

# Спектральные характеристики сейсмогенных облаков

П.В. Люшвин<sup>1</sup>, П.А. Никитин<sup>1</sup>, Э.Р. Казанкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> «Компания ИНФОМАР»

121309, Москва, п/я 3

E-mail: [lushvin@mail.ru](mailto:lushvin@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт проблем нефти и газа РАН

119333, Москва, ул. Губкина, 3

Лимитирование воспроизводства многих промысловых рыб определяется литосферной дегазацией, поэтому актуальнейшим является индикация районов текущей разгрузки литосферных флюидов. В настоящее время активно развивается направление анализа проявлений сейсмической активности Земли в атмосферных явлениях, в частности, дешифрировании сейсмогенных облаков, трассирующих активизированные разломы земной коры. Цель настоящей работы проанализировать спектральные оптические характеристики сейсмогенных – сейсмоиндуцированных облаков. Анализ спектральных характеристик облаков, трассировавших активизированные разломы земной коры, под которыми зафиксированы массовые заморы рыбы, показал, что это не влажные метеорологические облака, а сухие аэрозольные атмосферные образования, в зоне которых наблюдаются локальные минимумы влагосодержания атмосферы.

## Введение

В текущее десятилетие участились сообщения о землетрясениях на Земле и об облаках уловов рыбы. Эти совпадения обусловлены тем, что в ходе сейсмичности на западе Евразийской платформы Земли наблюдается (80-90 лет) вековая цикличность с максимумом в текущее десятилетие. Через 5-10 лет сейсмичность спадет, если не внесет свои коррективы приближающийся 400 летний максимум содержания метана в атмосфере - основного литосферного газа, разгрузка которого осуществляется через активизированные разломы земной коры. Присутствие некоторых литосферных флюидов даже в сверхмалых концентрациях (менее 0.1-1 мг/л) несовместимо с жизнедеятельностью многих рыб [1-7], а продувка «... океанских вод восстановленными газами ... приводит к исчезновению кислорода, т. е. массовым заморам аэробной биоты» [8].

Игнорирование в промысловой отрасли сейсмо-дегазации Земли привели к тому, что в промысловой науке до сих пор не решена проблема прогноза «воспроизводства промысловых организмов» [9]. Прямой зависимости между численностью производителей, количеством выметанной икры и величиной пополнения не прослеживается, отсутствуют достоверные связи между величиной пополнения, количеством биогенных веществ, численностью кормового зоопланктона, температурой и соленостью воды [10-13]. Основные проблемы с воспроизводством рыб наблюдаются именно в местах разгрузки литосферных флюидов «появление газовых аномалий связано с цикличностью сейсмической активности. ... В области разломов и действующих вулканов, также наблюдается возрастание концентрации метана в придонных водах» [6]. Массовая дегазация часто предшествует землетрясениям. Как идентифицировать дегазацию?

В настоящее время активно развивается анализ проявлений сейсмической активности Земли в атмосферных явлениях, в частности, дешифрировании сейсмогенных (сейсмоиндуцированных или сейсмоиндуктивных) облаков, по терминологии предложенной Л.Н. Додой) трассирующих активизированные разломы земной коры [14,15]. Часть этих сейсмоиндуцированных предикторов землетрясений интерактивно используется в оперативной работе МЧС. Регистрация таких атмосферных образований помогла бы и рыбопромысловикам для оценки районов массовых сейсмострессов у рыб. Цель настоящей работы попытаться найти отличия параметров сейс-

моицированных облаков от влажных метеорологических облаков по данным дистанционного зондирования.

### Сейсмоиндуцированные облака

Для формализации поиска оптических признаков сейсмоиндуцированных облаков проведено следующее моделирование альbedo облачной атмосферы. Альbedo Земли формируется отраженной солнечной радиацией ( $A_{\text{блик } \lambda}$ ), искажающим влиянием верхней полупрозрачной толщи атмосферы, включая безоблачную атмосферу и полупрозрачную толщю облаков ( $A_{\text{атм.}\lambda}$ ), для длин волн ( $\lambda$ ) короче 3 мкм еще и радиацией, вышедшей из нижележащей толщи подстилающей поверхности ( $A_{\text{подст.пов.}\lambda}$ ). Для спектральных измерений альbedo по AVHRR/NOAA на длинах волн 0.6, 0.8, 3.7 мкм соответствующая система уравнений имеет вид:

$$A_{0.6} = A_{\text{атм.}0.6} + (A_{\text{блик } 0.6} + A_{\text{подст.пов.}0.6}) * \exp^2(-\tau_{0.6}^{k\lambda}), \quad (1)$$

$$A_{0.8} = F_{0.8} * A_{\text{атм.}0.6} + (A_{\text{блик } 0.6} + A_{\text{подст.пов.}0.8}) * \exp^2(-\tau_{0.6}^{k\lambda}), \quad (2)$$

$$A_{3.7} = F_{3.7} * A_{\text{атм.}0.6} + A_{\text{блик } 0.6} * \exp^2(-\tau_{0.6}^{k\lambda}), \quad (3)$$

где  $F_{\lambda}$ ,  $\tau_{\lambda}$  и  $k_{\lambda}$  - параметры, учитывающие спектральный ход искажающего влияния атмосферы, рассчитанные по процедуре «LOUTRAN» [16].

Величина параметра  $k_{\lambda}$  изменяется по спектру обратно пропорционально отношению длин волн в 4-ой степени для атмосферы без аэрозоля,  $2 \div 1.2$  - для безоблачной атмосферы,  $1.5 \div 0.8$  - для пылевых и капельножидких облаков.  $1.2 \div 0.5$  - для кристаллических облаков. Для облаков  $A_{\text{подст.пов.}\lambda}$  и  $A_{\text{блик } \lambda}$  почти неизменны по спектру.

Принимая переменным по спектру лишь искажающее влияние атмосферы, получаем, что число спектральных измерений альbedo по AVHRR/NOAA равняется числу искомым параметров среды -  $A_{\text{блик } \lambda}$ ,  $A_{\text{подст.пов.}\lambda}$  и итерационно подбираемой величине спектрального хода оптической толщины ( $\tau_{\lambda}$ ) атмосферы -  $k_{\lambda}$ . В связи с нелинейными, многопараметрическими связями между атмосферными параметрами, оценка составляющих альbedo ведется итерационно. Критерием окончания расчетов является равенство величин  $A_{\text{подст.пов.}0.6}$  и  $A_{\text{подст.пов.}0.8}$ .

Проблемным при таком подходе остается дешифрирование сцен с полупрозрачной облачностью и каймой облаков, где альbedo Земли формируют и другие объеты, а также с верхним кристаллическим ярусом облаков. Частично решить эти проблемы удастся, используя данные по интегральному влагосодержанию атмосферы ( $W$ ) и водозапасу облаков ( $Q$ ), полученные при дистанционном зондировании Земли в микроволновом диапазоне [17], а также по температурно-влажностной стратификации атмосферы из центров Мировой погоды.

Ниже приведены результаты использования методологического подхода.

В 11.07.2004 г. на траверзе залива Карабогазгол во время активного апвеллинга в прозрачной воде велся промысел кильки. Внезапно, без штормовых явлений, стала мутной глубинная вода, водолазы видели перепаханное дно, и по сообщению зам. директора КаспНИРХа Д.Катунина, произошел массовый замор кильки [18]. Это совпало по времени и пространству с разломом земной коры, на котором в сотнях км от района лова на берегу за Красноводским заливом произошло землетрясение. Разломы, идущие от очага землетрясения, трассировали (сейсмоиндуцированные) облака (рис.1) [19]. В этот же день на радиолокационном снимке апшеронского порога (района грязевых вулканов), зафиксирован слик нефтяного генезиса, размером в десятки км<sup>2</sup> (рис.1,з), а к западу от устья р. Куры рой линейчатых сликов (область обведена четырехугольником) [20]. Для этих полукруглых облаков характерен более мелкий аэрозоль (величина параметра  $k$  больше), ло-

кальные минимумы разниц ИК-температур на длинах волн 11 и 12 мкм (для безоблачной атмосферы  $T_{11} - T_{12} \sim W$ ),  $A_{\text{блик } \lambda}$  в основном не выше, а  $A_{\text{атм. } \lambda}$  не ниже, чем у соседних облаков нижнего и среднего ярусов,  $Q \approx 0$  (рис.2,в), в поле  $W$  - локальные минимумы (рис.2,д).

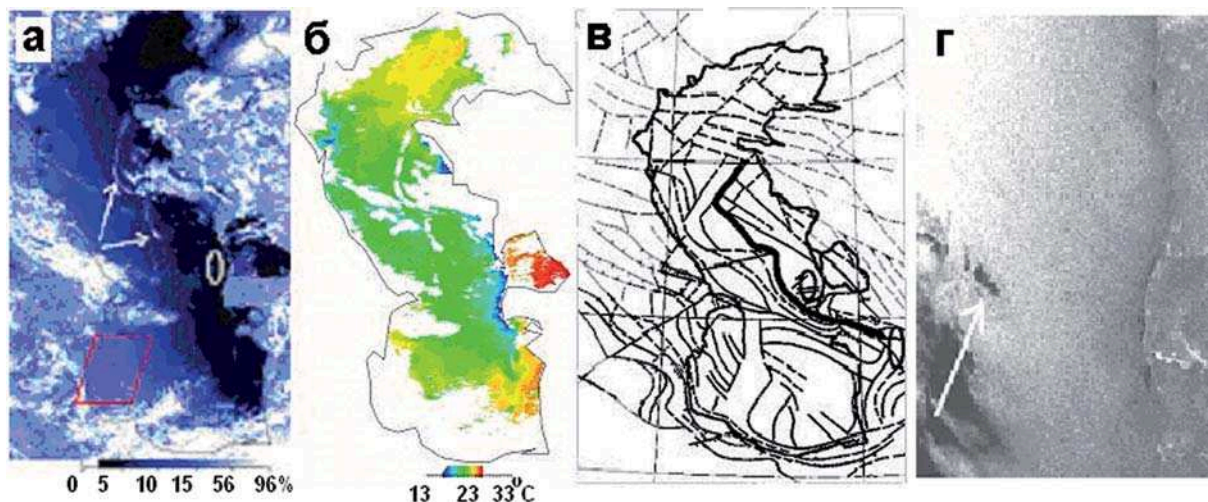


Рис. 1. Снимок AVHRR (0.8 мкм в %) 11.07.2004 г. (а, стрелки указывают на облака, трассирующие разломы земной коры, идущие от эпицентра землетрясения, эллипс за заливом Карабогазгол – положение судна, четырехугольник у устья р. Куры - район снимков); поле ТПВ в °С по данным AVHRR (б); схема разломов (в, активизированные разломы даны толстыми линиями, эллипс к востоку от Красноводского залива – очаг землетрясения); радиолокационный снимок со снимком на ашиеронском пороге (г, указан стрелкой).

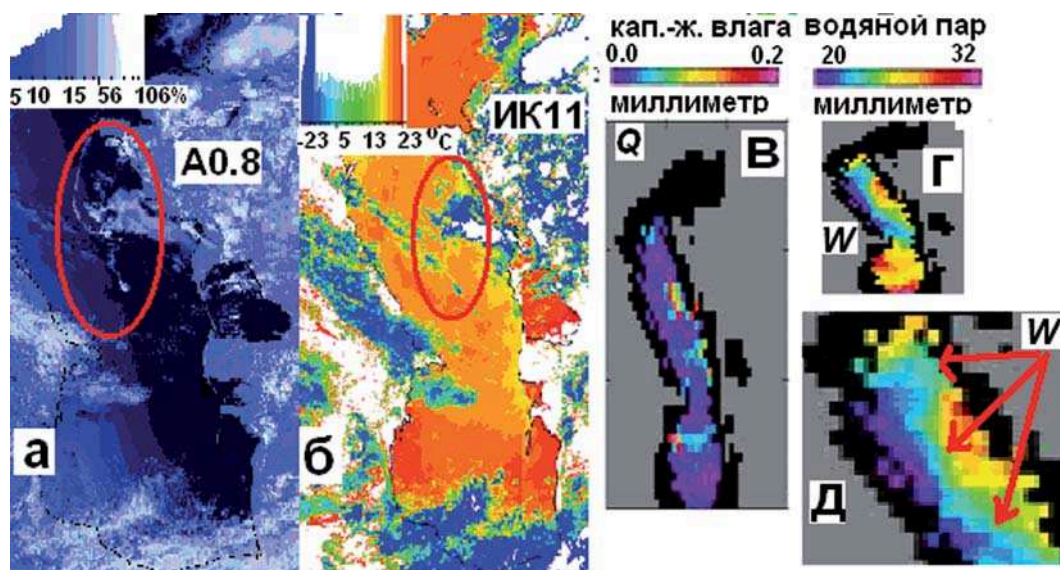


Рис. 2. Снимок Каспийского региона 11.07.2004 г. в ближнем (0.8 мкм) и дальнем (11 мкм) ИК-диапазонах (а, б). Параметр  $k$  (в),  $T_{11} - T_{12}$  (г),  $A_{\text{подст.нов.0.6}}$  (д),  $A_{\text{блик } \lambda}$  (е) и  $A_{\text{атм.0.6}}$  (ж), водозапас облаков (з) и влагосодержание атмосферы (и),  $k$  – увеличенный фрагмент со стрелками на минимумы  $W$  [17].

Для облаков 27.03.2001 г. в районе рейда г. Сумгаита (узла разломов земной коры) аэрозоль мельче (рис.3,в, величина параметра  $k$  больше), величины  $T_{11} - T_{12}$  меньше (рис.3,г),  $A_{\text{подст.нов.0.6}}$  (д) и  $A_{\text{блик } \lambda}$  не выше,  $A_{\text{атм.0.6}}$  в основном выше, чем у соседних облаков нижнего и среднего ярусов с положительными температурами. Никаких положительных аномалий в поле  $W$  в атмосфере над сумгайтским рейдом нет (рис.3,з).

Облачные структуры верхнего и среднего ярусов 27.05.2004 г. наблюдались вдоль западного и южного берегов Южного Каспия (рис.4,5), причем на юге они трассировали разломы земной

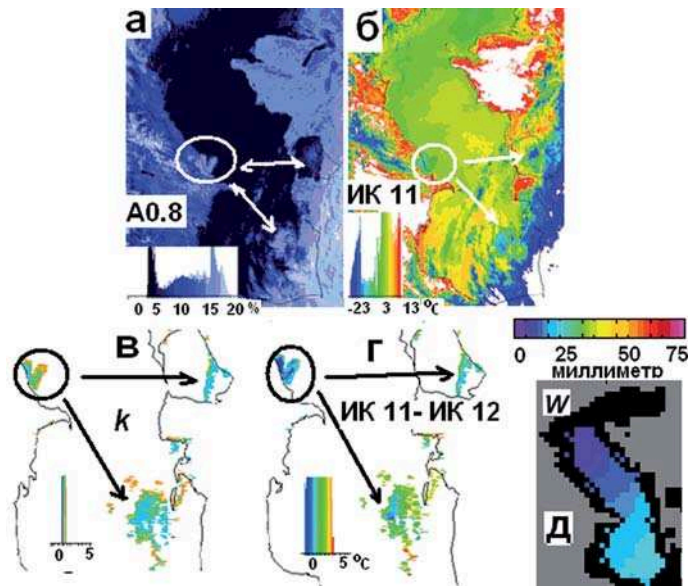


Рис. 3. Снимок Каспийского региона 26.03.2001 г. в ближнем (0.8 мкм) и дальнем (11 мкм) ИК-диапазонах (а, б); параметр  $k$  (в);  $T_{11} - T_{12}$  (з); влагозапас атмосферы (д) [17].

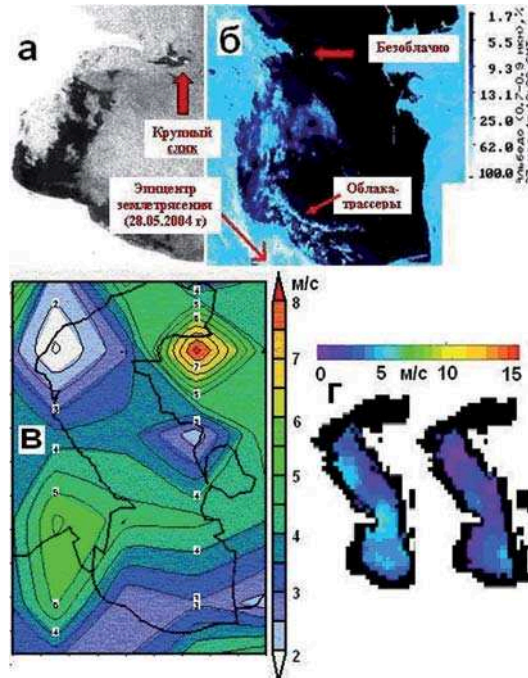


Рис. 4. Фрагмент радиолокационного снимка юго-западной части Каспийского моря 27.05.2004 г (а); фрагмент снимка AVHRR/NOAA (б, альбедо на длине волны 0.8 мкм) 27.05.2004 г.; среднее значение модуля скорости ветра за 27.05.2004 г. (в) [21]; поля скорости приводного ветра по данным утреннего и вечернего витков (з) [19].

кору. В этот же день на апшеронском пороге был слик нефтегрязевого генезиса (скорость приводного ветра свыше 5 м/с, рис.4,в,з), а на следующий день в регионе произошло землетрясение. Для южных облаков величины  $T_{11} - T_{12}$  меньше (рис.5,з),  $A_{подст.нов.л}$  и  $A_{блик.л}$  в основном ниже, а  $A_{атм.0.6}$  (рис.5,д) выше, чем у соседних облаков среднего и верхнего ярусов. «Сухость» южной облачной структуры следует из того, что относительная влажность воздуха у высоты верхней границы облаков по материалам брекнеловского центра мировой погоды (500÷600 мб) была недостаточной для образования облачности (ниже 40%, рис.5,ж). То, что все эти облака были маловодными, следует из полей влагосодержания и водозапаса (рис.5,з,и). Все отмеченные признаки для облач-

ной полосы вдоль иранского берега характерны для сейсмоиндуцированных облаков.

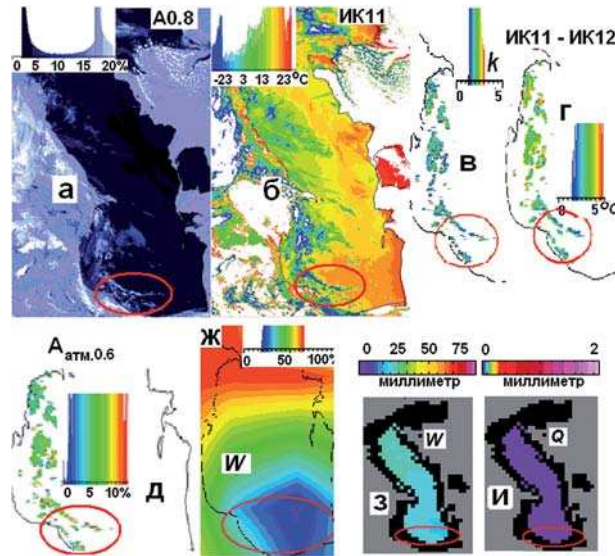


Рис. 5. Снимок Каспийского региона 27.05.2004 г. в ближнем (0,8 мкм) и дальнем (11 мкм) ИК-диапазонах (а,б); параметр  $k$  (в);  $T_{11} - T_{12}$  (з);  $A_{атм.0.6}$  соответственно (д); поле  $W$  на 500 мб (ж), интегральное влагосодержание атмосферы и водозапас облаков (з,и) [17].

Итак, для сейсмоиндуцированных облачных структур характерно следующее: облака находятся в областях локальных минимумов влажности воздуха в столбе атмосферы - дефицита водяного пара для образования метеорологической облачности; аэрозоль мельче, из-за меньшей обводненности, чем в соседних метеорологических облаках того же яруса; спектральный параметр  $k_\lambda$  для положительных температур составляет  $\approx 1 \div 1.7$ , для отрицательных температур  $\approx 0.5 \div 1,2$ ; величина  $A_{атм.0.6}$  из-за оптической «рыхлости», в основном выше, чем у соседних метеорологических облаков, и составляет  $5 \div 15\%$ ; величины  $A_{подст.нов.0.6}$  и  $A_{блик \lambda}$  у сейсмоиндуцированных облаков в основном ниже, чем у соседних более крупнодисперсных метеорологических облаков, но не ниже 5%.

Ситуация с серповидными облаками 11.05.2001 г. на рис.6,а является сомнительной, не совсем характерной для сейсмоиндуцированных структур - полосы облаков шире 50 км, облака не везде оконтурены безоблачной атмосферой. Из анализа полей влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков (рис.6,б,в), трудно сделать определенные выводы о генезисе облаков – размытые поля влажности и водозапаса частично совпадают с анализируемыми облаками, хотя мористая часть южного серпа сухая. Для анализа этой ситуации были привлечены фоновые величины относительной влажности и температуры воздуха на стандартных атмосферных горизонтах из материалов брекнеловского центра мировой погоды (рис.6,з,д). Из этих данных следует, что серповидную северную облачную полосу трассировала повышенная относительная влажность воздуха ( $>75\%$ ) в слое 925-850 мб, над южной серповидной облачной структурой, визуальной воспринимаемой, как сейсмоиндуцированное образование, наблюдалась повышенная относительная влажность воздуха ( $>85\%$ ) в слое (700÷500 мб). Из того, что в зоне облаков относительная влажность превышала 75% и, главное, были локальные максимумы относительной влажности, следует, что оба облака являются метеорологическими а не сейсмоиндуцированными структурами в рамках выработанных критериев. Дополнительным критерием выделения сейсмоиндуцированных облаков согласно, Л.Морозовой, является время их жизни, такие облака живут менее 1,5 часов [14].

Авторское дешифрирование показало, что свыше 80% облаков, особенно с положительными температурами, распознаются при использовании перечисленных критериев, как метеорологиче-

ские, и фильтруются [15]. Имеющиеся ограничения и недоработки методики и алгоритма распознавания обусловлены сравнительно большими элементами разрешения, малым числом спектральных информационных каналов, несовместимостью по времени и пространству оптических и микроволновых съемок, отсутствием штатной массовой информации о влажности атмосферы для облаков верхнего яруса (>500 мб). Актуальность выполнения работы обусловлена отсутствием до сих пор объективных критериев выделения сейсмоиндуцированных облаков, а также необходимостью минимизации человеческого фактора при фильтрации метеорологической облачности.

Кроме сейсмогенных облачных структур, трассирующих активизированные разломы земной коры, Л.Морозовой выделены и разрывы в облаках, также трассирующих разломы земной коры [14]. Это метеорологические облака, которые уже «разобрали» атмосферную пыль. В рамках этого подхода возможны и ситуации, когда метеорологическое облако находится с одной стороны разлома. Так как оно не может «переплыть» электромагнитную аномалию, трассирующую разлом, то постепенно вытягивается вдоль разлома и визуально воспринимается как сейсмогенное, хотя облако влажное – метеорологическое. С ослаблением электромагнитных возмущений вдоль разлома облако может рассеяться в связи с переходом в зону разлома, где дефицит влажности.

Оценка величины  $A_{блик}$  позволяет осуществлять переход от радиационных температур верхней границы облаков к термодинамической. Поправка доходит до 6К, [22], что соответствует изменению оценки высоты верхней границы облаков до 1,5 км.

Имеется и иные возможности индикации литосферной дегазации – дешифрирования локальных максимумов концентраций CO и CH<sub>4</sub> в атмосфере над местами разгрузки литосферных флюидов по данным спутникового радиометра AIRS (из-за низкого пространственного разрешения спутниковых данных, пока это удается для более обширных площадных объектов, чем облака). Например, для роя грифонов на траверзе устья р.Куры (рис.1), где линейчатые слики на радиолокационных снимках появляются в одних и тех же местах в даты близкие к региональным землетрясениям [19]. На апшеронском пороге 24.10.2003 г. произошло землетрясение. 19.10.2003 г. зафиксирована активизация грифонов и в атмосфере над грифонами зафиксирован максимум содержания CO (рис.7). В иные дни концентрация CO в регионе была ниже.

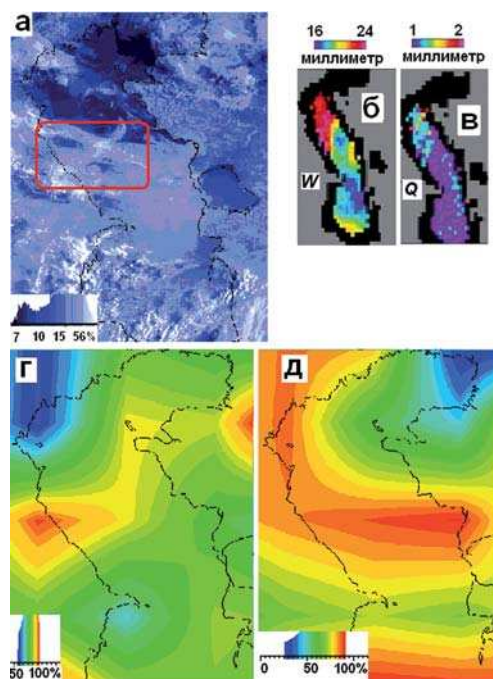


Рис. 6. Снимок Кастия 11.05.2001 г. на волне 0.8 мкм (а), влагозас атмосферы и водозпас облаков (б, в) [17]; максимальная относительная влажность воздуха в слое 925-850 мб (г) и в слое 700-500 мб (д).

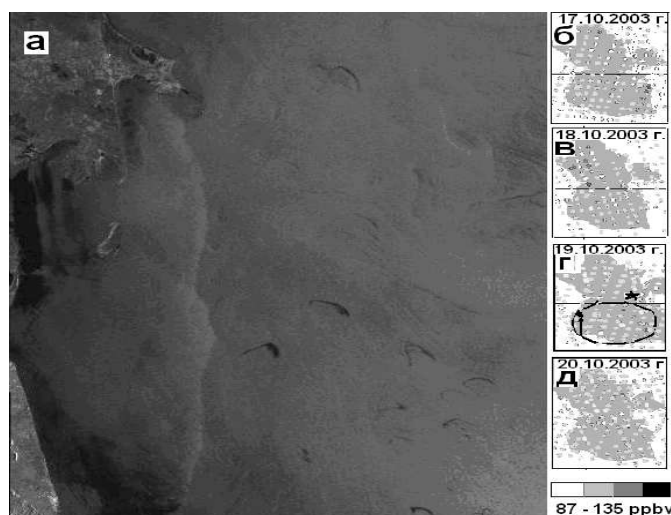


Рис.7. Фрагмент снимка ENVISAT юго - запада Каспия 19.10.2003 г. (а); интегральное содержание CO с 16 по 20.10.2003 г. (б-д), в эллипсе над стрелкой локальный максимум CO (ppbv – объемное содержание CO  $10^{-9}$ , положение гипоцентра землетрясения указано звездочкой).

## Литература

1. Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М.: Изд. ВНИРО, 1997. 349 с.
2. Патин С.А. Эколого-токсикологическая характеристика природного газа как экологического фактора водной среды. М.: Изд. ВНИРО, 1993. 40 с.
3. Никаноров А.М., Страдомская А.Г., Иваник В.М. Локальный мониторинг загрязнения водных объектов в районах высоких техногенных воздействий топливно-энергетического комплекса. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. С.155.
4. Соколов В.А., Виноградова Г.А. Влияние бытового газа на поведенческие реакции молоди рыб // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по рыбохозяйств. Токсикологии. Т.2, СПб. 1991. С.162-163.
5. Уморин П.П., Виноградов Г.А., Маерин А.С. и др. Влияние бытового газа на ихтиофауну и зоопланктонные организмы // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по рыбохозяйств. Токсикологии. СПб. 1991. С.183-184.
6. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н. и др. Метан в водных экосистемах. Ростов-на-Дону – Москва: «КОПИЦЕНТР», 2005. 329 с.
7. Люшвин П.В., Сапожников В.В. Состояние популяций гидробионтов окраинных морей и сейсмическая активность регионов // Рыбное хозяйство, 2006. №4. С.45-49.
8. Сывороткин В.А. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: «Геотнформ-центр», 2002. 250 с.
9. Ижевский Г.К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат, 1961. 216 с.
10. Дехник Т.В., Серебряков В.П., Соин С.Г. Значения ранних стадий развития рыб в формировании численности поколений // Сб. Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. М.: Наука, 1982. С.56-72.
11. Карасева Е.М. Влияние межгодовой изменчивости ветрового режима на формирование численности поколений балтийского шпрота // Вопросы рыболовства, 2004. Т. 5. №2(18). С.305-318.
12. Павловская Р.М. Урожайность поколений пелагофильных летнерестящихся рыб Черного моря и определяющие ее факторы // Вопросы ихтиологии, 1975. Т. 15. Вып. 4(93). С.636-644.
13. Тюрнин Б.В. К методике оценки запасов охотской сельди // Труды ВНИРО. Т. LXII. 1967. С.129-139.

14. *Морозова Л.И.* К вопросу об активности разломов, выявляемой в поле облачности на спутниковых снимках Земли // Исследование Земли из космоса, 2005. Вып. 2. С.27-30.
15. *Люшин П.В.* Лимитирование воспроизводства рыбных популяций сейсмической активностью в местах разгрузки углеводородных флюидов. // Материалы XVII Международной научной конференции (школы) по морской геологии 12-16 ноября 2007 г. Т. 2. М.: ГЕОС. С.257-259.
16. *Пахомов Л.А., Люшин П.В., Чернявский Е.Б.* Учет искажающего влияния атмосферы при оценке альбедо и температуры поверхности Каспийского моря по данным аппаратуры AVHRR спутников NOAA // Исследование Земли из космоса, 2004. Вып.4. С.68-72.
17. <http://www.ssmi.com/>.
18. *Катунин Д.Н., Голубов Б.Н., Кашин Д.В.* Импульс гидровулканизма в Дербентской котловине Среднего Каспия как возможный фактор масштабной гибели анчоусовидной и большеглазой килек весной 2001 г. Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2001 год. Астрахань, 2002. С.41-55.
19. *Люшин П.В., Егоров С.Н., Сапожников В.В.* Сопоставление сейсмической активности в Каспийском регионе с изменениями численности кильки в Каспийском море // Рыбное хозяйство, 2006. №2. С.62-64.
20. <http://muis-env.esrin.esa.it/geteolisa/manual.html>.
21. <http://www.cdc.noaa.gov/histdata/>.
22. *Успенский А.Б., Сутовский В.М.* О дистанционном определении температуры подстилающей поверхности с учетом ее нечерноты по данным спутниковых измерений ИК-излучения в диапазоне 10,5–12,5 мкм // Тр. ГосНИЦИПР, 1989. Вып.33. Серия Б. С.66-77.