
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕЙ ТЕЧЕНИЙ И ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ
ВОД НА ГЕЛЕНДЖИКСКОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

© 2012 г. В. Г. Бондур^{1*}, В. Е. Воробьев¹, Ю. В. Гребенюк¹, К. Д. Сабинин¹, А. Н. Серебряный²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга “АЭРОКОСМОС” Министерства образования и науки Российской Федерации и Российской академии наук, Москва

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева Российской академии наук, Москва

*E-mail: vgbondur@aerocosmos.info

Поступила в редакцию 02.02.2012 г.

В статье рассматриваются результаты исследований полей течений и загрязнений прибрежных вод на Геленджикском шельфе Черного моря по данным, полученным при гидрофизических измерениях и обработке космических изображений. По результатам измерений, выполненных с помощью буксируемого акустического профилометра, выявлена сильная пространственная и временная изменчивость полей приповерхностных течений, установлено влияние глубоководного стока на динамику прибрежных вод, исследованы характеристики приповерхностного загрязнения морской воды под воздействием заглубленного сброса. По результатам анализа космических изображений высокого пространственного разрешения выявлены мелкомасштабные оптические неоднородности морской среды, вызванные интенсивным антропогенным воздействием непосредственно на акваторию Геленджикской бухты, а также поверхностное проявление воздействия заглубленного стока на прибрежную акваторию, определен ареал распространения факела загрязнений.

Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг, поля течений, вихри, придонная конвекция, звукорассеивающие слои, акустический профилометр, глубоководный сброс, загрязнение вод, Черное море

ВВЕДЕНИЕ

Особенности циркуляции вод Черного моря изучены достаточно хорошо на основе проведенных гидрологических исследований (Комплексные исследования..., 2002; Титов, 2002), а также по результатам спутникового мониторинга (Бондур, 2004; Лаврова и др., 2011). Сочетание особенностей топографии дна, циркуляции морских вод и воздушных потоков в районе северо-восточного побережья Черного моря определяет высокую интенсивность динамических процессов в море и атмосфере, характерных для этого района. Главные особенности циркуляции вод Черного моря определяет Основное Черноморское течение (ОЧТ), которое характеризуется высокой гидродинамической неустойчивостью (Титов, 2002). Неустойчивость ОЧТ приводит к образованию вихревых структур различных масштабов в шельфовой зоне Черного моря (Комплексные исследования..., 2002; Титов, 2002), среди которых особый интерес представляют пока еще недостаточно изученные прибрежные мелкомасштабные вихри, играющие важную роль в распростране-

нии загрязнений берегового происхождения (Бондур и др., 2009, 2011а, 2011б).

Интенсивное освоение шельфа Черного моря, быстрый рост приморских городов, курортных объектов и, в особенности, массовая коттеджная застройка побережья приводят к значительному усилению антропогенных воздействий на прибрежную экосистему этого региона. Основными источниками поступления загрязняющих веществ в морскую среду шельфа Черного моря являются малые реки, ливневые стоки и стоки бытовых вод через заглубленные коллекторы вблизи городов и поселков, а также места якорных стоянок, где сбрасываются в море технологические воды и зачастую сбрасываются нефть и нефтепродукты (Техногенное загрязнение и процессы..., 1996; Бондур, Гребенюк, 2001; Бондур, 2004; Лаврова и др., 2011). Ряд промышленных предприятий, расположенных на побережье этой акватории, сбрасывает загрязненные воды непосредственно в море без очистки, а некоторые из источников загрязнения, такие, например, как ливневые стоки в г. Геленджик, вообще не контролируются (Техногенное загрязнение и процессы..., 1996). Все это

сильно ухудшает качество морской воды у побережья Черного моря и снижает ценность этой важнейшей для России рекреационной зоны.

Поэтому исследование полей течений и анализ распространения антропогенных загрязнений в данной акватории с использованием подспутниковых и космических данных представляются актуальными и важными для выявления и устранения источников поступления загрязняющих веществ в морскую среду.

Важную роль в решении подобных задач играют современные аэрокосмические методы и средства, которые эффективны для оценки антропогенных воздействий на прибрежные акватории, в том числе путем измерения цветовых характеристик водной среды со спутников (Бондур, 2004; Bondur, 2011). Наиболее достоверную информацию о локальном загрязнении прибрежных вод, обусловленных сбросами от отдельных предприятий и из очистных сооружений, а также выносом малых рек, предоставляют многоспектральные данные, полученные при аэрокосмическом мониторинге с высоким пространственным разрешением в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне спектра (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005; Bondur, 2011).

В настоящей работе приведены результаты анализа экспериментальных данных по характеристикам полей течений и распространению загрязняющих веществ при сбросе загрязненных вод из заглубленного коллектора в акваторию прибрежной зоны Черного моря вблизи г. Геленджик. Эксперименты проводились с использованием погружаемых приборов: STD-зонда (Conductivity, Temperature and Depth Sounder), акустических профилометров и температурных датчиков. Кроме этого, проводились съемка с борта космического аппарата IKONOS и обработка полученных многоспектральных изображений высокого пространственного разрешения.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕЧЕНИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ АКУСТИЧЕСКИМ ДОПЛЕРОВСКИМ ПРОФИЛОМЕТРОМ

В 2008–2011 гг. на Черноморском шельфе вблизи г. Геленджик были проведены исследования полей течений и параметров морской среды в районе расположения сбросового устройства (рис. 1). При проведении исследований использовался комплекс гидрофизической аппаратуры, включающий STD-зонд, заякоренную термистерную гирлянду и распределенный датчик температуры (Коняев, Сабинин, 1973), буксируемый и донный акустические профилометры течений (ADCP). С помощью этих приборов была иссле-

дована временная и пространственная изменчивости полей течений, температуры, плотности и солености морской воды, а также получены оценки степени загрязнения прибрежных вод на различных участках исследуемой акватории. Определены характеристики мелкомасштабной изменчивости полей течений и оценено влияние глубоководного стока вблизи г. Геленджик на динамические процессы, связанные с загрязнением прибрежной акватории. Сброс бытовых и технических вод у г. Геленджик осуществляется по заглубленному трубопроводу, длина которого составляет ~2 км, а его выходной конец расположен на глубине ~30 м. Наблюдениями дайверов выявлено, что трубопровод имеет серьезные повреждения. Это подтверждается проверками, проведенными природоохранными службами.

При выполнении экспериментов с помощью буксируемого за моторной яхтой профилометра ADCP измерялись три составляющих вектора поля течений и интенсивность обратного рассеяния звука (ЗРС). Регистрация данных проводилась на различных горизонтах в диапазоне глубин 0.8–64 м с шагом 0.5 м и временной дискретностью 0.8 с. Измерения были выполнены 1, 4 и 10 октября 2009 г. на галсах, показанных на рис. 2а–в. Измерения характеристик течений и интенсивности рассеянного акустического сигнала проводились также с помощью донного профилометра, установленного вблизи конца трубопровода с 29 сентября по 11 октября 2011 г.

Для снижения уровня шумовых выбросов в исходных данных акустического профилографа ADCP проводилось усреднение 10 соседних отсчетов, и для дальнейшей обработки использовались данные с временной дискретностью 8 с, что при скорости движения яхты 2 м/с соответствует пространственному разрешению 16 м. С помощью программы Surfer строились векторные карты полей течений в координатах долготы–широты для исследования особенностей скоростей течений в различных участках шельфа, а также оценки влияния заглубленного стока на загрязнение прибрежной акватории.

На рис. 3, 5 и 6 приведены векторные карты осредненных по глубине (баротропных) течений и карты обратного рассеяния акустического сигнала, построенные по данным измерений 1, 4, 10 октября 2009 г., которые отражают сильную изменчивость полей течений и концентрации загрязняющих веществ в исследуемом районе. При этом следует отметить, что интенсивность ЗРС довольно хорошо характеризует степень загрязненности вод. Проанализируем эти карты подробнее. По данным измерений, выполненных 1 октября 2009 г. (рис. 3а, б), в западной и юго-восточной частях исследуемого района наблюдались течения со скоростями до 10–15 см/с, направлен-

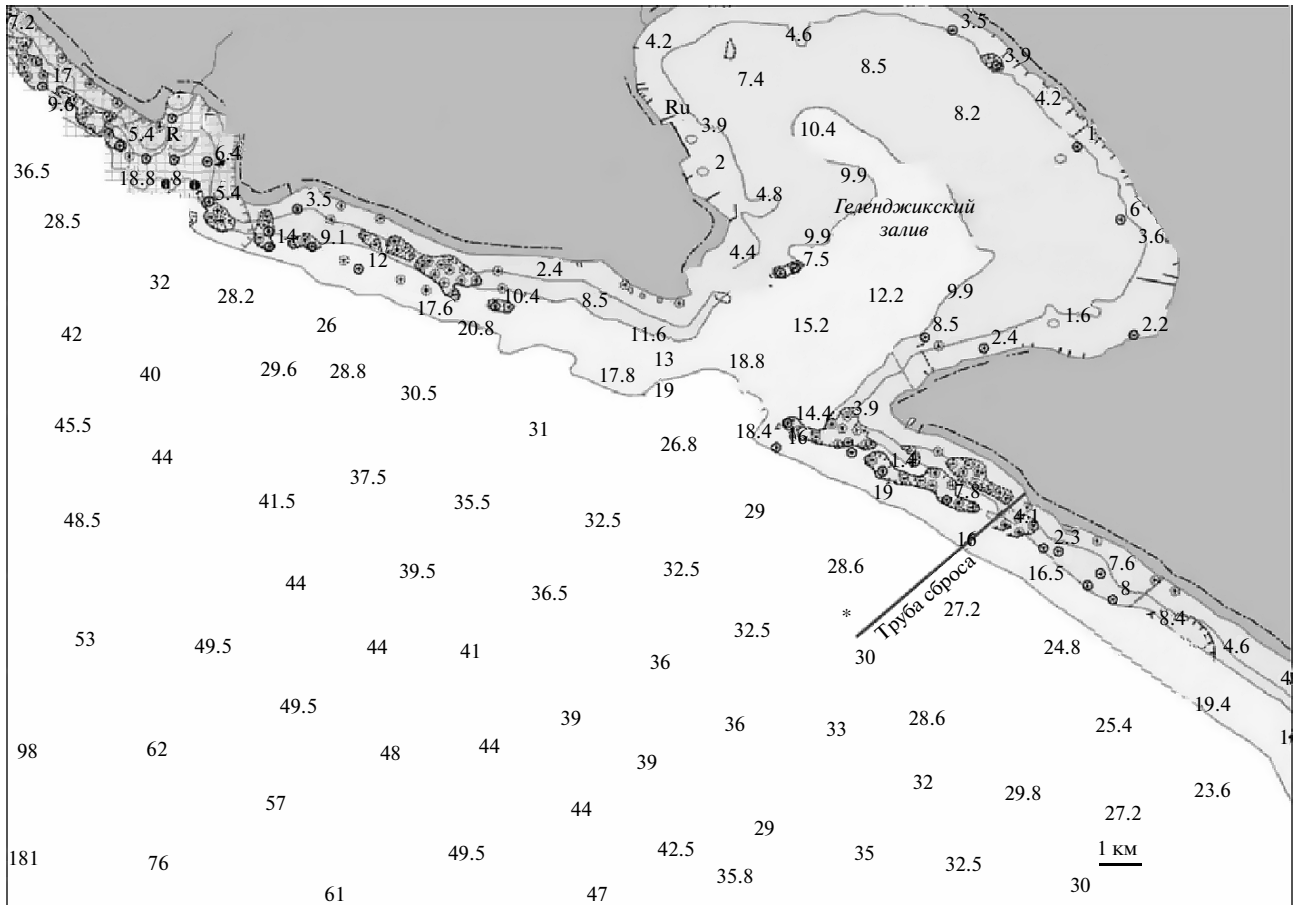


Рис. 1. Карта и космическое изображение района проведения гидрофизических измерений в акватории Черного моря вблизи г. Геленджик (показано сбросовое устройство загрязняющих вод).

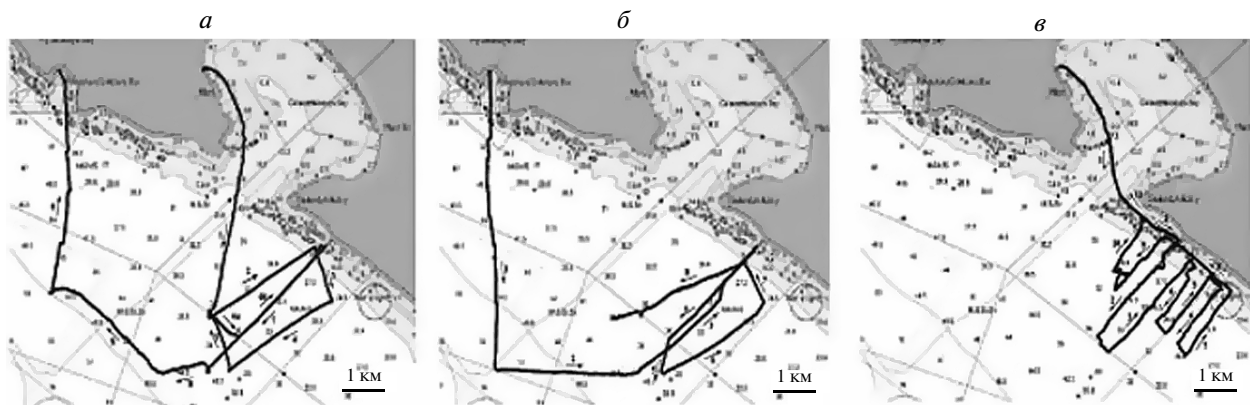


Рис. 2. Схемы галсов, выполненных на Геленджикском шельфе с помощью буксируемого ADCP: *а* – 1 октября, *б* – 4 октября, *в* – 10 октября 2009 г.

ные преимущественно в восточном направлении. В то же время к северу и северо-западу от сбросового устройства доминировали течения, направленные на север и северо-запад (СЗ). В центральной части исследуемого района к СЗ от трубопровода наблюдается область ослабленных и

беспорядочных течений с явными признаками дивергенции потоков, в которой можно обнаружить проявление небольшого вихря с диаметром около 4 км, по-видимому, связанного с всплыванием пресных загрязненных вод, которые сбрасываются в море по заглубленному трубопроводу.

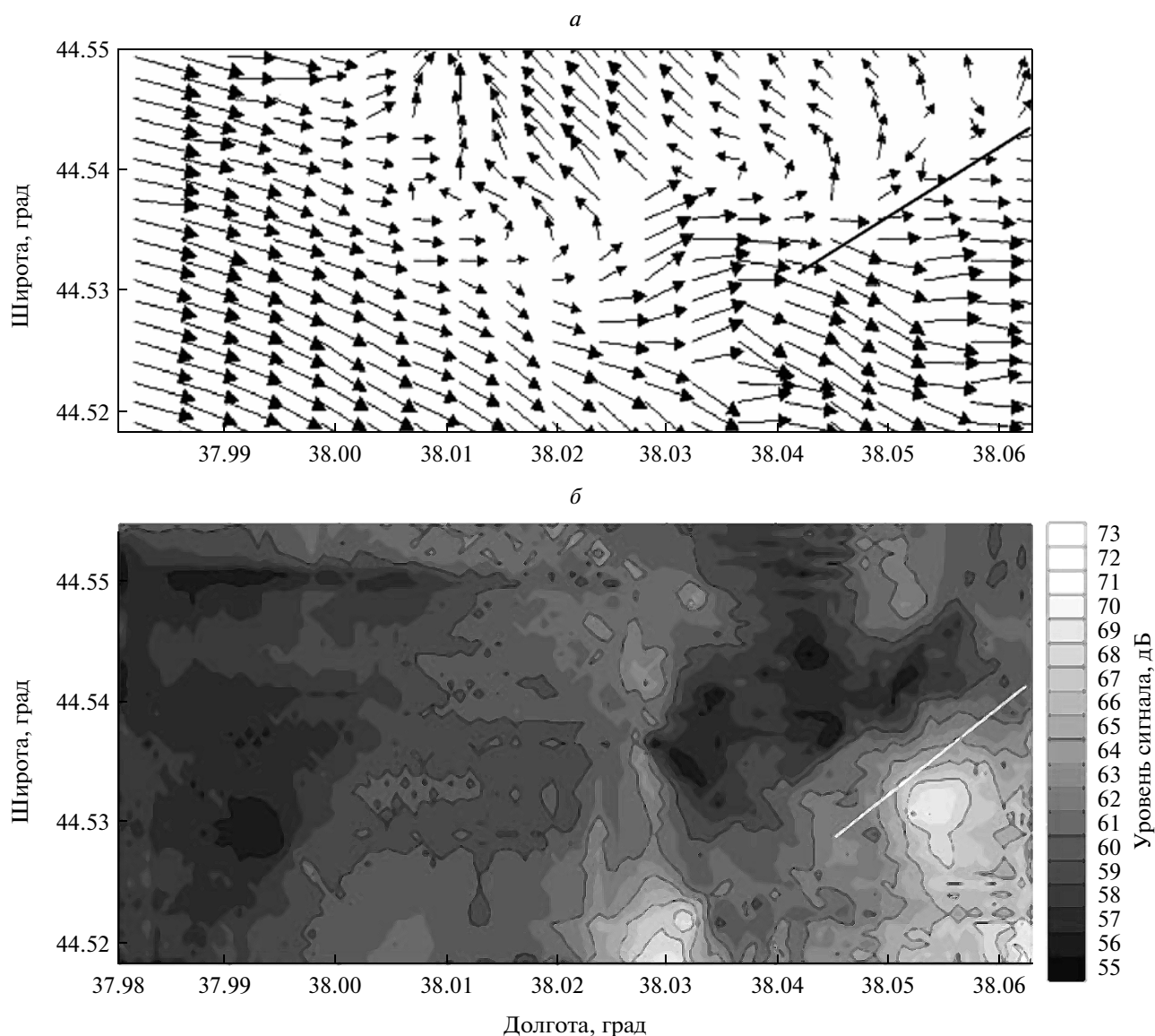


Рис. 3. *а* – Карта векторов баротропных течений по данным измерений 1 октября 2009 г.; *б* – карта уровня обратного рассеяния акустического сигнала в дБ. Справа указаны градации акустического сигнала в дБ. Положение сбросового устройства показано белой линией.

Повышение концентрации загрязнения в центральной части района, проявляющееся на карте уровня обратного звукорассеивающего сигнала (см. рис. 3б), согласуется с таким предположением. Пятна наибольшей концентрации загрязняющих веществ находятся, однако, не в центральной части района, а вблизи средней части трубопровода, в 1.6 км к западу от ее конца. Некоторое несоответствие положения пятен интенсивных ЗРС той картине, которая должна была бы сформироваться при всплывании сбрасываемых пресных вод от конца трубопровода и переносе их баротропными течениями (см. рис. 3а), можно объяснить следующим образом. Самое интенсивное пятно у средней части трубопровода, где течения

были слабыми, по-видимому, связано с истечением воды из отверстий в проржавевшем трубопроводе. Положение пятна загрязнения к западу от конца трубопровода, на наш взгляд, тоже связано со сбрасываемыми водами. При этом следует учитывать, что вытекающие воды обладают некоторым импульсом, направленным, как и трубопровод, на юго-запад. Этим и объясняется смещение пятна в указанном направлении, что подтверждается наблюдениями ЗРС на разрезах над трубопроводом (см. рис. 4 на цветн. вклейках).

Следует отметить, что карты баротропных течений не всегда позволяют хорошо оценивать перенос сбрасываемых вод, поскольку реальные течения меняются с глубиной, а время всплывания

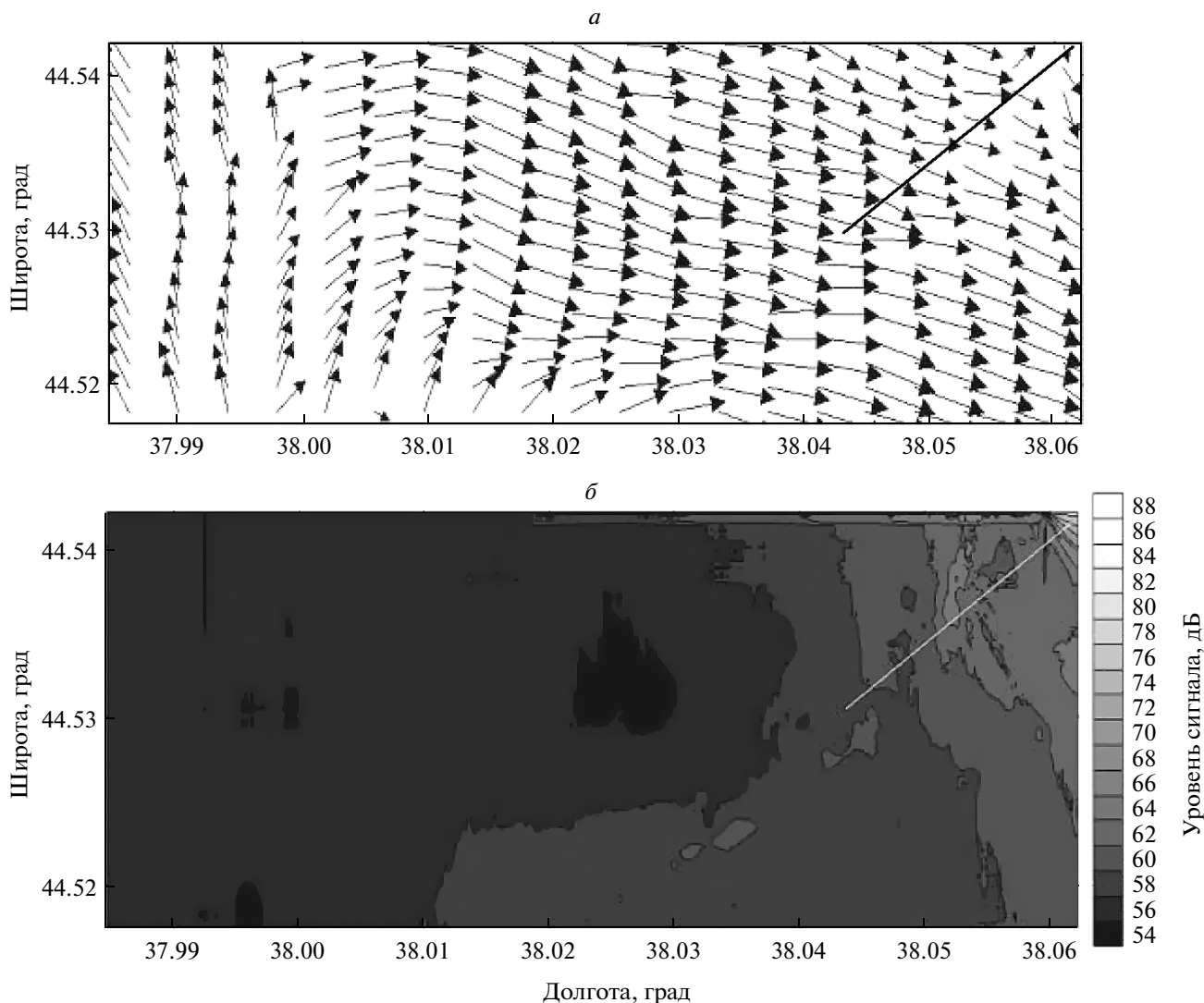


Рис. 5. *a* – Карта векторов баротропных течений по данным измерений 4 октября 2009 г.; *б* – карта уровня обратного рассеяния акустического сигнала в дБ. Справа указаны градации акустического сигнала в дБ. Положение трубопровода глубоководного стока показано белой линией.

этих вод к поверхности моря не настолько мало, чтобы пренебрегать временной изменчивостью течений. Так, при типичной скорости всплывания пресной воды, составляющей 1 см/с, вода с глубины 30 м поднимается за 50 мин. На картине эхолокационного контраста (интенсивности ЗРС), по данным измерений, выполненных 1 октября 2009 г., над трубопроводом (см. рис. 3*б*) хорошо заметен язык повышенной интенсивности, поднимающейся от конца трубопровода на глубине 30 м в сторону открытого моря. Такая картина соответствует всплыванию струи, вытекающей из трубопровода со значительной скоростью. Вертикальные факелы повышенной интенсивности ЗРС, поднимающиеся со дна на меньших глубинах, указывают на просачивание сбрасываемых вод через отверстия в трубопроводе (см. рис. 4).

Анализ векторной карты поля течений, построенной по измерениям, выполненным 4 октября 2009 г. (см. рис. 5*а*), свидетельствуют о кардинальном изменении циркуляции прибрежных вод под действием пришедшего в этот район крупномасштабного антициклонического вихря. Около сбросового устройства установилось сильное однородное течение в восточном направлении, и лишь в северо-восточном углу карты наблюдаются ослабление течений и поворот потока к югу, что, скорее всего, связано с влиянием сбрасываемых вод, истекающих из одного из отверстий в трубопроводе. Увеличение интенсивности ЗРС в этом месте (см. рис. 5*б*) подтверждает такое предположение. На рис. 5*б* можно заметить пятна несколько более слабой, но все же значительной интенсификации ЗРС (~70 дБ) вблизи

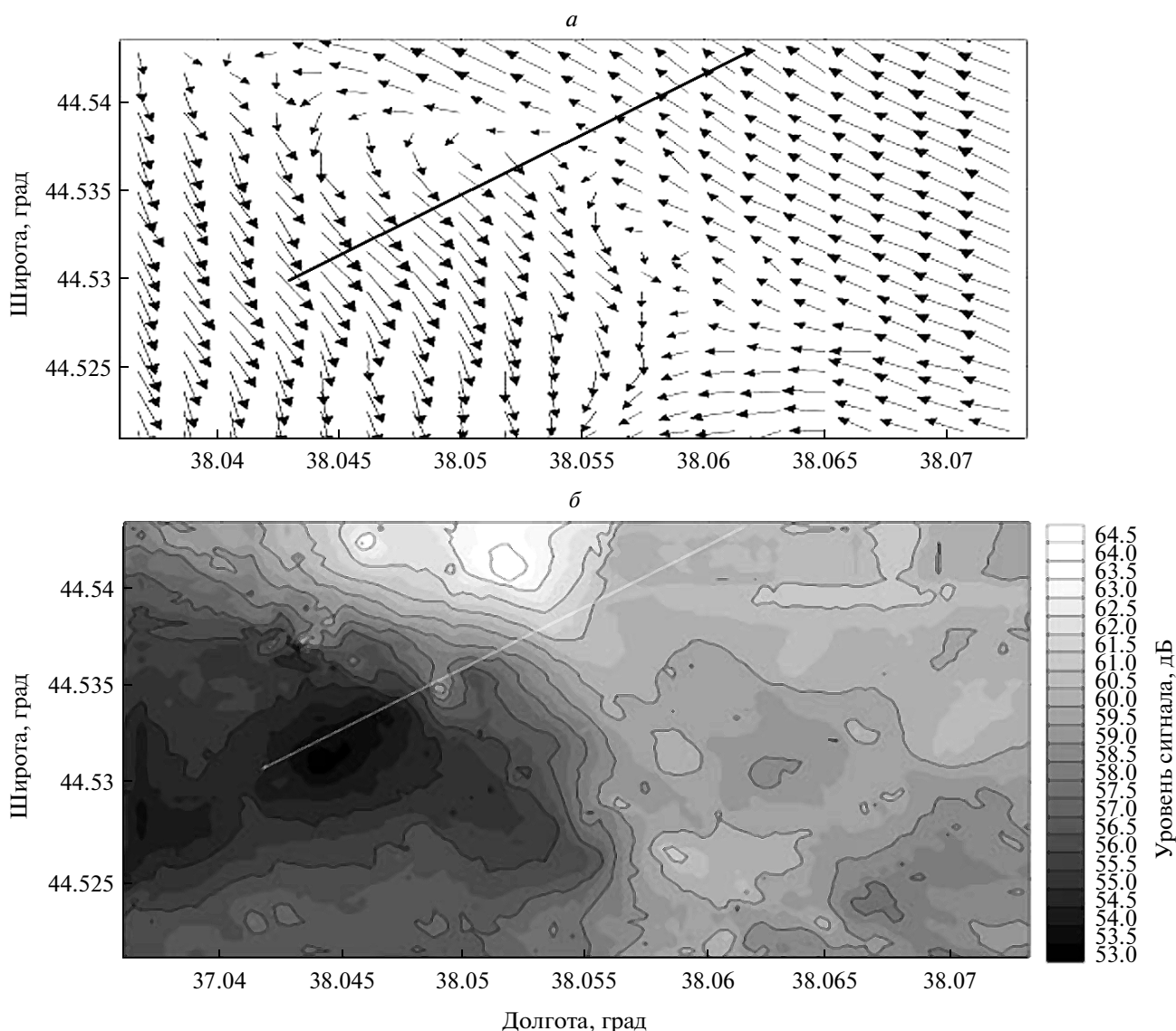


Рис. 6. *a* – Карта векторов баротропных течений 10 октября 2009 г.; *б* – карта уровня обратного рассеяния акустического сигнала в дБ. Положение трубопровода глубоководного стока показано белой линией.

середины и конца трубопровода, а также в 1.7 км к юго-западу от него. Отметим, что концентрация ЗРС в хорошо выделявшихся пятнах 1 октября 2009 г. (рис. 3б) была не выше.

10 октября 2009 г. в прибрежной зоне (северо-восточная часть, рис. 6а) было выявлено интенсивное течение вдоль берега преимущественно северо-западной направленности. В более глубокой юго-западной части исследуемого участка акватории (см. рис. 6а) было зарегистрировано не менее интенсивное течение юго-восточной направленности с циклоническим завихрением у средней части трубопровода. Анализ карты загрязнения поверхностных вод (рис. 6б) показывает, что немного к северу от середины трубопровода наблюдается пятно максимальной интен-

сивности ЗРС, которое, как и сам вихрь, скорее всего, связано со струей сбрасываемых вод, просачивающихся через одно из отверстий в проржавевшем трубопроводе и переносимых к северо-западу течением. К юго-востоку от середины трубопровода наблюдается еще одна область повышенной интенсивности ЗРС, по-видимому, связанная с истечением сбрасываемых вод из другого отверстия, находящегося в зоне влияния потока противоположного, юго-восточного направления. Каких-либо проявлений основной струи сбрасываемых вод, вытекающих из концевое отверстия трубопровода, на рис. 6б не обнаруживается. Возможно, эти воды достигают поверхности за пределами обследованного полигона.

Анализ полученных данных показывает, что обнаруживается вполне определенная связь между неоднородностями в поле приповерхностных ЗРС и течениями. Причем как в отношении положения пятен повышенной интенсивности ЗРС, переносимых течением из отверстий в трубе, так и в отношении локальных неоднородностей самого поля течений, которые продуцируются всплывающими плюмами сбрасываемых загрязненных вод. Узкие смерчеподобные вихри в таких плюмах (“вихревые столбы”) были обнаружены ранее при подробных изучениях мелкомасштабных течений вблизи коллекторов глубинных стоков на шельфе вблизи г. Гонулулу (Бондур и др., 2009) и вблизи г. Геленджик (Бондур и др., 2011а, 2011б). В настоящей статье мы видим проявления вихрей несколько большего масштаба, но также связанных с глубинными стоками. Таким образом, проявляется динамическое взаимодействие сбрасываемых вод и фоновых течений, которые переносят эти воды в горизонтальном направлении, испытывая при этом искажения под воздействием всплывающих вод. Все это приводит к довольно сложной картине распространения загрязнений, связанных со сбросами в море.

ПРОЯВЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ГЛУБОКОВОДНЫМ СТОКОМ, НА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Негативное воздействие глубинных стоков на экологическую ситуацию в прибрежных акваториях подтверждается данными, полученными путем аэрокосмических съемок Геленджикского шельфа. На поверхности моря в районе расположения сбросового устройства обычно наблюдаются слики, связанные с выходом к поверхности сбрасываемых вод. Существование таких сликов хорошо проявляется на спутниковых радарных изображениях морской поверхности (Бондур, 2004; Бондур, Гребенюк, 2001; Bondur, 2011). Загрязнение акватории хорошо проявляется на аэрокосмических снимках и в видимом диапазоне (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005; Bondur, 2011). На вертолетном снимке прибрежной части шельфа, приведенном в работе (Лаврова и др., 2011), хорошо заметен дугообразный шлейф грязных вод, вытекающих из отверстия в трубопроводе всего в 168 м (!) от берега (см. рис. 7 на цветн. вклейках). Более того, на этом шлейфе можно различить и неоднородности меньшего масштаба, подобные проявлениям вихревых образований, обнаруженных по данным измерений донным ADCP (Бондур и др., 2011а, 2011б).

Загрязнения от сбрасываемых вод вблизи г. Геленджик, регистрируемые космической аппаратурой, проявляются также в виде мелкомасштабных оптических неоднородностей водной среды

(Бондур, 2004; Bondur, 2011). Подобные неоднородности были выявлены путем обработки многоспектральных изображений высокого пространственного разрешения, полученных со спутника IKONOS на основе использования характеристик относительной изменчивости сигналов обратного рассеяния в различных участках спектра электромагнитных волн (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005; Bondur, 2011). Такой подход не связан с измерением абсолютных величин параметров морской среды и ориентирован, в большей степени, на выявление различных динамических процессов в океане.

В качестве характеристики относительной изменчивости сигналов обратного рассеяния может быть использован индекс цвета (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005; Ерлов, 1980)

$$I_{\text{ц}} = B(450)/B(520), \quad (1)$$

где $B(450)$ и $B(520)$ – яркости восходящего из морской среды излучения на длинах волн 450 и 520 нм при наблюдении в надир.

Индекс цвета получил распространение как самостоятельная характеристика, используемая для представления результатов исследований океана и их интерпретации на качественном уровне (Бондур, Зубков, 2005; Оптика океана, 1983). Этот индекс чувствителен к множеству факторов, определяющих состояние морской среды. Так, яркость в коротковолновом участке спектра видимого излучения (синяя область) зависит от концентрации хлорофилла, состава и концентрации растворенных органических веществ, в то время как яркость в зеленой области спектра в большей степени определяется составом, концентрацией и распределением частиц взвеси по размерам (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005).

Можно предложить и другие варианты индекса цвета с использованием иных участков спектра. Очевидно, что смысловая нагрузка индекса в каждом конкретном случае будет зависеть от сочетания длин волн. Так, например, если взять

$$I'_{\text{ц}} = B(520)/B(690), \quad (2)$$

то в этом случае яркость в красном участке спектра определяется в основном составом и концентрацией взвеси в тонком подповерхностном слое морской среды (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005). При обработке и анализе изображений поверхности океана, полученных со спутника IKONOS, индексы цвета можно представить в виде (Бондур, 2004; Бондур, Зубков, 2005)

$$\begin{aligned} & B(450-520)/G(520-600); \\ & B(450-520)/R(600-690); \\ & G(520-600)/R(600-690). \end{aligned} \quad (3)$$

Двумерные распределения данных величин (в плоскости поверхности океана) использова-

лись для создания цветокодированных изображений и синтезированных цветовых образов в трехмерном пространстве индексов цвета. Для выявления оптических аномалий морской среды по космическим многоспектральным данным и полям индексов цвета целесообразно применять также специальные методы обработки космических изображений, например, декорреляционное растяжение, преобразования цветовых пространств, цветовое кодирование и т.д. (Гонсалес, Вудс, 2005).

На рис. 8 (на цветн. вклейках) представлен синтезированный в натуральных цветах (цветовое пространство RGB) фрагмент изображения (рис. 8а), полученного со спутника IKONOS 8 августа 2008 г. для района проведения исследований вблизи г. Геленджик, а также результат декорреляционного растяжения этого фрагмента (рис. 8б) и его увеличенные участки (рис. 8в, г). На расположенных в нижней части рисунка увеличенных фрагментах можно выделить две особенности.

На рис. 8б прослеживается цветовая аномалия зелено-желтых оттенков на желто-красном и синне-зеленом фоне, вызванная проявлением глубинного сброса загрязненных вод. Аномалия имеет дугообразную форму и ориентирована в направлении восток–запад. Ширина выделенной аномалии ~120 м, а протяженность ~1400 м. Подобная форма аномалии связана с характером морских течений в прибрежной зоне Черного моря, существовавшими в день съемки со спутника, которые были направлены вдоль береговой линии.

На рис. 8г отчетливо виден поверхностный сток, выпадающий в прибрежную акваторию (обозначен голубым цветом) юго-восточнее сбросового устройства. Менее плотная относительно окружающих соленых вод пресная струя, распространяясь в морской толще, меандрирует с пространственным периодом порядка 220 м и четко прослеживается на расстоянии 850 м от берега.

На рис. 9 (на цветн. вклейках) приведены цветокодированные изображения распределений отношений канальных сигналов $\xi = B/G$ для фрагмента исходного изображения, прошедшего процедуру декорреляционного растяжения.

Как видно из рис. 9а, в исследуемой акватории имеются как зоны экстремально низких значений $\xi = B/G$ (обозначены черным и фиолетовым цветами), так и зоны экстремально высоких значений отношения $\xi = B/G$ (обозначены белым и темно-красным цветами). Данные зоны приурочены к мелководным прибрежным участкам (низкие значения B/G), где значительный вклад в формирование оптических космических изображений вносят отражения от морского дна и ветровые тени (высокие значения B/G). Участки акватории, имеющие естественные перепады значений

отношения B/G , окрашены оттенками красного, желтого и зеленого цветов.

Как видно из рис. 9, распределения отношений канальных сигналов носят неоднородный характер. Зоны повешенной и пониженных значений распределены перемежающимися пятнами по всей площади изображения. Области пониженных значений отношения канальных сигналов $\xi = B/G$ могут быть связаны с концентрацией в них растворенных органических веществ, частиц взвеси, гумусоподобных соединений, поступающих с суши, а также с изменениями в самой морской среде, вызванными этими веществами.

На рис. 9а выявляются три основные зоны загрязнений – это речной сток в правом нижнем углу изображения, обширная аномалия, вызванная воздействием глубинного стока коммунальных вод г. Геленджик, а также зона выхода из Геленджикской бухты.

Так как на побережье Черного моря в исследуемом районе присутствуют как антропогенные, так и естественные источники загрязнений различных типов, то для достоверной количественной оценки областей воздействия речного и глубинного стока загрязненных вод требуется проведение дополнительных подспутниковых измерений, математического моделирования и использования космических данных большего спектрального разрешения. Общая картина загрязнений прибрежной акватории является суперпозицией полей антропогенных и естественных воздействий от большого числа источников различных типов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных на Геленджикском шельфе Черного моря с помощью буксируемого акустического профилометра, получены данные о сильных пространственной и временной изменчивостях приповерхностных течений в осенний период года. Установлено влияние глубинного стока на динамику прибрежных вод и исследованы характеристики поверхностного загрязнения морской воды под воздействием этого источника антропогенных воздействий. Выявлено наличие связи между неоднородностями в поле приповерхностных загрязнений и особенностями полевых течений.

По результатам проведенных исследований, обнаружено сильное загрязнение воды в Голубой и Геленджикской бухтах и повсеместное загрязнение поверхностного слоя (0–10 м) на шельфе.

По результатам анализа многоспектральных космических изображений высокого разрешения, полученных со спутника IKONOS, для акватории вблизи г. Геленджик, выявлены мелкомасштабные оптические неоднородности морской среды, вызванные естественными и интенсивны-

ми антропогенными воздействиями. Обнаружено также поверхностное проявление воздействия за-глубленного стока на водную среду и определен ареал распространения факела загрязнений.

Работа выполнена при государственной поддержке ведущей научной школы НШ-374.2012.5 “Аэрокосмические исследования и мониторинг взаимодействия атмосферы и океана в интересах наук о Земле, экологии и рационального природопользования”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондур В.Г.* Аэрокосмические методы в современной океанологии / Новые идеи в океанологии. Т. 1: Физика. Химия. Биология. М.: Наука, 2004. С. 55–117.
- Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В.* Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками: моделирование, эксперименты // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 6. С. 49–67.
- Бондур В.Г., Зубков Е.В.* Выделение мелкомасштабных неоднородностей оптических характеристик верхнего слоя океана по многозональным спутниковым изображениям высокого разрешения. Ч. 1. Эффекты сброса дренажных каналов в прибрежные акватории // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 4. С. 54–61.
- Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В., Сабинин К.Д.* Специфические неоднородности мелкомасштабных течений на шельфе в области влияния придонной конвекции // Докл. РАН. 2009. Т. 429. № 1. С. 110–114.
- Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В., Сабинин К.Д.* Мелкомасштабные вихревые столбы на морских шельфах, генерируемые придонной конвекцией // Мат. 4-й Межд. конф. “Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках”. 18–20 октября 2011 г. Москва, 2011а.
- Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В., Муякишин С.И., Сабинин К.Д.* Тонкие вихревые столбы на шельфе в области влияния придонной конвекции // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011б. Т. 47. № 2. С. 254–262.
- Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
- Ерлов Н.Г.* Оптика моря. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 242 с.
- Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Под ред. Зацепина А.Г., Флинта М.В. М.: Наука, 2002. 476 с.
- Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Новые данные о внутренних волнах в море, полученные с помощью распределенных датчиков температуры // ДАН СССР. 1973. Т. 209. № 1. С. 86–89.
- Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А.* Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 471 с.
- Оптика океана. Т.1. Физическая оптика океана / Под ред. Моница А.С. М.: Наука, 1983. 372 с.
- Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения прикавказской зоны Черного моря. М.: Недра, 1996. 502 с.
- Титов В.Б.* Характеристики Основного Черноморского течения и прибрежных антициклонических вихрей в Российском секторе Черного моря // Океанология. 2002. Т. 42. № 5. С. 668–676.
- Bondur V.G.* Satellite monitoring and mathematical modeling of deep runoff turbulent jets in coastal water areas // Waste Water – Evaluation and Management. InTech. Croatia. 2011 P. 155–180.

Study of Fields of Currents and Pollution of Coastal Waters on Gelendzhik Shelf of the Black Sea with Space Monitoring Methods

V. G. Bondur¹, V. E. Vorobjev¹, Yu. V. Grebenjuk¹, K. D. Sabinin¹, A. N. Serebryny²

¹ Scientific Research Institute for Aerospace Monitoring “AEROCOSMOS”, Ministry of Education and Sciences of the Russian Federation, Russian Academy of Sciences, Moscow

² N.N. Andreyev Acoustics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

The paper presents the main data processing results of hydrophysical and imagery space monitoring research of the fields of currents and pollution of Gelendzhik shelf coastal waters in the Black Sea. According to towed acoustic profiler measurements, a strong spatial and time variability of surface fields of currents is discovered. It is revealed that submerged outfall has an effect on dynamics and characteristics of pollution of coastal waters. Space imagery analysis results revealed optical small-scale inhomogeneities and surface effect of submerged outfall impact on coastal water area of Gelendzhik Bay; the jet pollution area is determined as well.

Keywords: space monitoring, fields of currents, vortex near-bottom convection, sound-dispersing layers, acoustic-Doppler -profiler, submerged outfall, pollution of coastal waters, Black Sea

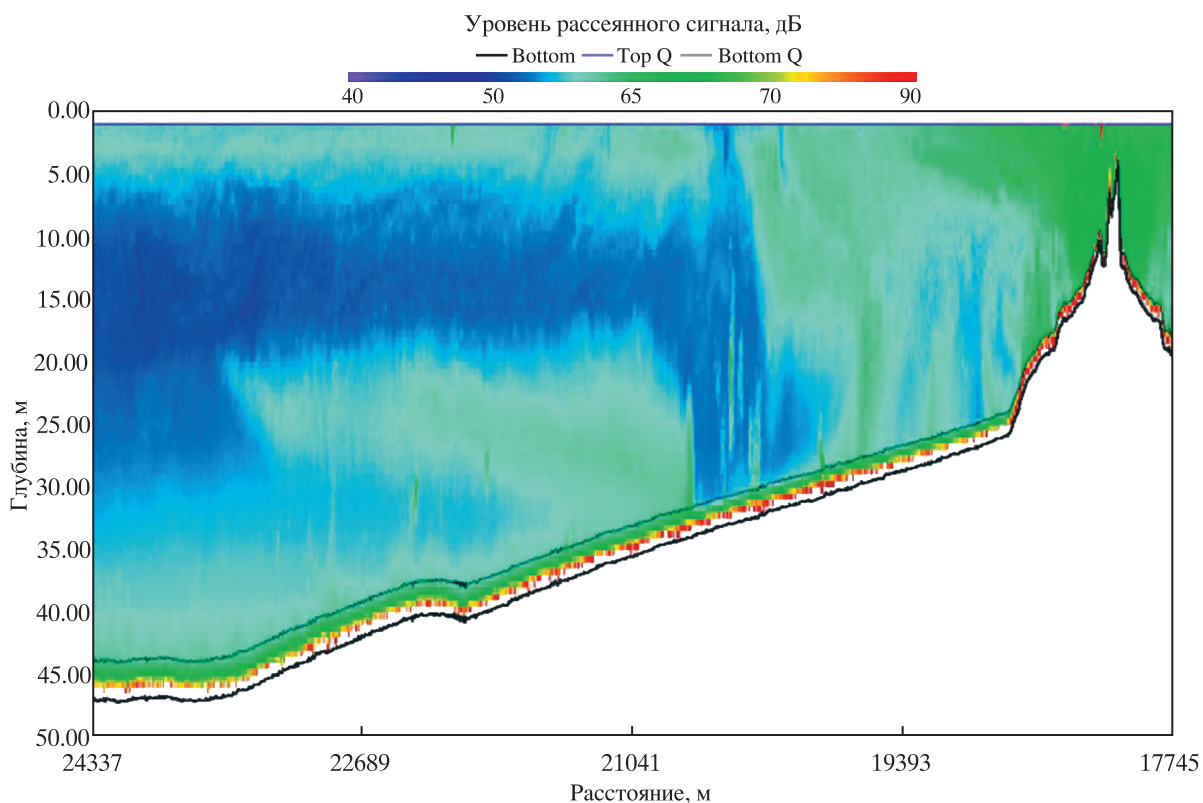


Рис. 4. Интенсивности рассеянного акустического сигнала по данным измерений 1 октября 2009 г. вблизи сбросового устройства: сверху – цветовая шкала интенсивности рассеянного сигнала в децибелах; внизу – отражения от рельефа дна.

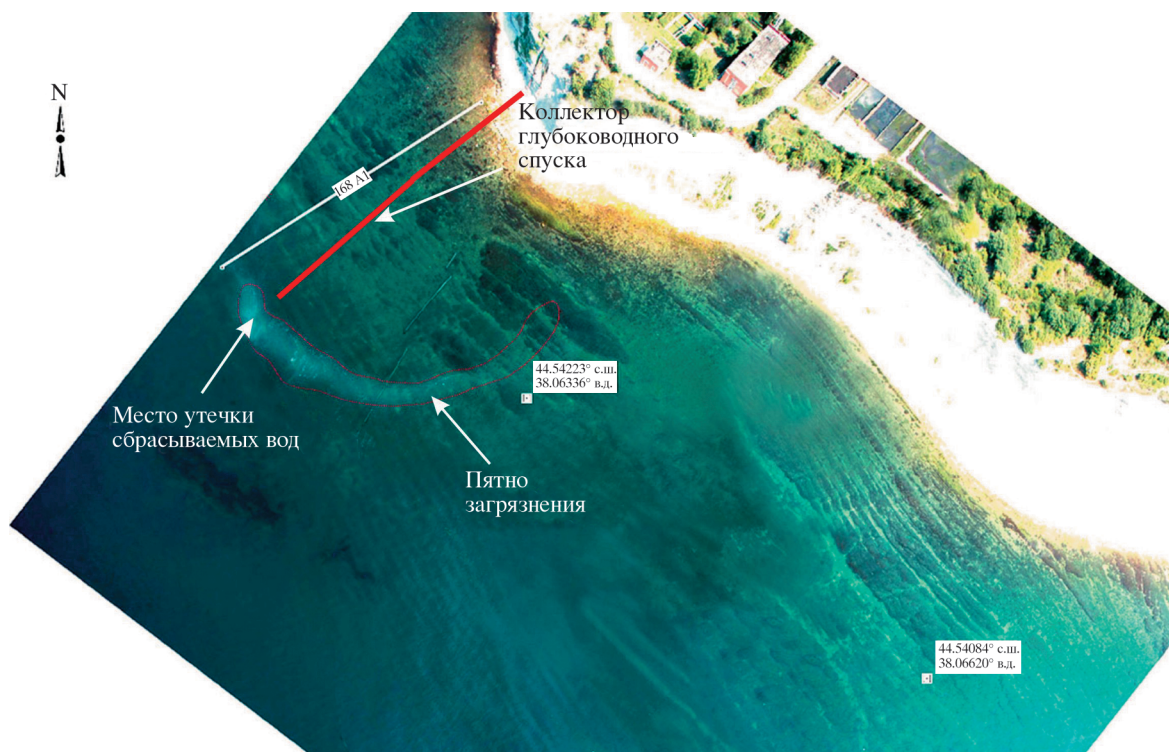
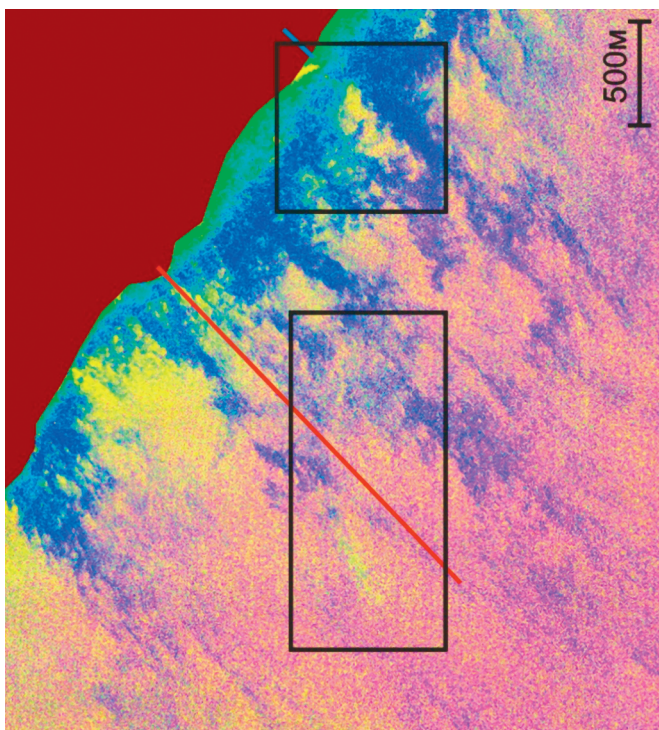


Рис. 7. Проявление глубинного стока в прибрежные воды у г. Геленджик на снимке, полученном с вертолета (Лаврова и др., 2011). Стрелками указаны: коллектор глубоководного спуска; место утечки сбрасываемых вод; пятно загрязнения, вызванное этими водами.

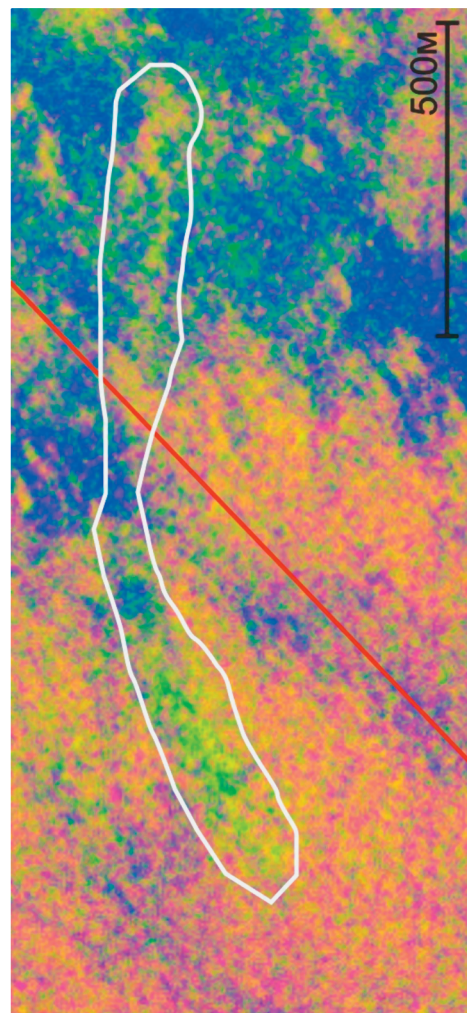
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА № 4, 2012 (Вклейка к ст. Бондура В.Г. и др.)



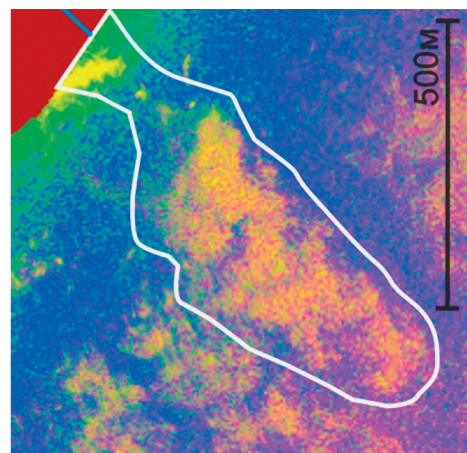


a

б



в



г

Рис. 8. Фрагмент исходного космического изображения, полученного со спутника IKONOS, для района расположения сбросового коллектора: *a* и *б* – результат декорреляционного растяжения данного фрагмента изображения; *в* и *г* – увеличенные фрагменты изображения *б*.

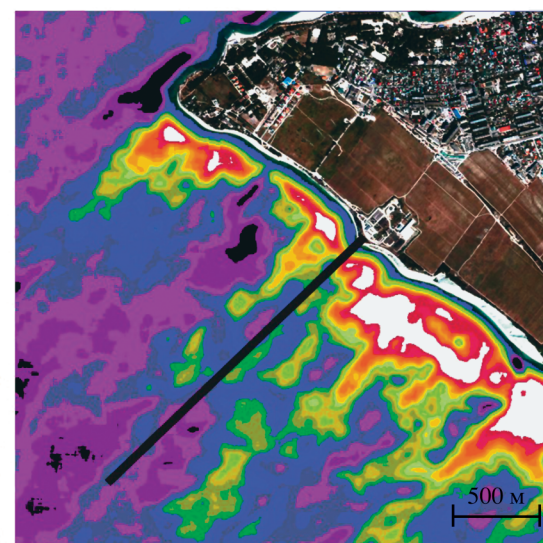
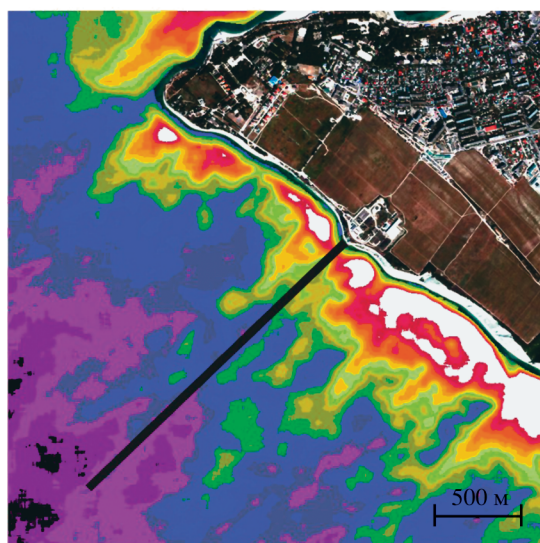
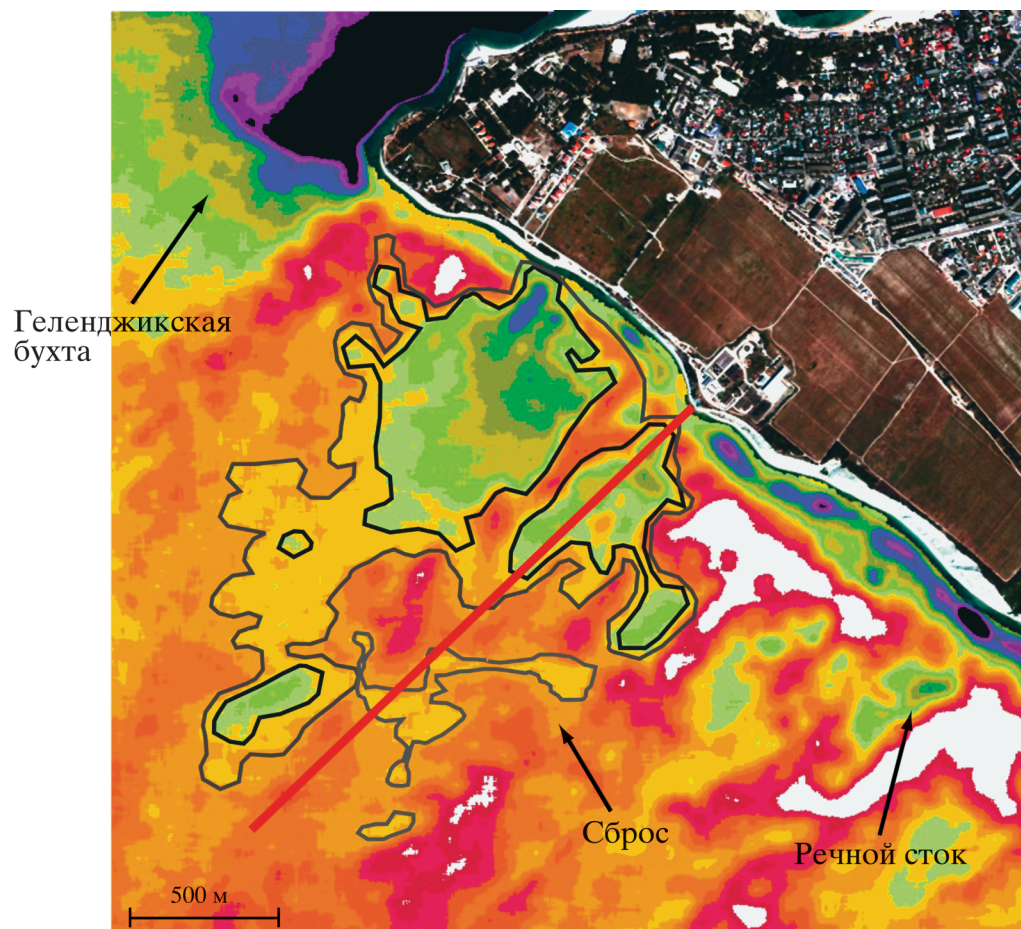


Рис. 9. Цветокодированное изображение распределений отношений канальных сигналов $\xi = B/G$ для фрагмента исходного изображения, прошедшего процедуру декорреляционного растяжения.

