

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

# РОЛЬ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

© 2012 г. А. Н. Бадалова

*Национальная академия авиации, Баку, Азербайджан*

*E-mail: spaseazer@rambler.ru*

Поступила в редакцию 14.10.2009 г.

После доработки 16.03.2011 г.

Рассматриваются перспективы развития методов и средств дистанционного зондирования (ДЗ) для решения задач экологического мониторинга прибрежной зоны. Предложены способы наблюдения динамики береговой линии, идентификации источников загрязнения в прибрежной зоне с помощью данных ДЗ, наземных измерений и геоинформационных технологий.

**Ключевые слова:** речные выносы, загрязнение, нефть, геоинформационные технологии, наземный приемный комплекс, распознавание, нефтяные пленки, спутниковая информация

### ВВЕДЕНИЕ

Повышенный интерес к углеводородным запасам Каспия, развитие добычи и транспортировки нефти, рост населения в прибрежных городах, применение новых синтетических веществ в быту, химизация с.-х. и загрязнение промышленными отходами непрерывно ухудшают экологическую ситуацию в Каспийском море. В результате всего этого экологическое состояние бассейна носит напряженный, а в некоторых местах катастрофический характер. Результаты современных научных исследований подтверждают, что море находится под влиянием мощных антропогенных воздействий, приводящих к ряду негативных экологических последствий (Касумов, 1987; Зонн, 2002; Мамедов, 2000; Мамедов, Беркилиев, 2005). Так, отдельные районы Каспия уже превратились в мертвые зоны, где почти не встречаются рыбы и беспозвоночные животные. В общем, воды Каспийского моря характеризуются как “загрязненные” (Лиленберг, 1993, 1994; Зонн, 1999; Панин и др., 2005; Мамедов, 2007).

Экологические проблемы Каспия и его побережья являются следствием всей истории экстенсивного экономического развития в странах региона. На это накладываются как долговременные природные изменения (вековые колебания уровня моря, изменение климата), так и социально-экономические проблемы сегодняшнего дня (экономические кризисы, региональные конфликты, развитие добычи нефти и т.д.) (Зонн, 1999). Учет и исследования техногенных факторов загрязнения акватории Каспийского моря, их взаимосвязь с природной средой – трудоемкая и многофакторная задача. Она требует информационной поддержки различных факторных данных

и применения современных методов их анализа. В этом отношении данные дистанционного зондирования (ДЗ) являются реальными источниками информации, а геоинформационные системы (ГИС) – средством их анализа и интеграции с другими источниками данных (Аковецкий, 1983; Дейвис и др. 1983; Иванов и др., 2007; Лурье, Косиков, 2003; Лаврова, 2005) Можно сказать, что развитие геоинформатики и геоинформационных технологий дало мощный инструмент для сбора, систематизации и анализа многофакторной информации в аспекте проведения экологического мониторинга, обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений для оценки и устойчивого развития прибрежных территорий (Берлянт, 1997; Ванюшин и др., 1981; Курбатова, 2000; Лаврова, 2005; Лебедев, Костяной, 2005).

В свою очередь системы информационной поддержки принятия решений должны сегодня иметь оперативно и непрерывно поступающие достоверные данные, четко привязанные к пространственно-временной шкале. Такими данными, бесспорно, являются материалы аэрокосмической съемки и результаты их обработки (Дейвис и др., 1989; Аковецкий, 1983; Кондратьев, Гительзон, 1988). Технология ДЗ основывается, во-первых, на способности земной поверхности отражать излучение и излучать самой, во-вторых, на свойстве некоторых материалов регистрировать такое излучение, и, в-третьих, на особенностях перемещения носителя съемочной аппаратуры. Наблюдение поверхности Земли ведется во всех возможных областях спектра: видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах (Лабутина, 2004).

В данной работе рассматривается одна из приоритетных задач исследования состояния Каспийского моря — экологический мониторинг с помощью методов и средств ДЗ.

### МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ НА БАЗЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Главной особенностью современного этапа развития дистанционного мониторинга в Азербайджане являются разработка и использование новых технических средств сбора и обработки данных (Иванов и др., 2007; Аббаслы и др., 2009; Ширинзаде и др., 2009). Основными направлениями работ являются:

- использование космических снимков различного пространственного разрешения;
- сбор информации с 2007 г., что связано с функционированием наземной приемной станции (прием информации со спутников Terra и Aqua);
- внедрение ГИС, создание которых в последнее время связано с ВЕБ-технологиями. В интерактивном режиме посредством Интернет мы получаем большое количество информации, которая частично отвечает запросам по исследованиям причин, степени и типам загрязнения морской среды в прибрежной зоне ([www.dataplus.ru/Argrev/Number\\_44/Index.html](http://www.dataplus.ru/Argrev/Number_44/Index.html); Кошкарев, 2008).

На нескольких примерах в данной статье будет показана роль спутниковой информации при мониторинге прибрежной зоны Каспийского моря.

#### *Мониторинг Бакинской бухты*

Источники информации: наземные измерения уровня загрязнения в 16-ти пунктах забора проб морской воды и донных отложений в Бакинской бухте (рис. 1а, б); космоснимки Cartosat 2 (2007 г.), Landsat TM (1998, 2004 гг.), SPOT 5 (2007 г.); топографические карты (1982 г.).

Мониторинг в Бакинской бухте и оценка техногенного загрязнения проводились на основе наземных измерений состава морской воды и донных отложений в различных пунктах забора проб в бухте, картографических материалов, метеорологических данных и по результатам обработки космических снимков. С этой целью в базу данных были введены и систематизированы результаты полевых измерений за 2004–2005 гг., которые были привязаны к картматериалам и снимкам посредством ГИС-технологий (рис. 1а, 3б). На основе собранных данных были построены картосхемы, графики, гистограммы, что значительно облегчило возможности сравнительного анализа. Преимущества ГИС-технологий заключались в том, что на мониторе актуализируется разнородная информация о техногенном загряз-

нении Бакинской бухты в виде информационных слоев, данные сопоставимы посредством привязки к местности в единой базовой картографической проекции. При этих обстоятельствах анализ и обработка данных по определенной методологии показали:

- значительное превышение ПДК по таким составляющим, как хлор, сульфаты, щелочность;
- превышение ПДК по нефтепродуктам;
- среди тяжелых металлов значительное превышение ПДК по цинку, никелю, кобальту.

Как указывают литературные данные (Викторов, 2006; Зонн, 2002; Осадчий, 2002; Мамедов, 2000), подтвержденные результатами обработки космических снимков, основными загрязняющими источниками являются:

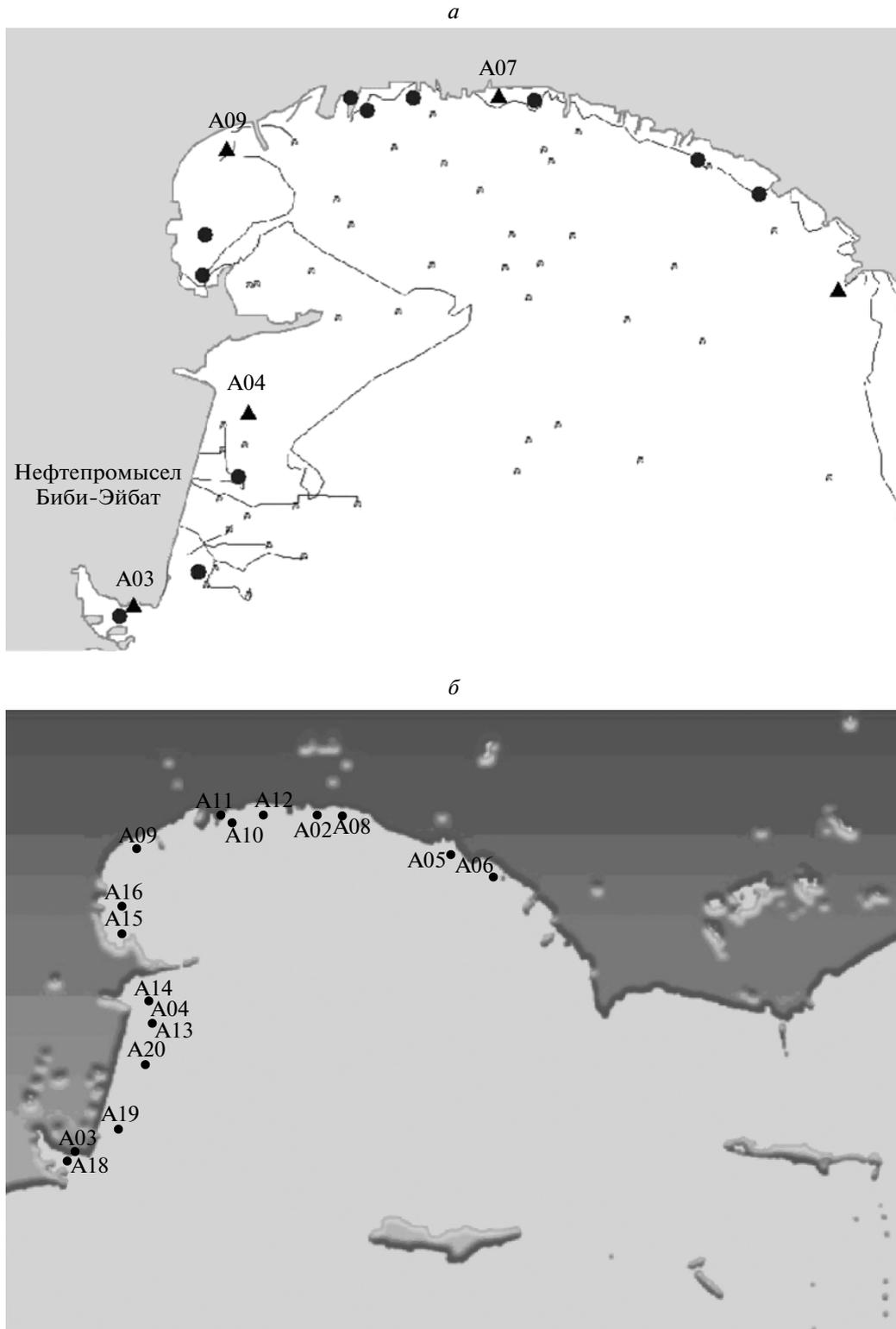
- добыча нефти и газа;
- нефтеперерабатывающие заводы: выпуск сточных вод и нефтяных отходов;
- городские и другие промышленные выпуски сточных вод;
- заброшенные территории промышленного производства;
- мусор и старые конструкции;
- подводные сооружения и останки кораблей (в морской части бухты);
- выбросы с судов (отработанные масла, воды после очистки баков и балластные воды).

#### МЕТОДОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Методология обработки данных состояла в следующем: по всем 16-ти пунктам измерений были собраны и обработаны данные по химическому составу морской воды и донных отложений, проведен сравнительный анализ относительно ПДК. По данным, приведенным на диаграммах (рис. 2), видно, что в донных отложениях наибольшую концентрацию имеют железо, цинк, никель, медь, содержание нефтяных продуктов и фенолов находится выше предельной концентрации (рис. 2а, б). По данным проб морской воды (рис. 2в–з), наблюдается очень сильное превышение ПДК по щелочности, хлору и сульфатам.

На рис. 3 показан космический снимок, на котором мы смогли выделить донные отложения в Бакинской бухте. Координаты местоположения пунктов забора проб были получены с помощью GPS-технологий, что позволило наложить их на привязанный снимок (рис. 3б).

Вторая часть методологии обработки данных состояла в интеграции наземных измерений с данными ДЗ. Все пункты измерений были нанесены на изображение, и данные измерений сопоставлялись с пространственной яркостной информацией в шести зонах электромагнитного спектра спутникового изображения Landsat TM (2004 г.).



**Рис. 1.** Карты местоположения пунктов сбора проб в эксперименте: *a* – пункты сбора проб морской воды (кружки), и пункты взятия проб донных отложений (треугольники); *б* – рельеф береговой зоны и местоположение пунктов забора проб морской воды.

При детальном анализе космического снимка высокого разрешения (SPOT 5) можно наблюдать места выбросов с канализационных труб и потоки загрязнения, выносимые в море (рис. 4а, б). При сопоставлении с картографическим материалом местоположение наиболее загрязненной морской воды совпадает с местом выброса канализационных труб. На рис. 4в темным пятном идентифицируется распространение выбросов с основного городского коллектора. На снимке можно выделить распространение выбросов (светлая широкая полоса) от берега в индустриальном районе прибрежной зоны.

Анализируя полученные снимки, можно сказать, что загрязнители могут находиться далеко от побережья, но в результате наличия каналов, канализационных труб предприятий, городских коллекторов, а также с.-х. деятельности они попадают в море.

### МОНИТОРИНГ РЕЧНЫХ ВЫНОСОВ

Другими источниками поступления загрязняющих веществ в Каспийское море являются: вынос их с речным стоком; сброс неочищенных промышленных и с.-х. стоков; сброс коммунально-бытовых сточных вод городов и поселков, расположенных на побережье моря; судоходство; эксплуатация нефтяных и газовых скважин; транспортировка нефти морским путем (Панин и др., 2005; Иванов и др., 2007; Викторов, 2006).

Если раньше основными источниками загрязнения являлись нефтепромыслы на побережье, то сегодня значительное количество нефтепродуктов поступает с водами рек. От года к году качество морских вод ухудшается — главным образом из-за увеличения объемов стоков населенных пунктов, недостаточной степени очистки на существующих очистных сооружениях, вымывания пестицидов и ядохимикатов с орошаемых земель коллекторно-дренажными водами.

#### *Дельта реки Кура*

Прибрежная территория Каспийского моря постоянно испытывает большую техногенную и природную нагрузку. На рис. 5а показана зона распространения речного стока р. Кура в прибрежной части моря. По данному снимку было определено, как изменилось русло дельты реки в результате заиления ее нижней части по сравнению с 1992 г. (рис. 5б).

В отсутствие заиления в 1992 г. основной речной сток осуществлялся с концов двух рукавов, но в 1998 г. по снимку Landsat TM уже наблюдается образование пролива в конце главного рукава, причиной которого было поднятие уровня моря. Результатом этого процесса является заиление в конце главного рукава дельты реки, и русло реки

здесь меняет свое направление. Несомненно, роль архивных снимков для сравнительного анализа и выявления динамики береговой линии очень важна, так как они являются источником достоверной информации.

Рассмотрим в этом плане динамику береговой линии в Северной части прибрежной зоны азербайджанской территории Каспийского моря.

На рис. 6в показан классифицированный снимок Landsat TM 2004 г. территории вокруг лимана в Северной части побережья. Особенно хорошо подчеркнута наличие лагун, которые образовались в результате поднятия уровня моря. Большая часть лимана в это время года покрыта болотной растительностью. Наблюдаются засоление почв вокруг лимана, зарастание растительностью песчаного берега. При сравнении с топокартой 1982 г. (рис. 6а) и снимком Landsat TM 1998 г. (рис. 6б), можно наблюдать динамику береговой линии в результате поднятия уровня моря. На топокарте видна сплошная береговая линия.

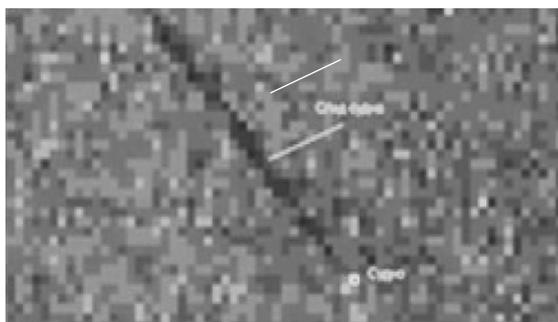
На рис. 6б виден берег лиманного типа, береговая линия изменена лагуной, песчаными отмелями, хорошо прослеживаются дюны. Увеличилась площадь болота, вокруг лимана появились корки соли и засоленные почвы. В данном случае изменился ландшафт прибрежной зоны (сочетание лиманного типа берега в 1982 г. на лиманный и лагунный в 1998 г.). Анализ современного состояния объекта по снимку SPOT 5 (2007 г.) из Google Earth показывает, что этот процесс продолжается (увеличилась площадь заболачивания вокруг лимана, площадь лагуны увеличивается вглубь суши).

На рис. 7а представлен снимок Landsat TM северной части азербайджанского побережья Каспийского моря. С помощью преобразования “эквализации” (Дейвис и др., 1983) подчеркнута разное состояние именно водной поверхности и смазан береговой рисунок. Преобразованный снимок (рис. 7б) четко выделяет границы распространения выносов рек, протекающих в северной части территории Азербайджана, а также р. Самур. На рис. 7в зона мутных вод подчеркнута контурной линией и видно, что вихревые потоки способствуют дальнейшему распространению речных выносов вглубь моря.

Обработка спутниковых данных (рис. 7а) проводилась с помощью программы ScanMagic, которая является частью программного обеспечения наземного комплекса приема спутниковой информации UniScan-24.

Таким образом, совместная обработка результатов наземных измерений и данных ДЗ с помощью ГИС-технологий увеличивает возможности анализа экологической обстановки и динамики береговой зоны.

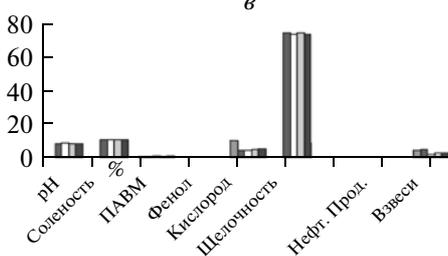
а



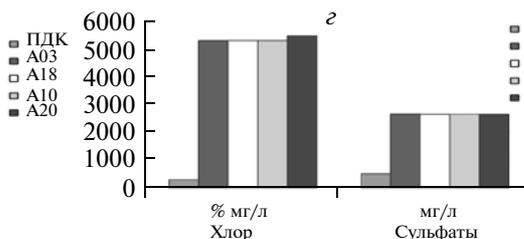
б



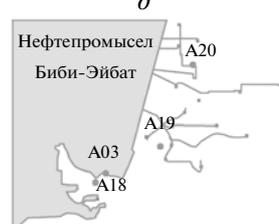
в



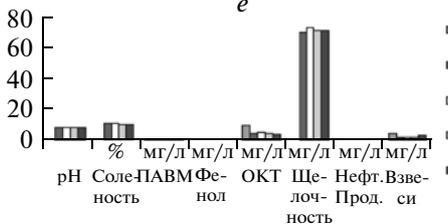
г



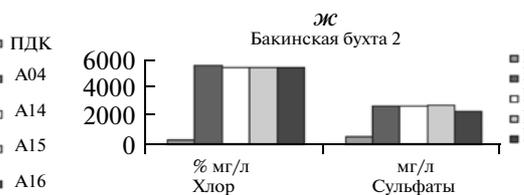
д



е



ж



з

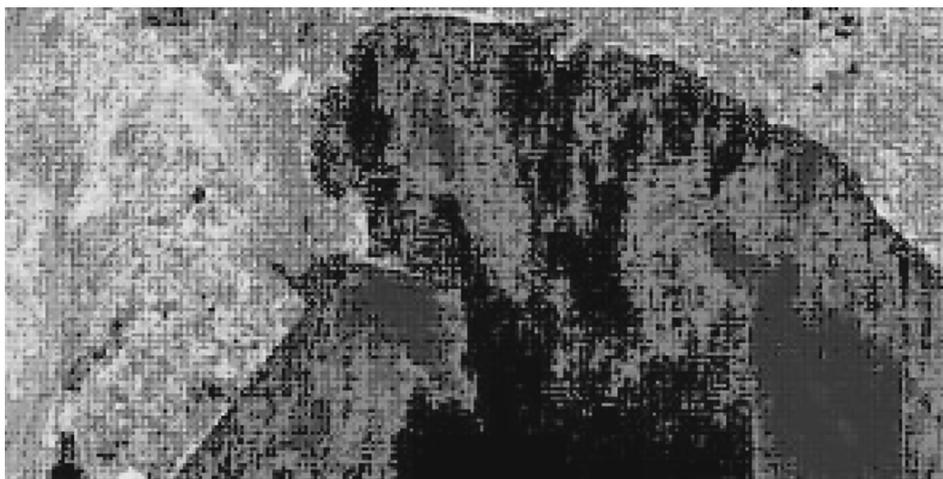


**Рис. 2.** Мониторинг содержания тяжелых металлов, нефтепродуктов и фенолов в донных отложениях Бакинской бухты относительно ПДК (данные 2004 г.): *a* и *б* – след от судна и загрязнений нефтепродуктами на космических изображениях; *в* – диаграмма по химическому составу в пунктах А03, А18, А19, А20; *г* – диаграмма по содержанию хлора и сульфатов в пунктах А03, А18, А19, А20; *д* – местоположение пунктов А03, А18, А19, А20; *е* – диаграмма по химическому составу в пунктах А04, А14, А15, А16; *ж* – диаграмма по содержанию хлора и сульфатов в пунктах А04, А14, А15, А16; *з* – местоположение пунктов А04, А14, А15, А16.

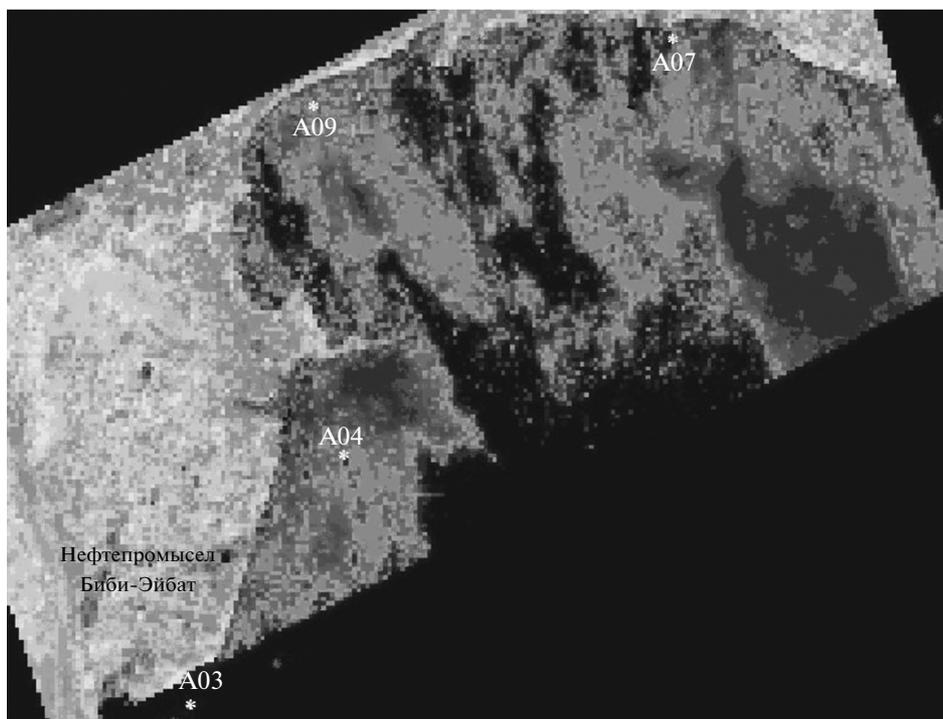
Однако для осуществления комплексного исследования, несомненно, необходимо проведение регулярных съемок в течении длительного

времени. Это обстоятельство предполагает наличие наземной приемной станции. В настоящее время существуют многофункциональные назем-

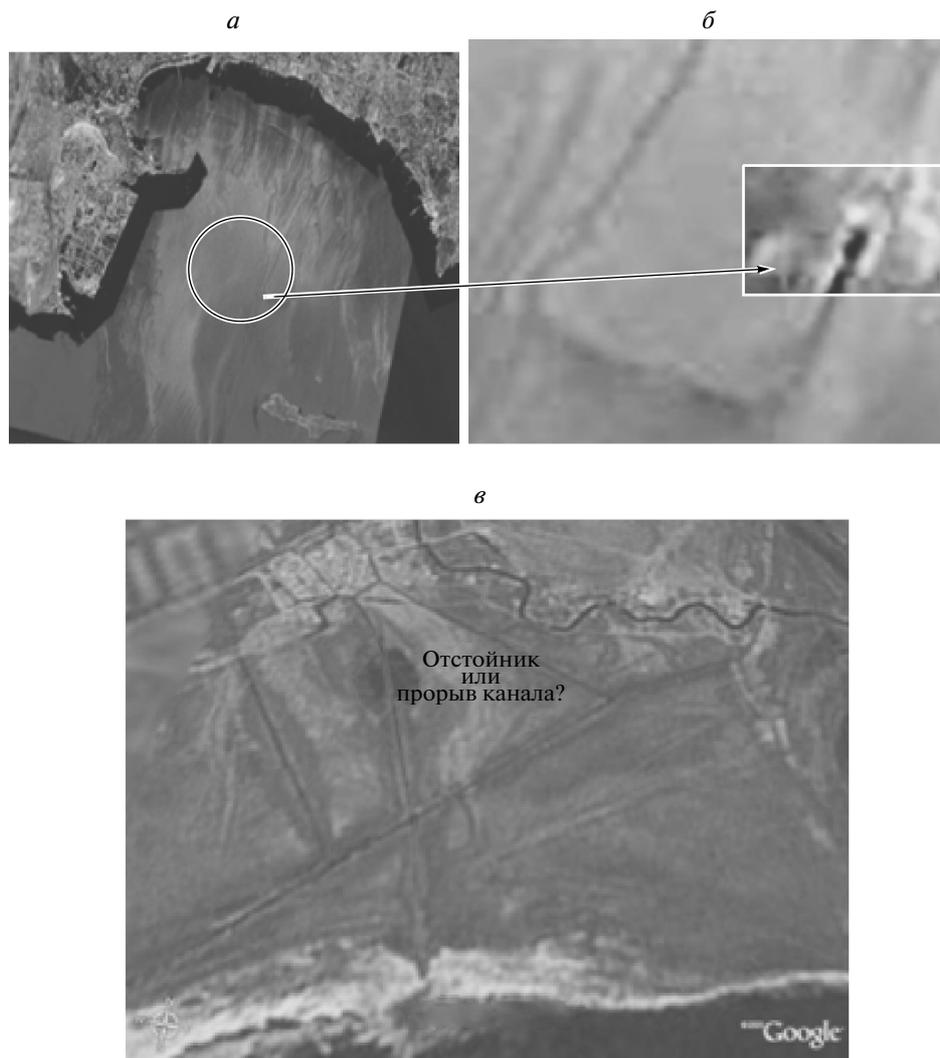
*a*



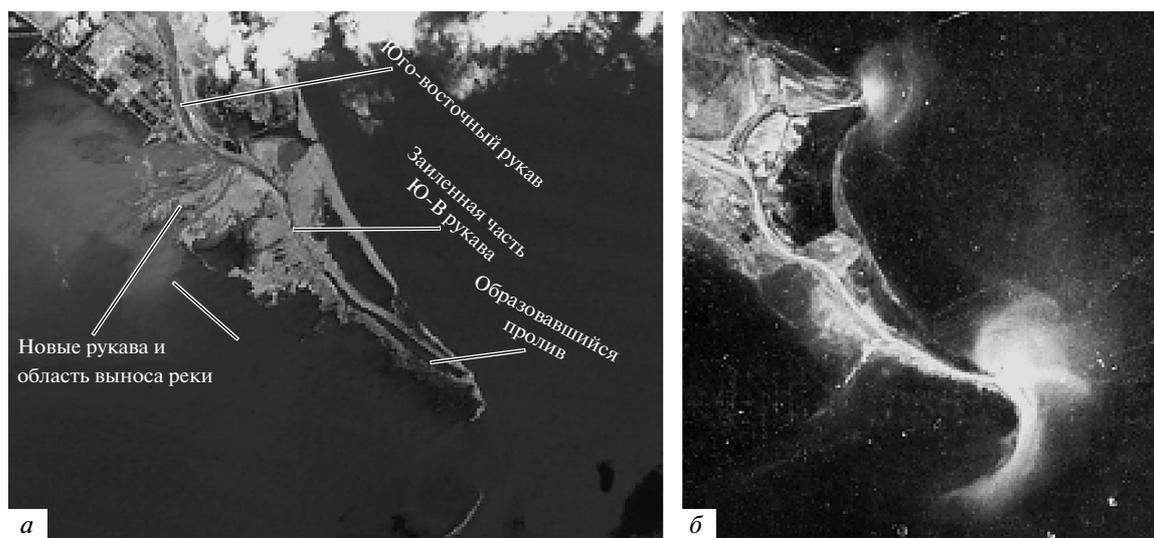
*б*



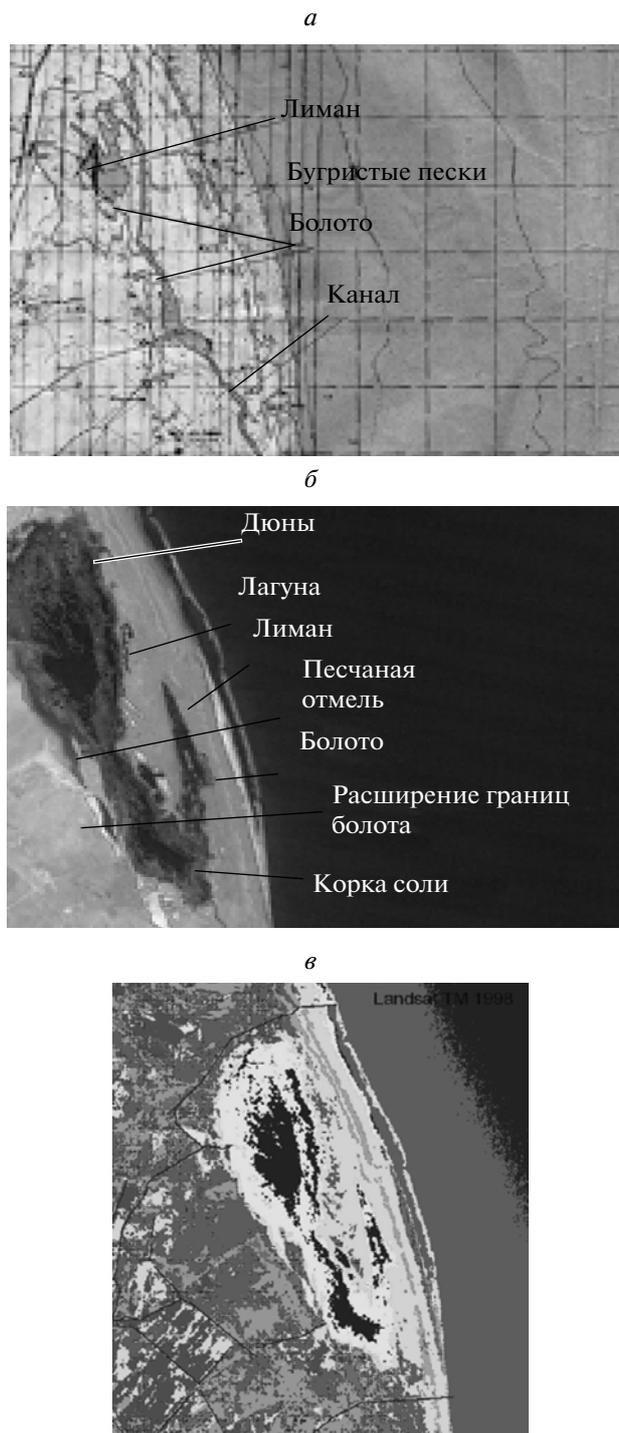
**Рис. 3.** *a* – Исходный снимок Lansat 2001 г. – рельеф дна Бакинской бухты и распространение донных отложений; *б* – привязанный снимок и расположение пунктов А03, А04, А07, А09 сбора проб донных отложений.



**Рис. 4.** *a* – Космический снимок SPOT 5 (контуrom показана канализационная труба); *б* – его увеличенный фрагмент, показывающий факел выброса с канализационной трубы; *в* – распространение выбросов с основного городского коллектора (темные пятна).



**Рис. 5.** Мониторинг дельты р. Куры: *a* – заиление главного рукава, образование залива, в итоге русло меняет направление стока; *б* – вынос речных наносов с двух основных рукавов реки в 1992 г. до поднятия уровня моря.

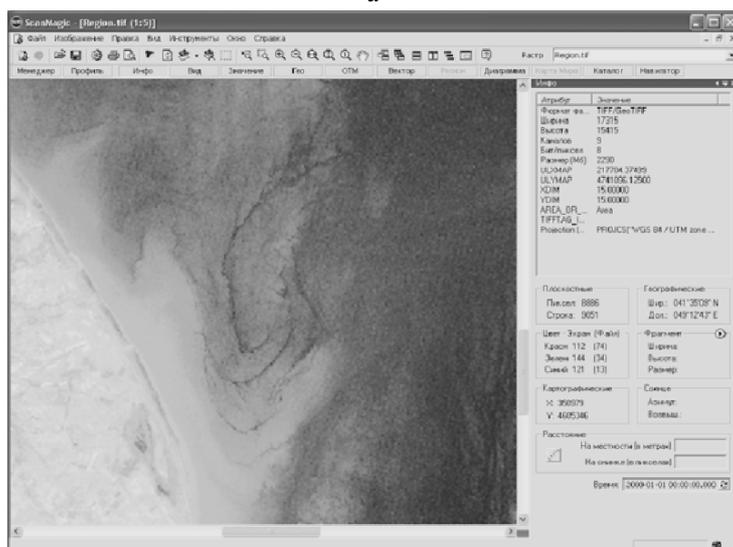


**Рис. 6.** *a* – Топографическая карта местности 1982 г.; *б* – снимок Landsat TM 1998 г.; *в* – классифицированный снимок Landsat TM 2004 г.

ные комплексы, принимающие информацию с различных спутников в различных диапазонах спектра и с различным пространственным разрешением (Гершензон, Кучейко, 2006). Так, в Национальном аэрокосмическом агентстве Азербайджана (НАКА) был установлен и оснащен про-

граммным обеспечением приемный комплекс UniScan-24 Инженерно-технического центра (ИТЦ) ScanEX, имеющий возможность принимать информацию с различных природоресурсных спутников (Абаслы и др., 2009; Ширинзаде и др., 2009).

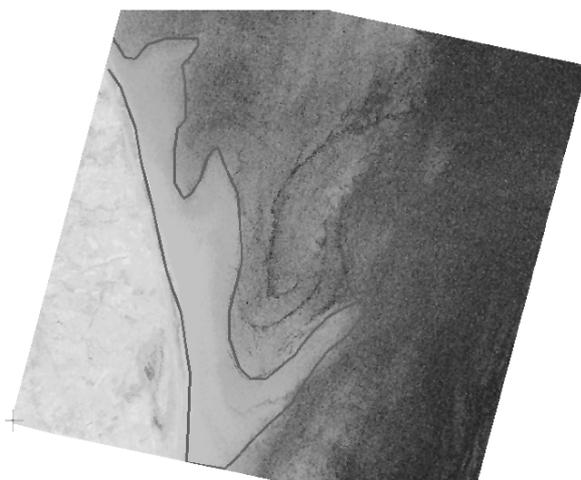
а



б



в



**Рис. 7.** а – Преобразованный снимок Landsat TM в программе ScanMagi (северная часть побережья Каспийского моря); б – дополнительное преобразование снимка, с помощью которого четко выделены границы распространения речных выносов; в – географически привязанный снимок с выделенным контуром распространения мутных вод речных выносов.

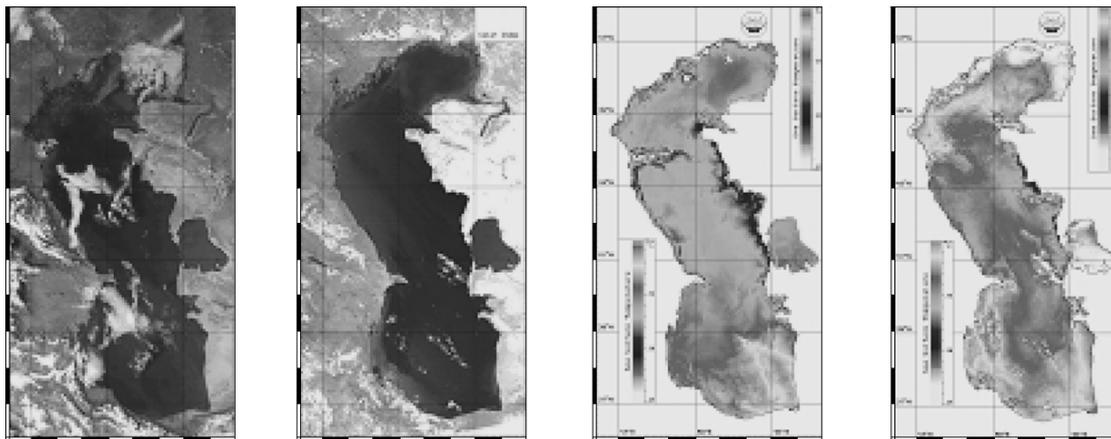


Рис. 8. Пример оценки состояния поверхности моря по данным MODIS (2009 г.).

Появление такого инструмента, как MODIS с улучшенными спектральными и пространственными разрешениями, позволяет осуществлять мониторинг бассейна Каспийского моря с разрешением 250 м. Регулярные съемки позволяют проводить мониторинг пожаров, наводнений и сезонную изменчивость поверхности моря (рис. 8).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассматриваются возможности мониторинга прибрежной зоны Каспийского моря с помощью разновременных данных ДЗ, сопоставления с наземными измерениями и картографическими материалами. Исследована динамика береговой зоны по данным Landsat TM 1998, 2004 гг. и снимкам более высокого разрешения (SPOT 5, Cartosat 2). По сравнению с топографическими картами местности, прослеживается динамика береговой зоны вплоть до изменения типов ландшафта по причине поднятия уровня моря и антропогенной деятельности. Показана роль архивной и текущей спутниковой информации при фиксировании произошедших изменений. Роль данных ДЗ при мониторинге прибрежной зоны можно повысить при наличии регулярных съемок, в этом отношении мы имеем значительный потенциал архивных снимков, полученных с помощью комплекса приема спутниковой информации UniScan-24 ИТЦ ScanEX. В настоящее время этот материал обрабатывается, и результаты будут предложены в наших следующих публикациях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аббаслы Г.У., Исмадова Х.Р., Умудова А.А., Сулейманова Е.Д., Мусаханова Л.И. Новый подход к организации функций приема и хранения спутниковой информа-

ции большого объема // Изв. НАКА. 2009. Т. 12. № 2. С. 28–35.

Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983. 373 с.

Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. М., 1997. 64 с.

Ванюшин Г.П., Дядюнов В.Н., Сажин С.М. Анализ данных синхронных измерений с ИСЗ “Метеор” и судов у Восточного побережья Каспийского моря // Исслед. Земли из космоса. 1981. № 4. С. 54–60.

Викторов С. Аэрокосмический мониторинг для обнаружения загрязнений морей России нефтепродуктами и юридического преследования нарушителей // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 3. С. 71–73.

Гершензон В.Е., Кучейко А.А. Стандартизация оборудования станций приема данных ДЗ // Пространственные данные. 2006. № 1. С. 33–40.

Дейвис М. и др. Дистанционное зондирование: Количественный подход. М.: Недра, 1983. 415 с.

Зонн И.С. Каспий: Иллюзии и реальность. М.: ТОО Коркис, 1999. 467 с.

Зонн И.С. Экологические проблемы Каспия // Экология и жизнь. 2002. № 6. С. 48–50.

Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Затягалов 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.

Касымов А.Г. Каспийское море. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 145 с.

Кондратьев К.Я., Гителзон А.А. Принципы аэрокосмического мониторинга качества поверхностных вод суши // ДАН СССР. 1988. Т. 299. № 3. С. 590–595.

Кошкарёв А.В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами // Пространственные данные. 2008. № 8. С. 6–15.

Курбатова Е.И. Картографическое обеспечение экологического мониторинга морских побережий // Экологические системы и приборы. 2000. № 9. С. 2–6.

Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект пресс, 2004. 183 с.

- Лаврова О.Ю.* Стики как индикаторы вихревой активности в прибрежной зоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2005. Вып. 2. Т. 2. С. 118–124.
- Лебедев С.А., Костяной А.Г.* Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. М.: Море, 2005. 366 с.
- Лилиенберг Д.А.* Тенденция современной эндодинамики Каспия и изменения уровня моря // Докл. РАН. 1993. Т. 331. № 6. С. 745–750.
- Лилиенберг Д.А.* Новые подходы к оценке современной эндодинамики каспийского региона и вопросы ее мониторинга // Изв. РАН. Сер. геогр. 1994. № 2. С. 16–35.
- Лурье И.К., Косиков А.Г.* Теория и практика цифровой обработки изображений. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / Под ред. Берлянта А.М. М.: Научный мир, 2003. 168 с.
- Мамедов Р.М.* Изменчивость гидрофизических полей и распространение загрязнителей в Каспийском море. Баку: Элм, 2000. 185 с.
- Мамедов Р.М.* Гидрометеорологическая изменчивость и экогеографические проблемы Каспийского моря. Баку: Элм, 2007. 433 с.
- Мамедов Р.М., Беркелиев Т.А.* Основные экологические проблемы Каспийского региона // Изв. НАНА. Серия наук о Земле. 2005. № 3. С. 32–48.
- Осадчий А.* Большая нефть Каспия // Наука и жизнь. 2002. № 12. С. 70–76.
- Панин Г.Н., Мамедов Р.М., Митрофанов И.В.* Современное состояние Каспийского моря. М.: Наука, 2005. 355 с.
- Румянцев И.Г., Рутковский А.М.* Экологический портал INFOECO.RU [http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number\\_44/Index.html](http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_44/Index.html).
- Ширинзаде А.М., Агаев Ф.А., Исмамова Х.Р., Салахова С.Э.* Описание класса задач обработки данных дистанционного зондирования для оценки гидрологических опасных ситуаций // Изв. НАКА. 2009. Т. 12. С. 3–10.

## **Role of the Satellite Information in Problems of Ecological Monitoring of the Caspian Sea Coastal Zone**

**A. N. Badalova**

*National Academy of Aviation, Baku, Azerbaijan*

In article prospects of development of methods and remote sensing instruments for the decision of problems of ecological monitoring of a coastal zone are considered. With installation and equipment of the ground complex of reception and storage of the satellite information there were real possibilities of carrying out and the decision of problems of daily ecological monitoring of a sea surface and a land. Various ways of supervision of dynamics of a coastal line, sources of pollution of a coastal zone by means of data of remote sounding and other information technologies are considered.

**Keywords:** waste, oil, geoinformation technology, ground complex, recognition, oil slick, space information