

**В.В. Асмус** (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1976 г. окончил Московский институт электронного машиностроения по специальности «прикладная математика». После окончания института работает в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – директор ГУ «НИЦ «Планета». Доктор физ.-мат. наук, профессор.

**А.М. Алферов** (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1964 г. окончил Московский физико-технический институт по специальности «инженер-аэрофизик». После окончания института работал в ЦНИИМаш, ИПМ РАН им. М.В. Келдыша, ИГКЭ, ВНИЦлесресурс, с 2001 г. в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – зав. лабораторией ГУ «НИЦ «Планета», кандидат физ.-мат. наук.

**В.А. Кровотынец** (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1970 г. окончил Севастопольский приборостроительный институт по специальности «радиоинженер». До 1988 г. работал в Морском гидрофизическом институте Академии наук Украины, далее в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – зав. отделом ГУ «НИЦ «Планета», кандидат физ.-мат. наук.

## Использование данных спутникового мониторинга для изучения гидрометеорологической и экологической обстановки на шельфе северо-западной части Каспийского моря\*

В 2007–2010 гг. по заказу Нефтяной компании (НК) «ЛУКОЙЛ» ГУ «НИЦ «Планета» (как головной исполнитель в составе кооперации организаций Росгидромета) выполнил ряд проектов по разработке временных локальных технических условий (ВЛТУ) гидрометеорологического режима на объектах обустройства месторождений имени В. Филановского и Ю. Корчагина, расположенных на шельфе северо-западной части Каспийского моря. Данные ВЛТУ в дальнейшем используются в расчетах при проектировании различных сооружений на морском шельфе (платформ, жилых блоков, трубопроводов и др.). При выполнении этих проектов рассчитыва-

лись характеристики гидрометеорологического и ледового режима в различных точках Каспийского моря с использованием текущих и архивных данных спутниковых и судовых наблюдений, а также результатов гидродинамического и вероятностного моделирования многолетних рядов гидрометеорологической информации [1]. В этих работах эффективно использовались спутниковые данные и результаты их обработки, в том числе для восполнения информации по районам, плохо обеспеченным судовыми данными, а также для сопровождения судовых экспедиций, проводимых по заказу нефтяной компании.

\* В подготовке статьи принимали участие также сотрудники ГУ «НИЦ «Планета» З.В. Андреева (младший научный сотрудник), О.Н. Григорьева (старший научный сотрудник), Н.П. Иванова (старший научный сотрудник), И.С. Тренина (зав. лабораторией).

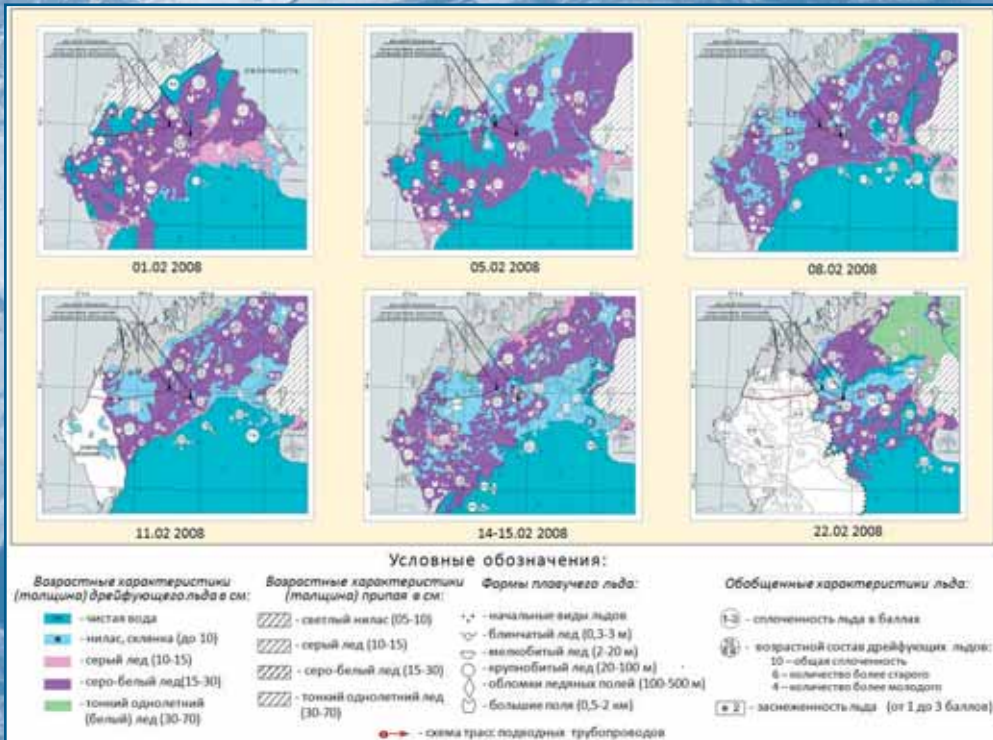


Рис. 1.

Карты-схемы ледовой обстановки северо-западной части Каспийского моря, составленные по данным ИСЗ Terra/MODIS, NOAA-18/AVHRR

Кроме того, в рамках выполнения целевых научно-технических программ Росгидромета в ГУ «НИЦ «Планета» проводятся работы по созданию и развитию технологий подготовки спутниковой информационной продукции для различных морских акваторий, включая Каспийское море. С использованием данных технологий выпускаются карты ледовой обстановки, температуры морской поверхности, приводного ветра, концентрации хлорофилла-а, загрязнений морской поверхности нефтепродуктами и др., формируются долговременные ряды спутниковой информационной продукции как индикаторы климатических изменений. Выпускаемая продукция также представляет большой интерес для нефтяных и газовых компаний, ведущих разработки на шельфе.

Для информационного обеспечения проектов использовались данные отечественных и зарубежных космических аппаратов, принимаемые на наземном комплексе приема, обработки и распространения спутниковых данных (НКПОР) Росгидромета, в том числе российского метеорологического спутника «Метеор-М» №1, а также зарубежных полярно-орбитальных спутников серий NOAA, MetOp, EOS (Terra, Aqua) и геостационарных спутников серии METEOSAT, GOES, MTSAT и др. НКПОР Росгидромета включает в себя три объединенных в единую систему центра федерального уровня (Европейский центр – ГУ «НИЦ «Планета» Москва – Обнинск – Долгопрудный, Сибирский – Новосибирск, Дальневосточный – Хабаровск) и 68 автономных пунктов приема спутниковой информа-

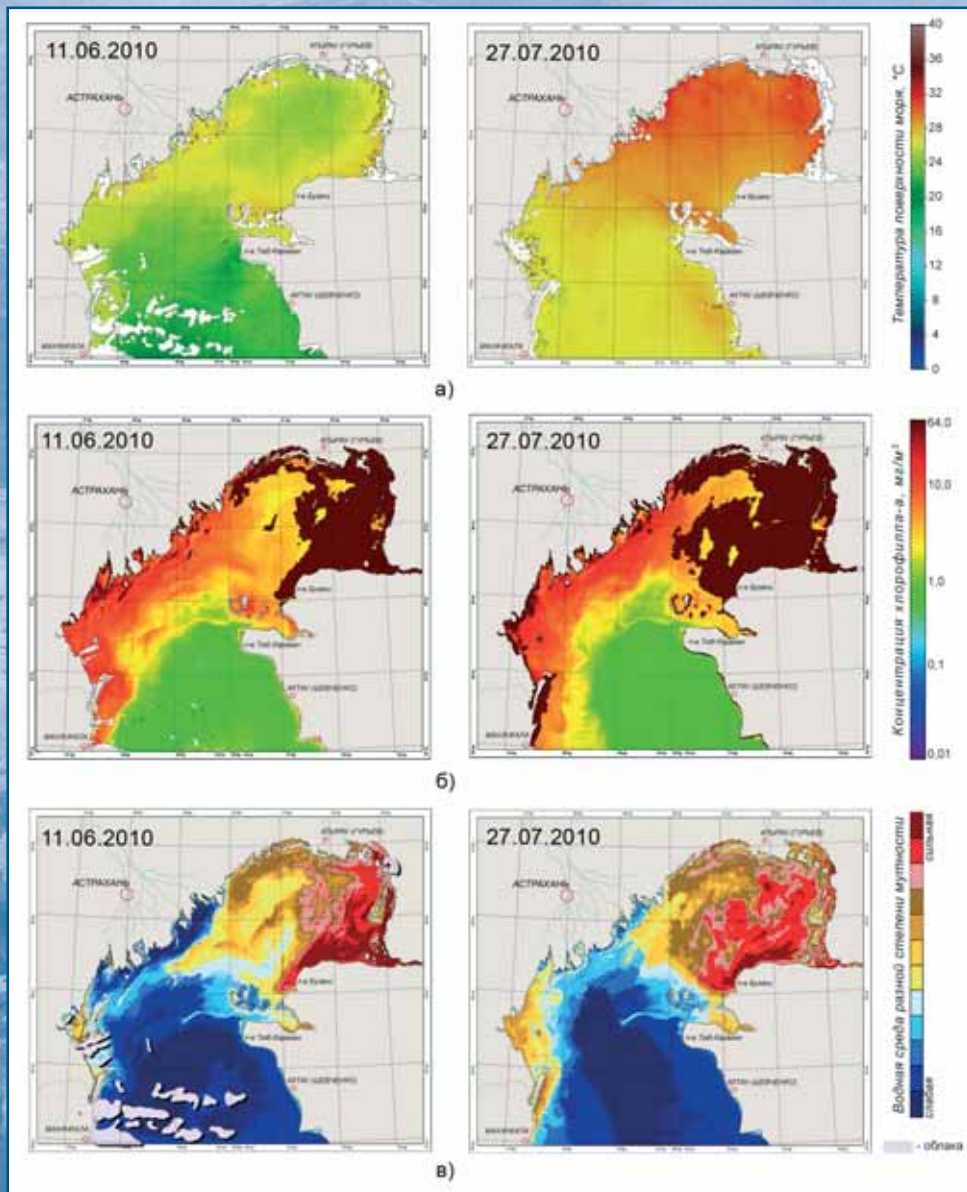


Рис. 2.

Примеры спутниковой информационной продукции, полученной по данным Terra/MODIS (северная часть Каспийского моря)

- а) карты температуры морской поверхности
- б) карты концентрации хлорофилла-а
- в) карты классификации водной среды

Таблица 1

**Статистические характеристики температуры морской поверхности  
в районе месторождения им. В. Филановского, полученные на основе обработки архивных  
спутниковых данных за период 2002–2008 гг.**

Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя температура	1,04	1,20	0,99	8,72	17,48	22,04	25,10	26,81	23,18	17,48	10,39	4,35
Число наблюдений	15	16	24	24	18	24	28	32	26	23	14	17
Максимум	4,25	3,60	10,06	17,57	24,51	27,93	28,70	28,44	24,77	18,71	11,87	6,36
Дата максимума	27.01.03	29.02.04	23.03.04	30.04.05	25.05.05	27.06.06	21.07.08	02.08.07	03.09.07	03.10.02	05.22.04	01.12.05
Минимум	-0,39	-0,88	-0,84	5,41	16,16	19,59	23,46	23,59	17,37	9,62	5,51	-0,21
Дата минимума	28.01.08	20.02.06	03.03.05	01.04.03	05.05.08	01.06.08	02.07.08	30.08.02	30.09.07	31.10.03	24.22.03	30.12.02
СКО	1,45	1,01	2,79	2,96	2,91	1,82	1,40	1,16	1,94	2,45	2,46	1,68

ции. НКПОР Росгидромета является крупнейшим в России и одним из самых крупных в мире центров по объемам принимаемых космических данных, номенклатуре выпускаемой информационной продукции, количеству потребителей [2].

Еще одним источником информации, используемой в проектах, является получение оперативных спутниковых данных по международной системе EARS (EUMETSAT Advanced Retransmission Service). В 2009 г. (в соответствии с соглашением Росгидромет – EUMETSAT) ГУ «НИЦ «Планета» вошел в состав международной системы EARS. Для этой цели в ГУ «НИЦ «Планета» первоначально был создан и введен в действие комплекс обработки и оперативного обмена информацией с крупными мировыми спутниковыми центрами. Это позволило обеспечить оперативный доступ через систему EumetCast к данным спутникового зондирования по Северному полушарию Земли, принимаемым в крупных спутниковых центрах Европы и мира.

Реализация проектов по космическому мониторингу морских акваторий

находится в тесном взаимодействии с разработкой и развитием методов и технологий обработки спутниковой информации. В частности, для решения оперативных задач спутникового мониторинга в ГУ «НИЦ «Планета» создана технология построения карт ледовой обстановки по спутниковым данным видимого, инфракрасного или микроволнового диапазонов с использованием автоматизированных и

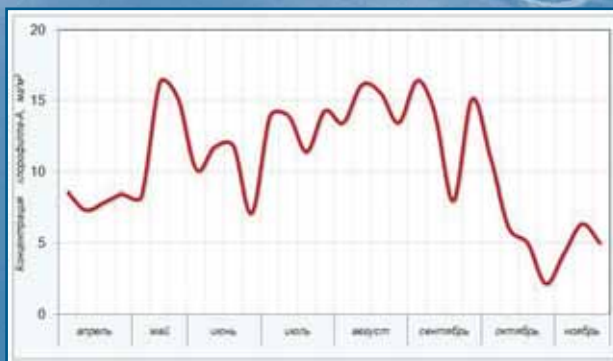


Рис. 3. Сезонные изменения концентрации средних значений (8 дней) хлорофилла-а в 2010 г. на месторождении им. В. Филановского в северо-западной части Каспийского моря



интерактивных методов обработки [3]. В автоматизированном режиме осуществляется предварительная обработка спутниковых изображений (географическая привязка, трансформирование космических изображений в сформированные заранее картографические основы, составление обзорных монтажей). В интерактивном режиме осуществляется дешифрирование на космических снимках ледовых параметров (возраст, спеленность, формы льда, обобщенные характеристики и др.) и их представление на карте в соответствии со стандартами и требованиями ВМО. По данной технологии в ГУ «НИЦ «Планета» ежегодно выпускается более 600 карт ледовой обстановки Арктики, Антарктики и замерзающих морей России. Карты-схемы ледовой обстановки Каспийского моря (рис. 1) строятся с периодичностью приблизительно один раз в неделю, а также размещаются на интернет-сайте нашей организации: <http://planet.iitp.ru>. В рамках взаимодействия с НК «ЛУКОЙЛ» карты-схемы ледовой обстановки Каспийского моря строились с периодичностью 1 раз в 3 суток и использовались для обеспечения экспедиционных работ, проводимых по заказу нефтяной компании, а также для выполнения расчетов отдельных гидрометеорологических и ледовых характеристик, необходимых для разработки ВЛТУ.

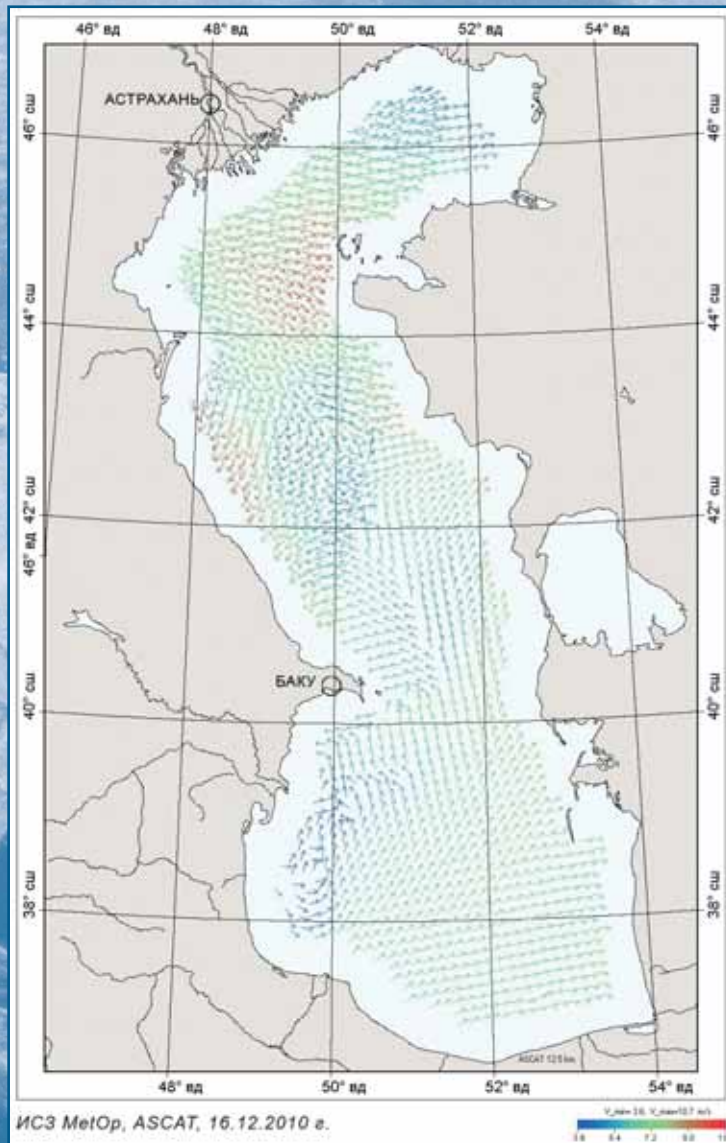


Рис. 4.  
Карта полей приводного ветра Каспийского моря

Еще одним направлением, связанным с решением задач спутникового мониторинга окружающей природной среды, является создание и использование

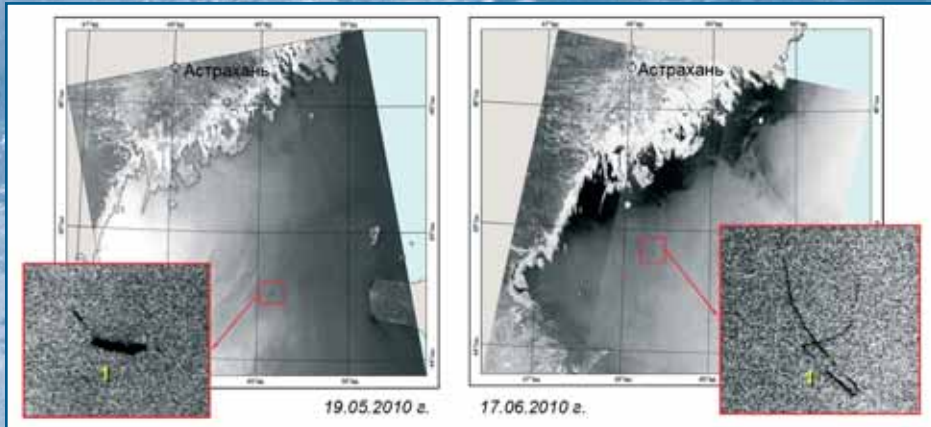


Рис. 5.  
Выявление нефтяных загрязнений на шельфе северо-западной части Каспийского моря по данным ИСЗ Envisat, ASAR. Цифрой 1 обозначены нефтяные пятна

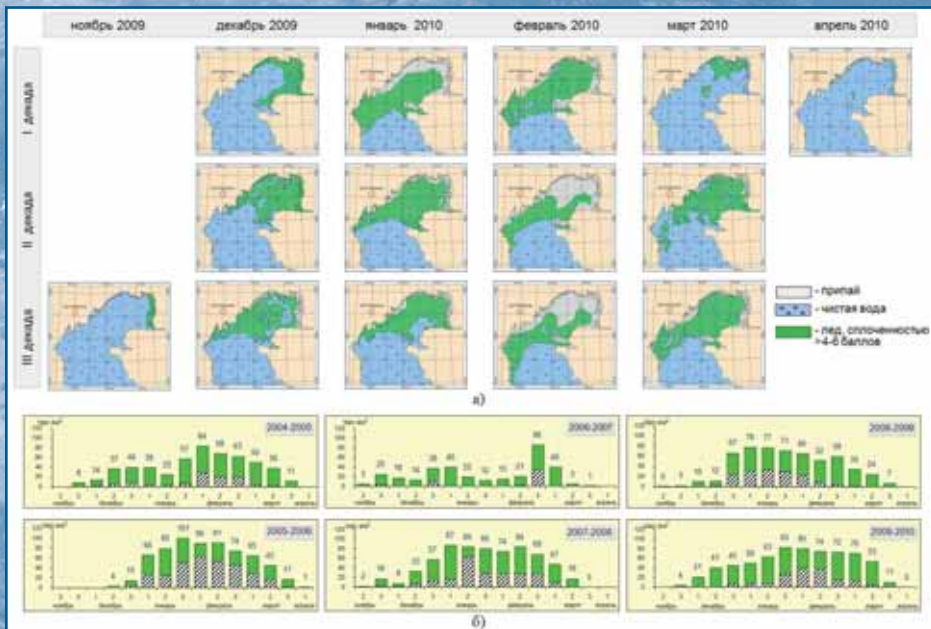


Рис. 6.  
Сезонная и межгодовая изменчивость ледяного покрова Каспийского моря по данным ИСЗ NOAA/AVHRR, Terra, Aqua/MODIS

а) карты-схемы сезонных площадей припая и плавучего льда (ноябрь 2009 – апрель 2010 г.)

б) графики сезонных и межгодовых изменений площади льда (2004–2010 гг.)

технологии автоматизированного распознавания и классификации природных объектов по многозональным спутниковым изображениям. В программной системе, поддерживающей эту технологию, реализованы методы распознавания и классификации без обучения (кластерный анализ) и классификации с обучением. Неконтролируемая классификация (кластерный анализ) в программном комплексе представлена двумя алгоритмами – методом К-средних и методом анализа мод многомерной гистограммы. Результаты кластерной обработки применяются для выбора тестовых участков, используемых в распознавании с обучением. Система классификации с обучением (контролируемая классификация) в программном комплексе состоит из семи классификаторов (один поэлементный классификатор и шесть объектных), основанных на использовании байесовской стратегии максимального правдоподобия, и двух объектных классификаторов, основанных на минимуме расстояния. Выбор оптимального решающего правила (с точки зрения точности распознавания) производится на этапе обучения по результатам классификации тестовых участков. Технология широко использовалась при выполнении спутникового мониторинга состояния водной среды Каспийского моря. По данной технологии для безоблачных и малооблачных спутниковых изображений видимого диапазона строились карты интегральной мутности и прозрачности морской воды (рис. 2в). Для интерпретации результатов автоматизированного распознавания и классификации спутниковых изображений необходимо привлечение дополнительной информации (наземной, судовой, спутниковой и др.) и проведение комплексного анализа всех видов информационной продукции по изучаемой акватории моря. В частности, значительное увеличение интегральной мутности вод в северо-восточной части Каспийского моря в летний период 2010 г. (рис. 2в), наблюдаемое на картах классификации водной среды, построенных по данным Aqua/MODIS, можно объяснить интенсивным развитием фитопланктона и водорослей. Подтверждением этого факта могут служить полученные в то же самое время карты концентрации хлорофилла-а (рис. 2б), указывающие на увеличение концентрации хлорофилла-а в районах повышения интегральной мутности вод, а также карты температуры морской

поверхности (рис. 2а), на которых наблюдается увеличение поверхностной температуры моря, способствующей интенсивному развитию фитопланктона и водорослей.

В настоящее время в ГУ «НИЦ «Планета» действуют технологии построения оперативных (режим, близкий к реальному времени) и композиционных карт температуры морской поверхности (ТПМ) на основе использования данных ИК-диапазонов спектро радиометров ИСЗ NOAA и AQUA. По данной технологии выходная продукция выпускается в виде растровых изображений ТПМ в формате jpg (рис. 2а), а также в виде цифровых массивов данных (широта, долгота, температура) в текстовом формате. Ежедневные карты ТПМ заносятся в специализированный архив спутниковой информационной продукции и в дальнейшем могут быть использованы для расчетов режимных и климатических характеристик моря. В частности, при создании ВЛТУ по району месторождения им. В. Филановского расчеты статистических характеристик температуры в поверхностном слое морской воды проводились в ГУ «НИЦ «Планета» по архивным спутниковым данным ТПМ за период 2002–2008 гг. (табл. 1).

Следующий шаг в обеспечении космического мониторинга морских акваторий связан с созданием в ГУ «НИЦ «Планета» технологии построения карт концентрации хлорофилла-а с использованием стандартных алгоритмов NASA. По данной технологии строятся карты текущих (рис. 2б) и осредненных за 3, 5, 8 или 10 дней (в зависимости от степени покрытия акватории моря облачностью) значений концентрации хлорофилла-а на основе данных спектро радиометра ИСЗ Aqua. С учетом того, что северная (мелководная) часть Каспийского моря (по сравнению с глубоководной частью) характеризуется повышенным уровнем развития фитопланктона и водорослей, концентрация хлорофилла-а в этой части моря в вегетационный период имеет существенно более высокие значения и значительную изменчивость этого показателя. На рис. 3 представлен график сезонных изменений концентрации хлорофилла-а в 2010 г. в районе месторождения им. В. Филановского в северо-западной части Каспийского моря.

Одним из важнейших параметров, необходимых для обеспечения работ на морском шельфе, является



ся скорость и направление приводного ветра. В ГУ «НИЦ «Планета» создана технология построения карт полей приводного ветра по данным спутниковых микроволновых скаттерометров. В настоящее время в технологии в качестве исходной информации используются оперативные данные скаттерометра ASCAT ИСЗ MetOp, получаемые по системе международного обмена EARS, до ноября 2009 г. использовались данные скаттерометра SeaWinds NRT ИСЗ QuikSCAT. Выходная продукция выпускается в виде растровых изображений карт полей приводного ветра и цифровых массивов данных (широта, долгота, скорость и направление ветра). На рис. 4 представлена карта полей приводного ветра Каспийского моря, построенная по данным ASCAT ИСЗ MetOp.

В последние годы в ГУ «НИЦ «Планета» ведется радиолокационный мониторинг Каспийского моря с использованием данных европейских спутников ERS-2 и Envisat. Несмотря на то что объемы получаемых спутниковых радиолокационных данных весьма ограничены (периодичность ~ 1–2 раза в неделю), общая картина нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря достаточно понятна. В российском и казахском секторах Каспийского моря, несмотря на то что активно ведутся работы на шельфе, нефтяные загрязнения водной среды встречаются не часто. Например, в российском секторе Каспийского моря за один и тот же период наблюдений (апрель–октябрь) нефтяных пленок встречается в 3–4 раза меньше, чем в российском секторе Черного моря. А вот в азербайджанском секторе в районе Нефтяных камней нефтяные пленки присутствуют практически постоянно. На рис. 5 представлены примеры выявления нефтяных загрязнений поверхности в северо-западной части Каспийского моря на радиолокационных изображениях ИСЗ Envisat.

С 2004 г. в ГУ «НИЦ «Планета» регулярно проводятся работы по изучению долговременных изменений характеристик ледяного покрова Каспийского моря на основе анализа рядов спутниковых данных и информационной продукции из архива Госфонда РФ. В настоящее время продолжают работы по формированию и дополнению рядов ежегодных тематических карт ледовой обстановки в Каспийском море, построенных на основе спутниковых данных

видимого и инфракрасного диапазонов КА Meteor-M, Terra, Aqua и NOAA, а также анализу их изменчивости в качестве индикатора климатических изменений [4]. Выявлены существенные межгодовые различия в распределении площадей припая и плавучего льда, а также в продолжительности ледового периода (рис. 6). Результаты анализа сезонной и межгодовой изменчивости характеристик морского льда размещены на сайтах Северо-Евразийского климатического центра: <http://seakc.meteoinfo.ru> и <http://neacc.meteoinfo.ru>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов А.В., Асмус В.В., Кровотынцев В.А. и др. Комплексные исследования гидрометеорологической и ледовой обстановки в северо-западной части шельфа Каспийского моря на основе данных спутниковых и экспедиционных наблюдений и модельных расчетов // *Метеорология и гидрология*, 2009, №3, с. 20–34.
2. Асмус В.В., Дядюченко В.Н., Загребав В.А. и др. Наземный комплекс приема, обработки, архивации и распространения спутниковой информации / В сб. Труды НИЦ «Планета», вып.1(46), 2005, с. 3–21.
3. Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Милехин О.Е., Тренина И.С. Действующие и перспективные российские спутниковые системы и их использование для оперативного мониторинга ледяного покрова полярных областей Земли и изучения климатических изменений // *МЕТЕОСПЕКТР*, 2010, №2, с. 9–13.
4. Алферов А.М., Андреева З.В., Григорьева О.Н. и др. Системы формирования и анализа многолетних рядов региональных климатически значимых параметров по спутниковым данным // *Сборник научных статей Седьмой открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов»*, ИКИ РАН, 16–20 ноября 2009 г., Том 7. Номер 1. – М.: ООО «ДоМира», 2010. С. 51–60.