

Космический мониторинг негативных ситуаций в прибрежных зонах крупных водоемов

И.Е. Курбатова

*Институт водных проблем РАН
119333, Москва, ул. Губкина, 3
E-mail: irenkurb@yandex.ru*

В работе описаны основные негативные ситуации для прибрежных зон морей, крупных озер и водохранилищ и представлена их классификация. Показана целесообразность комплексного рассмотрения этих ситуаций в рамках единой системы «водосбор-водоток-береговая зона-водоем». Оценена эффективность использования материалов космической съемки для мониторинга большей части негативных явлений в условиях дефицита наземных наблюдений. Приведены результаты исследования конфликтных ситуаций на побережьях ряда водных объектов южного региона России – Каспийского и Черного морей, Краснодарского и Цимлянского водохранилищ по разновременным космическим изображениям.

Ключевые слова: космический мониторинг, негативные ситуации, побережья, водосбор, речной сток, загрязнение, переформирование берегов, антропогенное воздействие.

Введение

Возникновение негативных ситуаций в прибрежной зоне различных водоемов обусловлено проявлением деструктивных процессов как природного, так и антропогенного характера. Выявление этих ситуаций, оценка их остроты и темпов развития невозможны без достоверной информации о состоянии подстилающей поверхности. В последние годы объем наземных наблюдений (гидрологических, геоморфологических, ландшафтных и пр.) резко сократился, произошло прерывание временных рядов и снижение репрезентативности получаемых данных. Восполнение дефицита этих данных возможно с привлечением материалов космической съемки. Эти материалы в настоящее время активно используются при изучении и прогнозировании негативных гидрологических ситуаций, однако, их анализ производится, как правило, в рамках административного, а не на бассейнового деления территории. Между тем, причины возникновения большей части таких ситуаций и их последствия целесообразно исследовать в рамках единой системы «водосбор-водоток-береговая зона-водоем» (ВВБЗВ), поскольку негативные процессы и явления, происходящие на водосборе, могут проявляться и в нижнем течении реки, и в ее дельте, в частности вызывать затопления, размыв или аккумуляцию прилегающей береговой территории и провоцировать загрязнения. Информационное обеспечение таких исследований осуществляется с помощью комплексного космического мониторинга системы ВВБЗВ, целью которого являются наблюдение и контроль за возникновением и развитием опасных, кризисных и чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера в замыкающем водоеме и его береговой зоне. В настоящей работе описаны основные негативные ситуации для прибрежных зон морей и крупных русловых водохранилищ и представлена их классификация, сформулированы требования к данным спутникового мониторинга побережий и прибрежных акваторий, используемым для оценки их экологического состояния. Для ряда водных объектов южного региона России – Каспийского и Черного морей, Краснодарского и Цимлянского водохранилищ – приведены результаты исследования конфликтных ситуаций на их побережьях по разновременным космическим изображениям.

Подходы и методы

Первым этапом разработки информационного обеспечения мониторинга береговых зон морей, крупных озер, русловых водохранилищ является классификация негативных ситуаций, наиболее характерных для данных объектов, по следующим признакам: происхождению, основному провоцирующему фактору, остроте и масштабу проявления, длительности, повторяемости и скорости возникновения. Можно выделить следующие градации таких ситуаций (Кочуров, 1997): *конфликтная* (локальные площадные и временные изменения с возможностью восстановления экосистемы); *критическая* (продолжительные воздействия, значительные по площади нарушения); *экстремальная* (интенсивные, трудно восстанавливаемые или необратимые нарушения ландшафта); *чрезвычайная* (стихийные катаклизмы, масштабные катастрофы, человеческие жертвы). Каждая из перечисленных градаций для конкретного водоема и его береговой зоны может быть детализирована в зависимости от специфики негативных воздействий. Примеры подобных воздействий приведены в табл. 1.

Таблица 1. Негативные ситуации, обусловленные влиянием компонентов системы ВВБЗВ на береговые зоны

Водоемы	Источники и последствия негативных воздействий на береговые зоны		
	Внешние воздействия		Внутренние воздействия и причины
	Со стороны водоема	Со стороны водосбора	
Моря, крупные озера	Затопление побережья в результате стихийных гидрометеорологических явлений (ураганов, штормов, нагонных и волновых явлений); проявление геолого-геоморфологических опасностей (обрушения берегов, оползней, обвалов, селевых сбросов горных озер); загрязнение берегов в результате функционирования и строительства портов, причалов; аварийных разливов нефти, аварий судов и подводных трубопроводов; вторичное загрязнение в результате дампинга отходов; перенос загрязнений во время сильных ветровых нагонов и сгонов	Регулярное загрязнение и заиление прибрежной части акватории в зонах выноса речного стока, экстремальное загрязнение дельт и взморья в результате активной добычи полезных ископаемых и техногенных аварий на водосборе; сброс промышленных, коммунально-бытовых, сельскохозяйственных стоков; снижение самоочищающей способности рек, зарегулирование стока и т.д.	Антропогенные воздействия в водоохранной зоне (строительство населенных пунктов, дорог, рекреационных объектов, распашка земель, добыча полезных ископаемых, сведение лесов и т.д.), ошибки при строительстве берегозащитных сооружений; нарушение и уничтожение компонентов экосистем; уязвимость аккумулятивных берегов к загрязнению нефтепродуктами
Водоохранилища	Подтопление; заболачивание; интенсивная переработка берегов; затопление низменных берегов ветровыми нагонами; затопление территорий бьефов: верхнего при переполнении водоема и нижнего при незапланированном залповом сбросе воды и авариях гидротехнических сооружений; загрязнение водным транспортом и т.д.	Наводнения при половодьях, паводках, заторах, зажорах, особых ледовых и наледных явлениях и др.; заиление ложа и загрязнение устьевых областей притоков твердыми взвесями и поллютантами в случаях регулярных и аварийных сбросов на водосборе; диффузное загрязнение с сельхозудогий и животноводческих комплексов, масштабной рубки лесов и др.	Затопление и осушение берегов при наполнении и сработке водохранилища; активизация эрозионных процессов; нарушение и уничтожение компонентов экосистем в водоохранной зоне в результате антропогенных воздействий (строительства домов, дорог, организации зон отдыха, распашки и перевыпаса земель, добычи полезных ископаемых, вырубки лесов и т.д.)

При разработке требований к данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) следует учитывать типы водных объектов, масштабы негативных явлений и их последствия для которых могут сильно отличаться. Так, величины штормовых нагонов для морей могут достигать нескольких метров, а для озер и крупных водохранилищ - в среднем от полуметра до метра. Уменьшение выноса речным стоком твердых взвесей в результате его зарегулирования на водосборе приводит к размыву дельт, дна и прилегающих участков берегов, а увеличение выноса терригенного материала способствует формированию очагов аккумуляции (Айбулатов, 2001). Для морских побережий эти процессы не столь значимы, поскольку им противостоят мощные волновые течения. Для водохранилищ и озер влияние твердого речного стока на формирование и загрязнения берегов тем больше, чем больше площадь водосбора впадающей реки. К несомненным достоинствам ДЗЗ, используемых при решении задач мониторинга негативных ситуаций, следует отнести возможность обнаружения очагов экологических конфликтов, одновременность охвата значительной площади водосбора или акватории, непрерывность информационного содержания снимка для каждой точки изображения, периодичность регистрации состояния динамичных водных масс. Эти сведения определяют основные параметры съемки и периодичность ее получения (табл. 2).

Таблица 2. Требования к данным ДЗЗ, используемым при исследовании отдельных негативных ситуаций на побережьях крупных водных объектов

Водные объекты Процессы и явления	Задачи мониторинга	Спектральный диапазон	Уровень, масштаб	Пространственное разрешение (м)	Периодичность наблюдений	ИСЗ, съемочная аппаратура
<i>Моря</i>						
Размыв берегов	Оценка, прогноз остроты экологической ситуации на акватории	0.4-0.5 0.6-1.1	Локальный 1:25 000	5-10	Весна-осень	HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye
Поступление наносов с речных водосборов, их аккумуляция в прибрежной зоне, загрязнение		0.4-0.5 0.5-0.6	Локальный, 1:25000 Региональный 1:25000 – 1:200000	5-10 10-30	Весна-осень	HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye HRVIR, Formosat-2 (MS), HRG
Штормовые нагоны	Выявление экстремальных ситуаций. Определение границ зон риска затоплений берегов	0.4-0.5 0.7-1.1	Локальный, 1-25000 Региональный 1:100000- 1:500000	5-10 10-20	Сезон штормов	HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye HRVIR, Formosat-2 (MS), HRG
<i>Водоохранилища</i>						
Подтопление, заболачивание берегов	Выявление конфликтных ситуаций на акватории и берегах	0.7-1.1	Детальный 1:10000 Локальный 1:25 000	2-5 5-10	Весна-осень	Ресурс-ДК, Ikonos-2, Orbview-3, Quick Bird, IRS-PS, SPOT-5 EROS, GeoEye-1
Обмеление и эвтрофикация, загрязнение		0.4-0.6 0.7-1.1	Детальный 1:10000 Локальный 1:25 000	2-5	Весна-осень	Ресурс-ДК, Ikonos-2, Orbview-3, Quick Bird, IRS-PS, EROS, GeoEye-1, SPOT-5
Переформирование берегов (обрушение, аккумуляция, размыв)	Районирование типов берегов по степени риска и интенсивности переработки	0.5-0.7 0.7-1.1	Локальный 1:25 000	5-10	Весна-осень	HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye
			Региональный 1:100000- 1:500000	10-20		HRVIR, Formosat-2 (MS), HRG

Распашка водоохраной зоны, рост оврагов, вырубка лесов на водосборе, промышленное загрязнение	Оценка остроты экологической ситуации на побережье в результате хозяйственного освоения	0.4-0.7 0.7-1.1	Детальный 1:10000 Локальный 1:25 000	2-5 5-10	Весна-осень	Ресурс-ДК, Ikonos-2, Orbview-3, Quick Bird, IRS-PS, EROS, GeoEye-1, SPOT-5 HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye
Поступление наносов с речных водосборов, их аккумуляция в прибрежной зоне	Слежение за экологическим состоянием акватории	0.4-0.5 0.5-0.6.	Локальный 1:25 000	5-10	Весна-осень	HRG, IRS-RAN, ALOS, Formosat-2 (RAN), Rapid Eye

Результаты

Основные виды негативных ситуаций, космические наблюдения за которыми достаточно эффективны, рассмотрены для нескольких водных объектов южного региона России – Черного и Каспийского морей, Краснодарского и Цимлянского водохранилищ.

Чрезвычайные гидрологические ситуации, возникающие в результате штормовых нагонов на западном побережье Северного Каспия (занимающего одно из первых мест в мире по величине сгонов и нагонов и их влиянию на хозяйственную деятельность и формирование природных особенностей побережья), были исследованы в работе (Курбатова, 2007). Наибольшее число высоких нагонов для данного побережья отмечается ранней весной и поздней осенью. Продолжительность нагонов составляет от нескольких часов до нескольких суток, а подъем уровня может достигать 0,5 – 3,5 и более метров, что вызывает значительные (до 10-20, а в экстремальных случаях и до 30-50 км) перемещения уреза воды вглубь территории и наносит значительный материальный ущерб. Совместный анализ результатов дешифрирования разновременных ДЗЗ в видимом и ИК диапазонах, гидрометеорологических данных об уровне моря и силе ветра на дату съемки и топографических карт, по которым определялись уклоны местности, позволил выделить зоны разной степени бедствий (от критической до чрезвычайной) при затоплении нагонами различной величины и повторяемости, установить попадающие в зоны действия нагонов наземные очаги промышленного и сельскохозяйственного загрязнений, выделить безопасные территории.

Конфликтные ситуации в акватории Черного моря, вызванные стоком малых рек Кавказского побережья в районе Туапсе-Лазаревское, оценивались по степени загрязнения речного стока антропогенными источниками, находящимися на их водосборах. Для этой территории характерен острый дефицит натуральных данных - регулярные гидрологические наблюдения проводятся только на 4-х реках из 19-ти. Задачей исследования являлось выяснение степени и качественного состава основных загрязнений, которые выносятся в море с их водосборов. Для обеспечения корректности результатов исходные материалы были привязаны к единому временному периоду конца 1980-х - начала 1990-х гг. Были использованы расчетные данные по среднесезонному стоку воды и стоку наносов рек данного региона (Джаошвили, 1999), топографические карты масштабов 1:200000-1:500000 1975-1992 гг. издания и архивные космические снимки (КС) ИСЗ «Ресурс-01» 1986-1993 гг. (масштаб изображения 1:300000, разрешающая способность 30 м, спектральные диапазоны 0.5-0.6 и 0.6-0.7 мкм). Решение задачи выполнялось в два этапа: вначале для получения сведений о содержании и возможном качественном составе загрязняющих веществ в речном стоке была проведена оценка степени антропогенной нагрузки на водосборы рек этого участка побережья (в баллах по комплексу показателей). К числу показателей отнесены: демографическая нагрузка на водные ресурсы (чел/10⁵ м³ объема стока, доля площади земель

различного типа использования для каждого водосбора, основные промышленные, сельскохозяйственные и рекреационные источники загрязнения воды и др.). На втором этапе по разновременным КС выявлялись циркуляционные особенности распространения речного стока на взморье, визуализация которых основана на различиях оптической плотности изображений чистой морской воды и мутного речного стока (Воды, содержащие большое количество твердых взвесей, обладают повышенной отражательной способностью). Ширина, длина, конфигурация светлых струй позволяют судить о направлении и характере течений, а интенсивность светлого тона изображения - о мощности потоков наносов, интенсивности выноса реками терригенного материала, площади его распространения на мелководных участках, а также о положении границы между соленой (тяжелой) морской и пресной (легкой) речной водой. Совместный анализ результатов дешифрирования КС и батиметрической карты прибрежной зоны показал, что, как правило, речные струи на этом участке акватории прослеживаются до изобат 25-50, реже 100 м, то есть на расстоянии от 5-6 до 10-12 км от берега (рис. 1). Следовательно, загрязняющие вещества, поступающие на акваторию с жидким и твердым речным стоком, распространяются именно в этих пределах, провоцируя конфликтные ситуации в прибрежных экосистемах. На рис. 2 представлен упрощенный вариант карты «Антропогенное воздействие на побережье Черного моря», на которой речные водосборы дифференцированы по трем степеням антропогенной нагрузки (критической, сильной, умеренной), показаны основные загрязняющие вещества, выносимые речным стоком, и выделены три степени загрязнения прибрежной акватории (сильное, умеренное, слабое). Данный подход к изучению конфликтных ситуаций в системе ВВБЗВ может быть использован для проведения качественной оценки степени загрязнения прибрежных зон и акваторий, что особенно важно для районов, испытывающих дефицит информации о фактическом состоянии вод. В настоящее время в связи со строительством олимпийских объектов в районе Сочи ситуация на черноморском побережье значительно усложнилась и требует специального рассмотрения.

Критическая ситуация, возникающая в результате воздействия значительного объема твердых наносов на состояние водоема, рассмотрена на примере Краснодарского водохранилища. Для восстановления картины трансформации водохранилища и слежения за динамикой формирования его берегов были привлечены разновременные КС (1984 - 2006 гг.) и топографические карты (1962–1996 гг.). Все карты и снимки были трансформированы в одну проекцию и приведены к единому масштабу. На КС в ближнем ИК диапазоне, полученном камерой МСУ-Э в июне 1984 г. (рис. 3а), зафиксирована конфигурация берегов водохранилища, сформировавшаяся через десять лет после окончания строительства. На снимке хорошо видно, что в результате создания водохранилища нижние участки боковых притоков – рек Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Псекупс были подтоплены и образовали заливы типа эстуариев. Исключение составляло устье р.Белая, в котором уже начала формироваться выносная дельта. Ее образование связано с большим количеством твердых взвесей, что объясняется геологическими особенностями бассейна, расположенного в зоне легко размываемых пород (средний годовой расход наносов в устье реки составляет более 70 кг/с). На КС, полученном с ИСЗ «Монитор-Э» в августе 2006 г. (22 года спустя) (рис. 3б), отображено современное состояние водохранилища. К наиболее значительным изменениям относится катастрофический прирост дельты р.Белая, площадь которой за это время достигла 23 км², что привело к полному разделению водоема на две части перемычкой шириной более 5 км, к настоящему моменту уже заросшей ивняком. Поскольку площадь бассейна Белой почти в 15 раз превышает площадь Краснодарского водохранилища, объем твердого стока реки не уменьшится и процесс заиливания водоема не замедлится, поэтому можно с уверенностью сказать, что через 15–20 лет его большая часть будет осушена полностью. На КС большего масштаба (рис. 3в) хорошо видно русло р. Кубань, проложившей себе путь через перемычку, область формирования ее

вторичной дельты (внутри водохранилища) и зона осаждения взвесей у станицы Старокурсунская – вторая потенциальная область дальнейшего заиливания акватории. Подробнее разработка методики картографического обеспечения мониторинга для оценки влияния бассейна р.Белая на формирование Краснодарского водохранилища рассмотрена в работе (Курбатова, 2010).

Конфликтные ситуации в береговой зоне водохранилищ, как правило, возникают при столкновении интересов различных хозяйствующих субъектов с необходимостью сохранения природного равновесия экосистем водоема и прилегающих территорий. По КС надежнее всего распознаются площадные конфликты, вызванные как природными, так и антропогенными факторами (табл. 2). В качестве примера исследования конфликтных ситуаций рассмотрено Цимлянское водохранилище, созданное в 1952 г. для решения задач гидроэнергетики, судоходства, водообеспечения региона, рыболовства. Оно является одним из крупнейших искусственных водоемов с многолетним регулированием стока. Общая площадь зеркала воды при нормальном подпорном уровне 36 м составляет 2700 км². В последние годы практически на всех как малых, так и крупных водоемах юга России из-за маловодья наблюдается заметное падение уровня воды. Для Цимлянского водохранилища 2011 г. оказался самым тяжелым – приток воды за половодный период составил всего 34 % от нормы – 4,2 км³, впервые за последние 27 лет уровень воды понизился до отметки 32 м (Кисин, 2011). При этом начали обнажаться мелководья и появляться целые острова, площадь которых составила 12 % от площади зеркала воды водохранилища. Особенно интенсивно этот процесс проявляется в верхнем руслевом бьефе и на Чирском плесе. На КС этой части акватории (рис. 4) хорошо прослеживаются гряды островов и вдольбереговых отмелей серого цвета. Столь значительное обнажение дна водохранилища вызвано его заиливанием в результате накопления материалов переработки берегов и поступления наносов, взвешенных и влекомых по р.Дон, балкам, ручьям и рекам, впадающим в водохранилище. Особенно широкая отмель образовалась в бывшем устье р. Мышкова, что связано с резким уменьшением объема речного стока. На топографической карте 2005 г. на этом месте был показан залив, вдававшийся вглубь суши на 7 км. Конфликтные ситуации наблюдаются и в других частях водоема. На КС Центрального плеса (рис. 5) хорошо видны зарастающее надводными макрофитами устье р.Аксай Есауловский, интенсивное «цветение» воды, светлые вдольбереговые полосы осушившегося берега и области активного размывания берегового склона с отметками ниже 32 м. Кроме того, в ряде мест наблюдается распашка земель в водоохранной зоне (почти до уреза воды), что также способствует заилению. Дальнейшее развитие ситуации во многом будет зависеть от запасов снега на водосборе Дона, суммарного объема стока в половодье, затрат на водохозяйственные нужды. Наблюдения за наиболее значимыми (проблемными для состояния экосистем) участками береговой зоны и акватории водохранилища будут продолжены.

Выводы

Конфликтные ситуации в береговых зонах морей и водохранилищ чаще всего спровоцированы противоречиями между сложившейся структурой хозяйственного природопользования и экологическим состоянием прибрежных ландшафтов. Проведение мониторинга этих ситуаций с использованием ДЗЗ позволяет их своевременно выявить и обеспечить регулярное наблюдение за их развитием, особенно в условиях дефицита данных наземных наблюдений. В перспективе космический мониторинг системы ВВБЗВ должен стать связующим информационным звеном в методологии комплексного управления речными бассейнами и прибрежными зонами приемных водоемов (морей), главная цель которого – сохранение водных ресурсов, внедрение рациональных природосберегающих технологий при хозяйственном освоении водосборов, не наносящих ущерба экосистемам.



Рис. 1. Фрагмент космического изображения побережья Черного моря (ИСЗ «Ресурс-01» 25.06.1989)

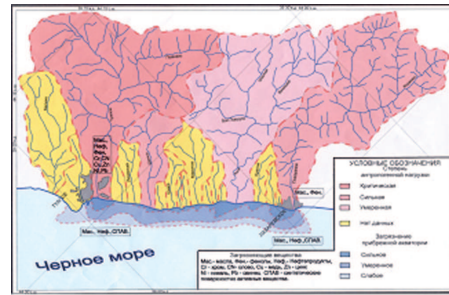


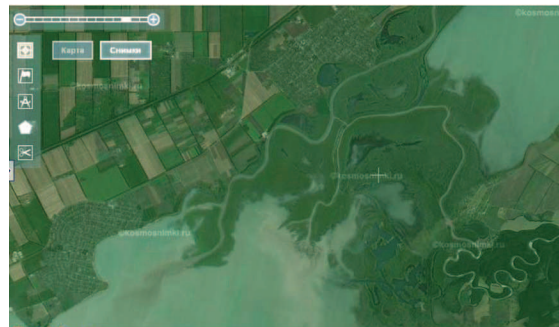
Рис. 2. Карта-схема «Оценка антропогенной нагрузки на побережье Черного моря (Туапсе-Лазаревская)»



а)



б)



в)

Рис. 3. Влияние р. Белой на формирование Краснодарского водохранилища а) дельта р. Белой в 1984 г. (ИСЗ «Ресурс-01» МСУ-Э, июнь 1984 г.) б) дельта р. Белой в 2006 г. (КА «Монитор-Э», РДСА, 3 авг. 2006 г) в) крупномасштабное изображение перемычки (источник – СканЭкс)



Рис. 4. Обмеление верхнего участка Цимлянского водохранилища



Рис. 5. Конфликтные ситуации левобережья Центрального плеса Цимлянского водохранилища: 1 - «цветение» воды; 2 – зарастание дельты Аксая Есауловского надводными макрофитами, ухудшение условий для нереста рыб; 3 – распашка водоохранной зоны; 4 - размыв берегов ниже отметки 32 м; 5 - образование отмелей

Литература

1. Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В. Геоэкология шельфа и морских берегов СПб.: Гидрометеиздат. 1993. 304 с.
2. Джаошвили Ш.В. Речной сток и сток наносов в Черное море // Водные ресурсы. 1999. Т.26. №3. С. 275–282.
3. Кисин С.А. Острова на Цимле // «Российская газета-Неделя» - Юг России №5665. 2011. 22 декабря.
4. Кочуров Б.И. География экологических ситуаций (экодиагностика территорий): М.: ИГ РАН, 1997.132 с.
5. Курбатова И.Е. Опасность сгонно-нагонных явлений // Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Южного федерального округа Российской Федерации. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография». 2007. С. 220–224.
6. Курбатова И.Е. Использование данных космического мониторинга для оценки экологического состояния крупных речных водосборов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. №2. С.157-166.

Space monitoring negative situations in coastal zones of large reservoirs

I.E. Kurbatova

*Water Problem Institute of Russian Academy of Sciences
Russia, 119333 Moscow, Gubkin str., 3. E-mail: irenkurb@yandex.ru*

In the paper the main negative situations in coastal zones of seas, large lakes and reservoirs are described and their classification is presented. Expediency of complex consideration of these situations within the frame of the united system «watershed-watercourse-coastal zone-reservoir» is shown. Efficiency is appreciated of utilizing remote sensing data for monitoring the greater part of negative phenomenon under the lack of ground-based observations. Results are presented of studies of conflict situation at coasts of some water objects in the southern region of Russia, namely, Caspian and Black Seas, Krasnodar and Tsimlyan Reservoirs using multitemporal space images.

Keywords: space monitoring, negative situations, coasts, watershed, river runoff, pollution, reconfiguration of the coasts, anthropogenic impact.