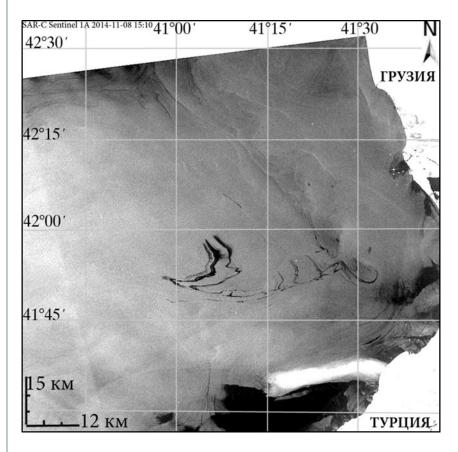
РЛИ ASAR Envisat от 27.10.2010, 07:32 UTC

После всплытия на поверхность нефтяная плёнка начинает распространяться в северозападном направлении, принимая под влиянием сильного приповерхностного ветра форму узкой вытянутой извилистой полосы.

На расстоянии около 39 км от начальной точки нефтяная плёнка захватывается поверхностным течениям, вовлекается в вихревые движения и продолжает мигрировать вместе с вихревой структурой.

Общая площадь нефтесодержащего слика - 44,5 км².





РЛИ SAR Sentinel -1A от 08.11.2014, 15:10 UTC

Три сликовых полосы, образованных вышедшей на поверхность нефтяной пленкой.

После всплытия на поверхность нефтяные плёнки немедленно вовлекаются в движения, обусловленные субмезомасштабным антициклоническим вихрем, развивающимся в непосредственной близости от точки выхода нефти на поверхность.

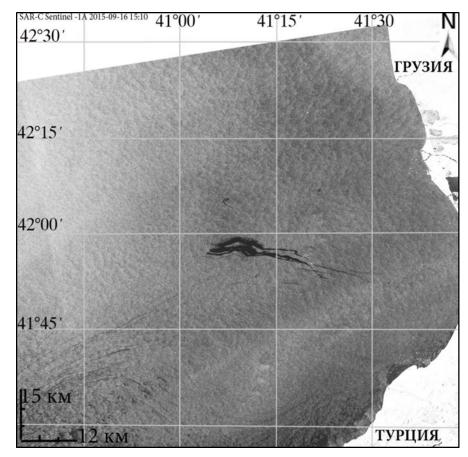
Вблизи точки всплытия наблюдается область, покрытая достаточно толстой плёнкой, по мере распространения слики изгибаются, толщина пленки уменьшается.

Пройдя по дуге около 24 км, на расстоянии 14 км к югозападу от точки всплытия, слик изламывается под острым углом и пленка начинает распространяться в восточном направлении в сторону берега, перемещаясь более чем на 54 км.

По мере продвижения в направлении берега от основного слика ответвляются компоненты, захваченные на этот раз уже вдольбереговым течением, и начинают двигаться вдоль береговой черты.

Общая площадь нефтесодержащего слика - около 28 км².





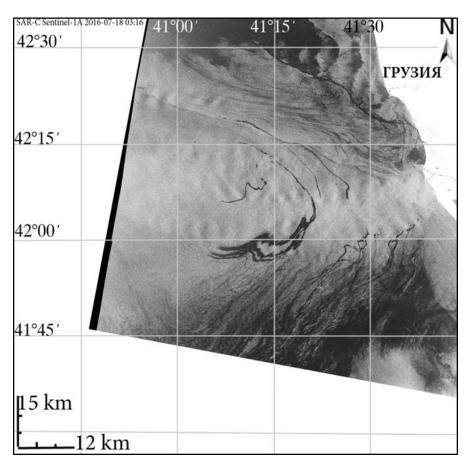
РЛИ SAR Sentinel -1A от 16.09.2015, 15:10 UTC

Плёнка под воздействием ветра практически прямолинейно распространяется в восточном направлении, в сторону береговой черты, формируя параллельные сужающиеся полосы, постоянно превращающиеся в тонкие нитевидные слики, просматривающиеся на РЛИ вплоть до расстояния 37 км от точки всплытия.

Хорошо заметна «полосчатая» структура сликов.

Общая площадь нефтесодержащего загрязнения - 45,5 км².





После выхода на поверхность нефтяная пленка распространяется на северовосток, постепенно растекаясь и принимая под влиянием сложной структуры течений прихотливую изломанную форму.

Постепенно слик сужается, а затем, вовлекаясь в вихревые движения, сильно искривляется и распространяется в западном направлении.

Общая площадь нефтесодержащего слика – около 60 км².

РЛИ SAR Sentinel -1A от 18.07.2016, 03:16 UTC

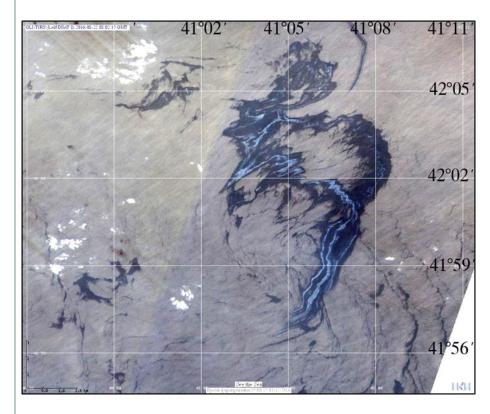


Естественные нефтепроявления отчетливо проявляются и на цветосинтезированных изображениях, однако, для сенсоров оптического диапазона существенными ограничивающими факторами являются требования к освещённости и отсутствию облачности, благодаря чему они проигрывают радиолокационным данным, когда речь идёт о непрерывном мониторинге и накоплении статистических данных.

Использование оптических изображений, особенно полученных в зоне солнечного блика, зачастую помогает разрешить неоднозначности в интерпретации радиолокационных данных и уточнить природу плёнок, формирующих слики, относя их к классам нефтяных или биологических плёнок.



ПРИМЕР ПОВЕРХНОСТНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СПУТНИКОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ



Фрагмент цветосинтезированного изображения сенсора Landsat-8 OLI (4, 3 и 2 спектральные каналы) от 22.08.2016, 08:02 UTC

Отчётливо просматриваются три сформированные тонкие протяжённые полосы повышенной яркости, окружённые тёмным ореолом, расширяющимся по мере растекания плёнки.

После выхода на поверхность три полосы нефтепроявления распространяются в северовосточном направлении на расстояние примерно 10 км от точки всплытия.

После этого, две струи отклоняются на запад, двигаясь по траектории со множеством изломов, а третья полоса продолжает движение в первоначальном направлении, и несколько позже, описав дугу, присоединяется к общей траектории.

Общая площадь нефтесодержащего слика - 53,7 км².



Сложная многокомпонентная структура нефтепроявления зачастую приводит к существенному усложнению траектории его распространения под влиянием ветра и течений, делая её плохо предсказуемой.

Это понижает достоверность прогноза распространения загрязнения морской поверхности на основе ныне существующих моделей



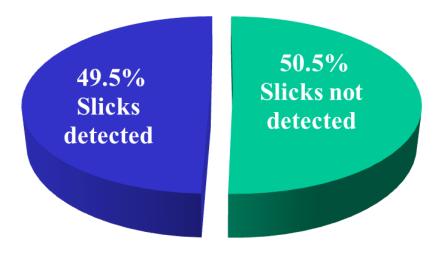
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

2010-2011 гг. SAR ERS-2 и ASAR Envisat

SAR Sentiel-1 за двухлетний период с октября 2014 по октябрь 2016 г. и данными сенсоров оптического диапазона.



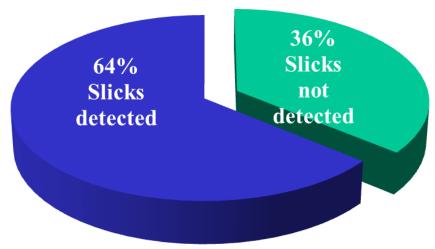
2010-2011



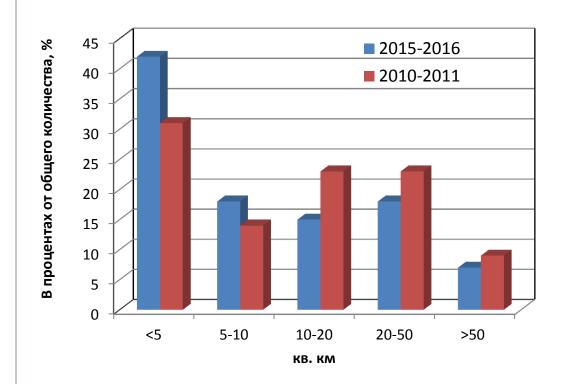
- 1) 2010-2011 гг. SAR ERS-2 и ASAR Envisat
- 2) SAR Sentiel-1 с октября 2014 по октябрь 2016 г.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

2014-2015







Изменчивость индивидуальных размеров нефтесодержащих пятен природного происхождения в юго-восточной части Черного моря

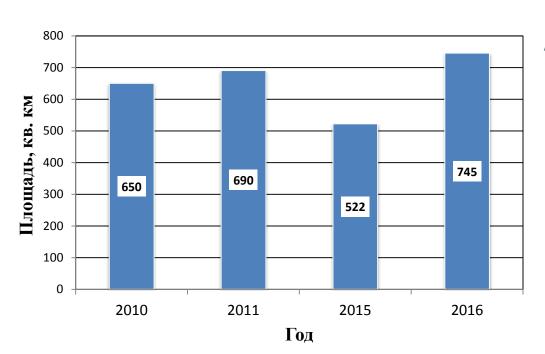
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Более 30%выявленных на морской поверхности естественных нефтепроявлений имеют площади, превышающие 10 кm^2

20% выявленных случаев индивидуальные площади нефтепроявлений превосходят 20 км².

В 2015-2016 гг. разгрузки происходили чаще, но при этом средний размер наблюдаемого нефтепроявления был несколько меньше





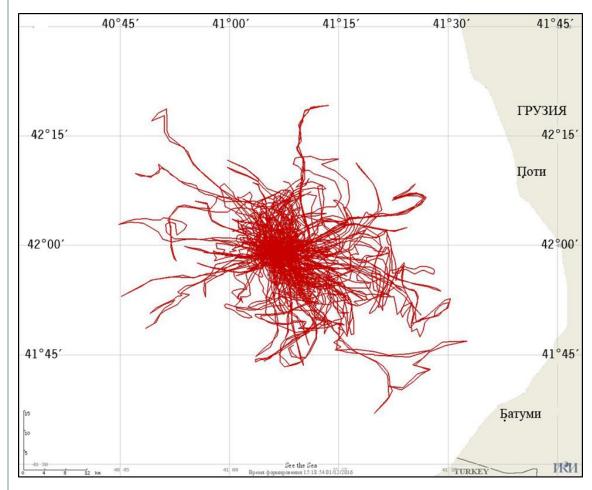
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Заметно увеличение совокупной площади загрязнений в 2016 гг.

Совокупные площади загрязнения морской поверхности юго-восточной части Черного моря в результате естественных нефтепроявлений, выявленные за год по спутниковым данным.



ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД РАЙОНОМ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВЫХОДОВ УГЛЕВОДОРОДОВ СО ДНА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ



В отдельных случаях плёнки под влиянием ветра и течений распространяются на расстояния до 45 км от точки выхода на морскую поверхность.

Площадь акватории, имеющей высокую вероятность загрязнения плёнками в результате естественных нефтепроявлений, составляет около 850 км²



Форма естественных нефтепроявлений на морской поверхности в грузинском секторе восточной части Чёрного моря схожа с формой нефтепрояявлений вблизи калифорнийского побережья и принципиально отличается от формы проявлений естественных выходов углеводородов с морского дна в Мексиканском заливе и в Каспийском море.

Можно предположить, что одной из причин отличий может служить различие в механизмах, посредством которых нефтяная плёнка доставляется на морскую поверхность, а также её физикохимическими свойствами.



Работа поддержана РФН в рамках проекта № 14-17-00555

Спасибо за внимание



