

РОЛЬ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМЫ “ВОДОСБОРВОДОЕМ”

И.Е. Курбатова

*Институт водных проблем Российской Академии наук.
Москва, 119991, ГСП-1, ул. Губкина, 3
E-mail: irenkurb@aqua.laser.ru*

Решение проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов возможно только на основе комплексного системного подхода к изучению пространственно-временных закономерностей влияния естественных и антропогенных факторов на качество и объем поверхностных вод. Такой подход заключается в рассмотрении системы “водосбор-река-дельта -береговая зона-море” как единого целого, поскольку экологическое “здоровье” рек и приемных водоемов (включая моря, являющиеся замыкающей частью гидрологической системы), неразрывно связано с состоянием водных ресурсов суши и поэтому напрямую зависит от явлений и процессов, происходящих на водосборах. Информационное обеспечение таких исследований должно включать большой объем разнообразных сведений о физико-географических и социально-экономических особенностях территории водосбора, о гидрологическом, гидрохимическом и прочих режимах водотоков и водоемов, о водных экосистемах и специфике их развития, в том числе об экстремальных ситуациях. Система наземных наблюдений должна иметь научно обоснованное пространственно-временное разрешение сети и содержать четкий перечень определяемых параметров и критерии точности их измерений. К сожалению, до настоящего времени такой комплексный подход не осуществлялся. Необходимая информация рассредоточена по разным организациям и ведомствам, методики ее получения, обработки и систематизации существенно различаются. Достаточно сказать, что функционирующая в настоящее время в России сеть стационарных гидрометеорологических наблюдений (с 1986 г. сократившаяся на треть) не соответствует современным требованиям ни по полноте, ни по охвату отдельных водных объектов и целых водосборов и не позволяет получать полное представление о происходящих процессах и изменениях, в первую очередь, обусловленных антропогенными воздействиями. Огромное число малых и средних рек не обеспечено гидрологическими наблюдениями [1].

Основными, а часто и единственными источниками информации о состоянии водных объектов и их акваторий в последние годы являются данные наблюдений, выполняемые искусственными спутниками Земли, которые обеспечивают регулярное получение и систематическое накопление разнохарактерных сведений для всей исследуемой гидрологической системы. Многолетний опыт использования в гидрологии спутниковых данных показал их высокую информативность и эффективность при решении глобальных и локальных задач оценки экологического состояния водных систем. Регулярно получаемые из космоса спектрональные данные дистанционного зондирования различного масштаба и разрешения несут в себе огромный информационный потенциал и представляют базу для проведения космического мониторинга водных объектов и их водосборных территорий. Основной целью мониторинга должны являться инвентаризация, контроль и слежение за различными составляющими системы “водосбор-водоток-водоем” для последующего анализа их экологического состояния, решения экономических, водно-экологических и природоохранных проблем. В круг наблюдений при мониторинге должны входить не только водные объекты, но и окружающая их водосборная территория с разделением на природные и антропогенные компоненты. Комплексность и эффективность мониторинга обеспечиваются постановкой тематических исследований, осуществляемых на основе многоцелевой программы, объединяющей подпрограммы изучения водосборов различного уровня и организации. Число таких подпрограмм определяется ландшафтным разнообразием, обусловленным зональными и азональными факторами, высотной поясностью бассейна, особенностями береговой зоны и акватории приемного водоема и характером их хозяйственного использования.

Основу информационного обеспечения мониторинга должны составлять три группы источников:

- материалы дистанционного зондирования разных масштабов и типов съемки, содержащие новые сведения о гидрологических, гидробиологических и других особенностях рек и акваторий, степени антропогенного воздействия на водосборы и обеспечивающие возможность пространственно-временной экстраполяции данных локальных наблюдений;
- регулярные натурные данные, получаемые со стационарных наземных полигонов, пунктов наблюдений, расположенных на водотоке, водосборе, в прибрежной и открытой части приемного водоема (речных, морских и устьевых гидрометеорологических и гидрохимических стационарных и передвижных постов), а также результаты различных сезонных полевых обследований;
- изданные ранее картографические материалы (топографические, батиметрические, навигационные, специализированные), которые служат для привязки и интерпретации космических изображений, и составленные по результатам их дешифрирования и анализа тематические карты, отображающие совре-

менное состояние изучаемых территорий, специфику их развития, остроту экологической обстановки, экстремальные ситуации и пр.

Использование материалов космической съемки для обеспечения задач мониторинга наиболее эффективно при исследованиях по следующим направлениям:

Для водосборов

- определение физико-географических особенностей, морфологических и морфометрических характеристик (площадь и конфигурация водосбора, залесенность, заболоченность, заозеренность, закарстованность и пр.);
- инвентаризация и оценка состояния гидрографической сети (строение, густота, канализованность, зарегулированность);
- определение состояния растительного покрова (леса, редколесья, угнетенные низкорослые леса, участки леса, поврежденные вредителями, вырубки, горелый лес и т.д.);
- слежение за динамикой таяния снегов для прогноза половодья;
- контроль за развитием природных экологически опасных процессов (эрозионных, оползневых, лавинных и т.д.);
- выявление антропогенных воздействий - установление характера землепользования и степени урбанизированности (определение типов поселений и застроенности территории, развитости транспортной сети, наличия крупных промышленных зон, мест добычи полезных ископаемых, интенсивности сельскохозяйственного освоения, осушение и орошение земель и т.д.);
- контроль за развитием негативных антропогенно обусловленных процессов (загрязнение, истощение, подтопление, заболачивание, засоление, опустынивание земель и т.д.), экстремальных техногенных чрезвычайных ситуаций;

Для водных объектов суши

- инвентаризация и оценка состояния рек, озер и водохранилищ;
- определение положения береговых линий (непостоянных и неопределенных), а также для объектов со сложным режимом колебания уровня;
- выявление динамики русловых процессов, устойчивости русел к антропогенным воздействиям, зарастание, заиление, пересыхание, деградация;
- контроль и слежение за развитием негативных природных процессов: сезонными разливами, дождевыми паводками, заторами и зажорами, обрушениями берегов и т.д.;
- слежения за динамикой береговых зон крупных озер, водохранилищ (приемных водоемов), обусловленной природными и антропогенными факторами, в том числе приводящими к экстремальным ситуациям или вызывающими стихийные бедствия;
- выявление последствий антропогенного воздействия на реки и озера в результате их зарегулирования (размывы берегов, осушение пойм в нижних бьефах, заболачивание и подтопление выше водохранилищ и т.д.);

Для дельтовых участков рек:

- выявление гидрологических и геоморфологических процессов формирования дельт;
- наблюдение за многолетней и сезонной динамикой дельтообразования и водного режима дельт, их зарастания, выдвигания или размыва; трансформацией в результате изменения уровня приемного водоема;
- определение зон затопления дельты при катастрофических наводнениях (половодьях, паводках, штормовых нагонах);
- выявление экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием на дельту;

Для приемных водоемов (крупных озер, водохранилищ, морей):

- определение размеров и конфигураций областей смешения речных и морских вод как распресненных участков морских акваторий с повышенной мутностью и, следовательно, загрязненностью;
- изучение многолетней и сезонной циркуляции прибрежных вод как фактора переноса загрязняющих веществ;
- установление границ зон затопления береговой полосы катастрофическими штормовыми нагонами, способствующими интенсивному перемешиванию водных масс и переносу загрязняющих веществ с моря на сушу и обратно в море.

Современная съемочная аппаратура, устанавливаемая на ИСЗ, позволяет получать фотографические изображения земной поверхности с высокой степенью пространственного разрешения (от 1-2 до 10-15 м) в различных диапазонах спектра, но нерегулярно и с большими временными интервалами (табл.1). Практически в реальном масштабе времени осуществляется цифровая сканерная съемка, но ее разрешающие возможности значительно хуже, чем у фотографической. Большое распространение в последние годы получила высоко информативная всепогодная радиолокационная съемка. Постоянное совершенствование технических характеристик аппаратуры, приводящее к увеличению пространственного разрешения, делают этот вид съемки весьма перспективным (табл. 2).

Таблица 1. Основные характеристики природноресурсных ИСЗ.

Космический аппарат	Основная орбита		Фото-аппаратура	Полоса захвата	Получаемая фотоинформация	
	Высота Н, км	Накло-нение			Тип	Разреше-ние, м
Гектор-НХ	235	81.4	КФА-200	0.9 Н	Панхроматическая	25
			Три КФА-1000	3x0.3 Н	Панхроматическая	5
Фрам	235	81.4	Пять КФА-200	5x0.9 Н	Многозональная в трех каналах	25
					Цветная, спектрозональная в двух каналах	27
Ресурс-Ф1	275	82.3	Три КФА-200	3x0.9 Н	Многозональная	28
			Два КФА-1000	2x0.3 Н	Спектрозональная	6
Ресурс-Ф2	240	82.3	МК-4	0.6 Н	Многозональная в трех каналах	10
					Спектрозональная в одном канале	12
Ресурс-Ф3	355	82.3	Два КФА-3000	2x0.1Н	Панхроматическая	3
Ресурс-Ф1М	235	82.3	КФА-200	0.9 Н	Панхроматическая	25
			Три КФА-1000	3x0.3 Н	Спектрозональная	5

Таблица 2. Характеристики современных ИСЗ с радиолокационной аппаратурой высокого разрешения [4,6]

ИСЗ / Датчик	Пространственное разрешение, м	Захват на местности, км	Периодичность съемки, сут
ERS/SAR	20	100	Ежесуточно
ENVISAT/ASAR	30-150	56-400	1-3
RADARSAT/SAR	10-100	50-500	1-6
RADARSAT-2	3		1-6
{TERRA}/MODIS	250 500 1000	2200	Ежесуточно
TERRASAT-X1 (перспективная система)	1.5		11
TERRASAT-L1 (перспективная система)	10-100 10-100		11
LACROSSE-4 Детальная съемка Обзорная Полосовая	1 (до 0.6) 2-3 (покадровая) 3-10 (маршрутная)	2x2-5x5 км кадр от 6x6 до 20x20км полоса до100 км	
DISCOVERER-II Детальная съемка Обзорная Полосовая	0.3 1 3	4x4 км, 60-150 кадров /час 100000 км ² /час 700000 км ² /час	
КОНДОП-Э (РФ) (перспективная система) Режим среднего разрешения Режим высокого разрешения	5-22 1-5	2x500 км (полоса обзора) 20-150 км (полоса съемки) 10-20 км (полоса съемки)	

Для решения задач каждой конкретной тематики целесообразно использовать различные типы космической съемки (КС). Так, при изучении быстротекущих гидрологических процессов, охватывающих значительные площади акватории, в том числе определяющих динамику береговой линии

морей, больших озер и водохранилищ при изменении их уровня, штормовых нагонах, половодьях и паводках крупных рек, таяния льдов, снежного покрова, выявления областей распространения нефтяных загрязнений и т.д., целесообразно использовать материалы спектрозональной сканерной и радиолокационной съемки с разрешением 30-100 м, получаемые в реальном масштабе времени. Детальная инвентаризация водных объектов для их классификации и составления кадастра, изучение процессов, медленно развивающихся во времени и пространстве, требуют привлечения крупномасштабных фотографических изображений с разрешением на местности от 2 до 20 м.

К несомненным достоинствам космических изображений следует отнести единовременность охвата значительной площади водосбора или акватории, непрерывность информационного содержания снимка для каждой точки изображения, периодичность регистрации состояния водных масс. Вместе с тем следует отметить, что, используя только материалы КС, невозможно достоверно определить качественный состав водных масс, речных взвесей, получить количественные оценки загрязняющих веществ. Можно лишь косвенно судить (выявив местоположение промышленных, сельскохозяйственных и др. объектов) о наличии в сточных водах загрязняющих веществ, присущих тому или иному виду производства. Для установления зависимости между дистанционно регистрируемой яркостью водной поверхности (или водного столба) и количественными характеристиками основных оптически активных компонентов (взвешенных и растворенных минеральных веществ, фитопланктона и пр.) необходимо проведение ряда синхронных подспутниковых экспериментов на наземных полигонах, морских судах, морских гидрологических разрезах. Полученные сведения могут быть с высокой степенью достоверности интерпретированы и для остальных участков, не охваченных натурными наблюдениями. Однако из-за недостаточного финансирования науки в последние два десятилетия практически ликвидирована возможность проведения подобных подспутниковых экспериментов.

В такой ситуации детальный анализ спектрозональных космических изображений и сведений об основных источниках загрязнений, расположенных в пределах речного водосбора, зачастую является единственным источником информации об очагах и типах загрязнения речных или морских вод. В качестве примера такого подхода можно привести опыт совместного использования дистанционных, картографических и гидрологических данных для оценки антропогенного воздействия водосборов береговой зоны Черного моря в районе Туапсе-Лазаревская на прибрежные участки акватории [2, 3]. По космическим изображениям масштаба 1:300000 с разрешающей способностью 30 м, полученным в 1987-1995 гг. сканером МСУ-Э (ИСЗ "Ресурс-01") в спектральном диапазоне 0.5-0.6 мкм, были изучены области распространения речного стока. Известно, что длина речной струи на акватории зависит от расхода воды и скорости течения реки, характеристик ветра, близости и интенсивности морских течений. Совместный анализ результатов дешифрирования разновременных материалов 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. Следовательно, загрязняющие вещества, поступающие на акваторию с жидким и твердым речным стоком, распространяются именно в этих пределах. Конфигурация речных струй позволяет судить о наличии в прибрежной зоне вихревых образований, фронтальных разделов различной природы, прибрежных течений, а также о динамике зон смещения пресных речных и соленых морских водных масс. Так, по материалам КС за 25.06 89 г. (рис. 1) были идентифицированы прибрежные антициклональные вихри, в пределах которых обычно происходит накопление вод и, соответственно, загрязняющих веществ. Ширина зоны с таким характером циркуляции составляет 10-12 км. Рисунок переноса мутных речных вод, полученных по результатам дешифрирования, отличается высокой детальностью, которую не в состоянии обеспечить сеть морских наблюдений. Загрязнение прибрежной части акватории оценивалось по степени загрязнения речного стока антропогенными источниками, находящимися на водосборах.

Для получения (в первом приближении) сведений о содержании и возможном качественном составе загрязняющих веществ в речном стоке была проведена оценка степени антропогенной нагрузки (в баллах) по комплексу показателей на водосборные территории этого участка побережья. Всего было выделено 19 водосборов, из них гидрологические данные имелись только для четырех – рр.Туапсе, Аше, Псезуапсе (с площадью водосбора ~ 300 км²) и Шепси (~ 60 км²) Для каждого водосбора по картам были установлены типы использования земель (сельскохозяйственные, промышленные, рекреационные и т.д.) и определена их доля от общей площади водосбора. С привлечением гидрологических данных вычислялась демографическая нагрузка на водные ресурсы (чел./единица годового объема стока). На рис. 2 представлен упрощенный вариант карты "Антропогенное воздействие на побережье Черного моря", на которой речные водосборы побережья дифференцированы в соответствии с результатами комплексной оценки по трем степеням антропогенной нагрузки (критической, сильной, умеренной), определены основные загрязняющие вещества, выносимые речным стоком, и выделены три степени загрязнения прибрежной акватории (сильное, умеренное, слабое). Подобный подход к изучению системы "водосбор-водоем" весьма перспективен, поскольку позволяет проводить предварительную оценку степени ее загрязнения, что особенно важно для районов с дефицитом информации. Рисунок переноса мутных речных вод, полученный по результатам дешифрирования, отличается большой детальностью, содержит новые сведения о пространственно-временной динамике вдольбереговых течений, позволяет выявить ареалы распространения максимального содержания взвесей и загрязнений в морской воде. Работы в данном направлении продолжаются.

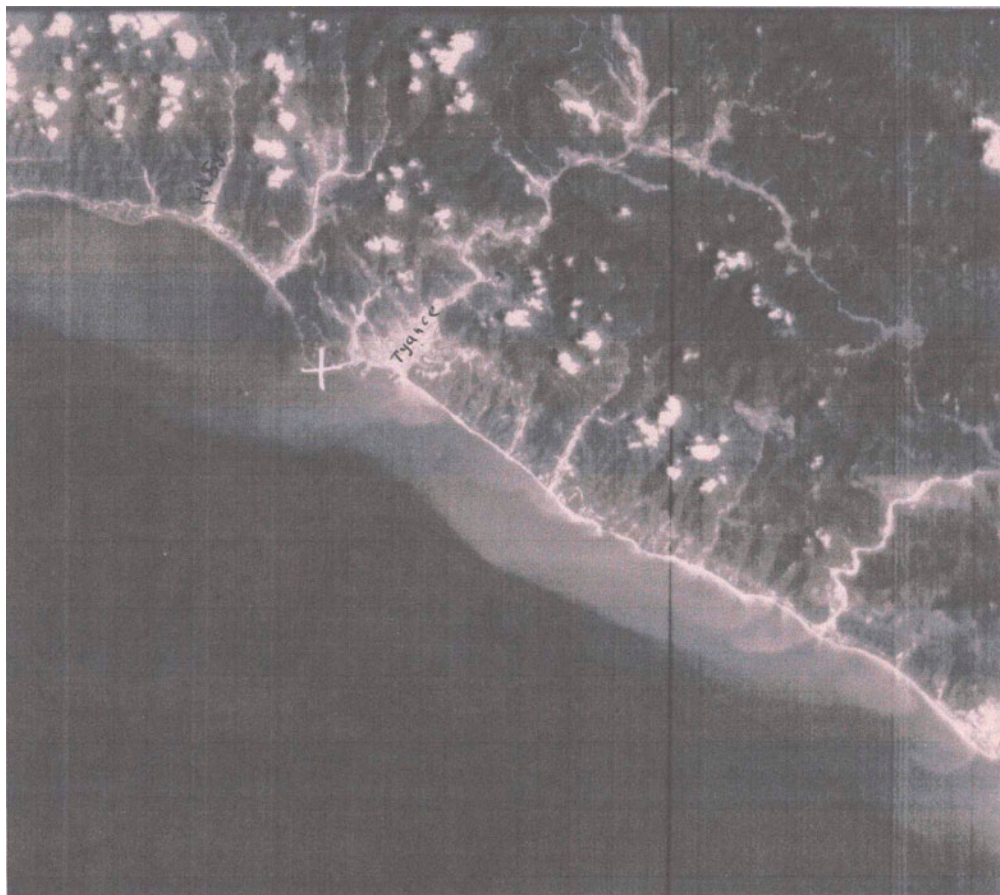


Рис. 1. Фрагмент космического изображения побережья Черного моря (ИСЗ «Ресурс-01» 25.06.1989).

Важной составляющей космического мониторинга водных объектов являются контроль и наблюдение за возникновением и развитием негативных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Основные виды чрезвычайных ситуаций, наблюдения за которыми из космоса достаточно эффективны, представлены в таблице 3. Материалы КС активно используются Министерством чрезвычайных ситуаций РФ, различными организациями и ведомствами [7], но в силу специфики своей профессиональной деятельности они опираются не на бассейновое, а на политико-административное деление территории.

Таблица 3. Космический мониторинг чрезвычайных ситуаций

Объекты системы "водосбор – водоем"	Чрезвычайные ситуации	
	Природные	Антропогенные
Реки	Наводнения в результате половодья, паводка, ледовых заторов и зажоров, их прогноз, русловые эрозионные процессы	Аварийный сброс загрязняющих веществ (промышленные, сельскохозяйственные стоки), аварии водного транспорта
Озера, водохранилища	Штормовые волнения, затопления, обрушения берегов, селевой сброс горных озер	Залповые сбросы токсичных веществ, прорыв дамб, плотин, аварии гидротехнических сооружений
Моря	Затопление побережья штормовыми нагонами, смерчи, цунами; ураганы	Нефтяные разливы, аварии водного транспорта
Водосборы	Катастрофические подвижки ледников, лавины, сели, оползни Пожары; распространение саранчи, вредителей и болезней леса	Пожары (открытые лесные, степные, тлеющие - торфяные); наводнения, аварийные тепловые выбросы

Базовым материалом при разработке серий карт чрезвычайных ситуаций речных бассейнов и морских побережий являются результаты ландшафтно-индикационного дешифрирования космических изображений, отражающие остроту экологической обстановки. Тематические карты, составленные по результатам дешифрирования, могут быть использованы при планировании мероприятий по предотвращению и уменьшению ущерба от стихийных бедствий. Так, картографический анализ условий возникновения и проявления процессов, которые по своей интенсивности, масштабам распространения и продолжительности воздействия на окружающую среду могут нанести существенный социальный и экологический ущерб, проводился на примерах водосборного бассейна р. Кубань (составлены карты опасных гидрологических и геолого-геоморфологических явлений, лавинной и селевой опасности) [2] и побережья Северного Каспия (составлены карты опасности штормовых нагонных затоплений, оценки влияния штормовых нагонов на окружающую среду побережья Каспийского моря в районах нефтедобычи) [4].

В перспективе космический мониторинг водных объектов 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 и самому человеку.

Литература

1. Антропогенные влияния на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Отв. Ред. Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. – М.: Наука, 2003.- 367 с.
2. *Верецака Т.В., Курбатова И.Е.* Картографирование опасных природных явлений и напряженности экологического состояния речного бассейна. // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. III Научно-практическая конференция. 22-23 октября 2003 г. Сборник материалов. М.: Центр “Антистихия”, 2003. С.20-21.
3. *Кукса В.И., Курбатова И.Е.* О распространении загрязняющих веществ в прибрежных водах у Кавказского побережья Черного моря. // Сб. “Водные проблемы на рубеже веков”. М.: Наука, 1999. С.208-218.
4. *Курбатова И.Е.* Картографическое обеспечение экологического мониторинга морских побережий // Экологические системы и приборы. 2000. № 9. С.2-6.
5. *Кучейко А.А.* Новая политика США в области коммерческих средств ДЗ. // Новости космонавтики. 2003. Т.13. № 8. С.48-49.
6. *Лукашевич Е.Л., Горелов В.А., Карпухина О.А.* Космические аппараты оптико-фотографического наблюдения и их роль в информационном обеспечении картографической отрасли // Геодезия и картография. 2005. №1. С. 32-37.
7. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. // II Научно-практическая конференция. 23 октября 2002 г. Доклады и выступления. М.: Едиториал УРСС, 2003. 432 с.
8. Спутники радиолокационной разведки. // Приложение к ежегоднику “Спутниковые системы связи и вещания.” Под ред. А.А.Кучейко. М.: Радиотехника, 2001. С.11-19.

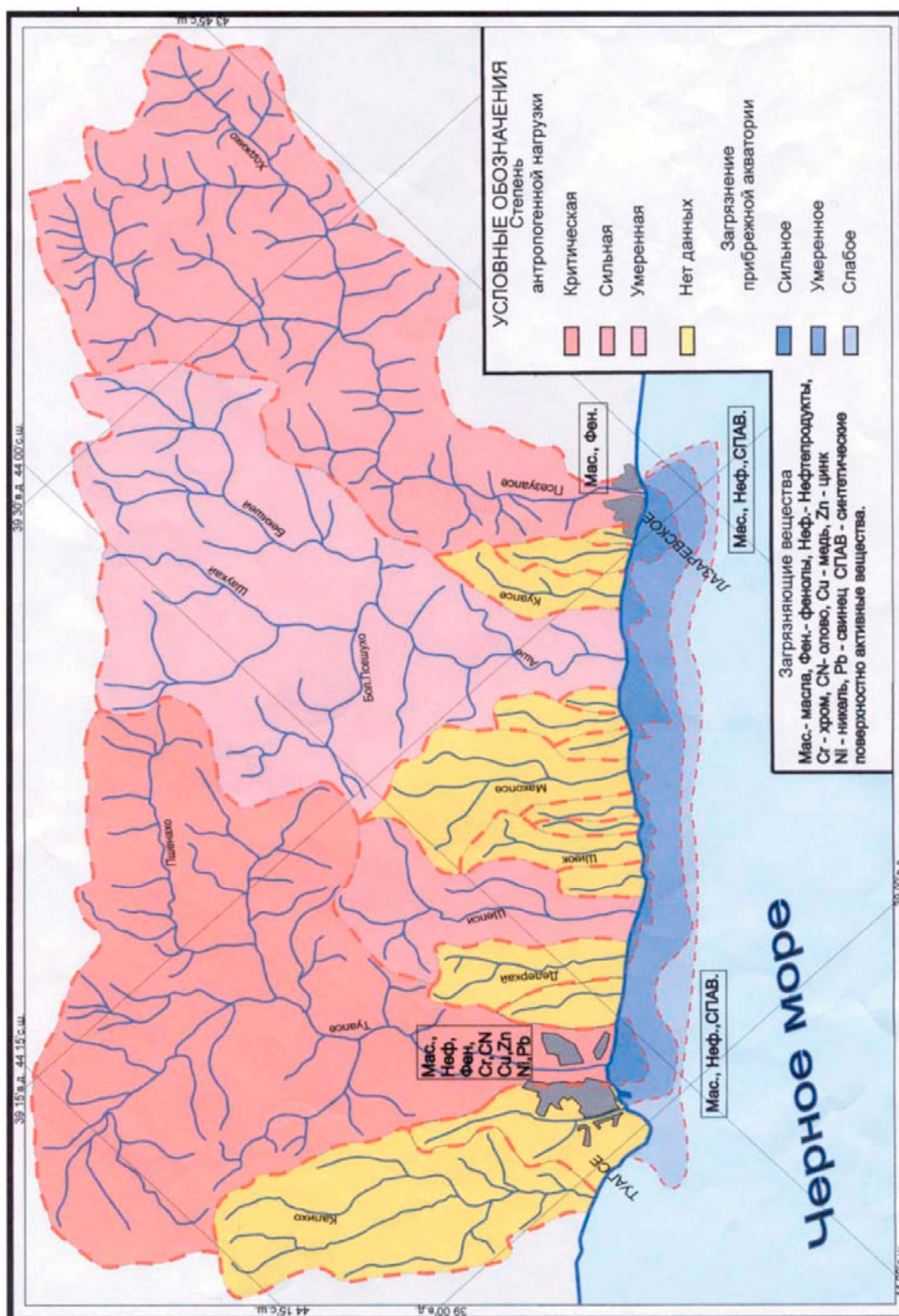


Рис.2. Оценка антропогенной нагрузки на побережье Черного моря (Туапсе-Лазаревская).