

УДК 551.46+574.58

А. В. Митько

**ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
МЕЛКОВОДНЫХ РАЙОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ**

В работе рассмотрены вопросы технического обеспечения комплексного мониторинга мелководных регионов, предложены варианты гидрофизических методов и радиолокационного подхода к данным видам обеспечения экологического мониторинга, обоснованы направления реализации дальнейших исследований в этой области.

Экологический мониторинг; мелководный район; северные регионы; гидрофизические методы; радиолокационный анализ.

A.V. Mitko

**TECHNOLOGIES OF COMBINED ECOLOGICAL MONITORING
OF SHALLOW-WATER OF NORTH-WEST RUSSIA REGIONS**

In this paper some technical issues to ensure a comprehensive monitoring of the shallow regions, suggested options hydrophysical radar techniques and approaches to this species for environmental monitoring, the rationale directions for the realization of further research in this area.

Environmental monitoring; shallow areas; the northern regions; hydrophysical methods; analysis of radar.

Система комплексного экологического мониторинга имеет ряд особенностей применительно к акватории мелководных районов Северо-Западного бассейна. Они связаны как с физико-географическими характеристиками регионов, так и с большой насыщенностью объектами техногенного происхождения, представляющими потенциальную опасность с экологической точки зрения для государств Балтийского бассейна.

Актуальность уточнения мест расположения подобных источников резко возрастает в связи с интенсивным освоением шельфа прибрежных морей. Сложные гидро- и геоакустические условия этих мелководных морей требуют разработки новых технологий поиска малоразмерных объектов на морском дне и в его верхних слоях на мелководье (единицы – десятки метров), обеспечивающих высокое разрешение (0,2-0,5 метра) при проникновении в грунт на единицы – десятки метров. Подобные прецизионные измерения должны сопровождаться высокоточной геодезической привязкой.

В качестве одного из примеров технического решения задачи оценки нефтяной загрязнённости поверхности воды, в том числе под ледовым покровом разработан гидрофизический метод, физической основой которого является изменение коэффициента отражения (индикатрисы рассеяния) от водной (ледовой), донной и объемной неоднородностей.

Поскольку морская поверхность является границей раздела, на которой величина волнового сопротивления меняется скачком, энергия, падающая снизу на поверхность, практически вся возвращается в воду, а характер акустического поля зависит от ряда факторов, основными из которых являются соотношение размера неровности поверхности к длине падающей волны. В общем случае акустическое поле, состоящее из двух компонент: регулярного (когерентного) и случайного (некогерентного), количественно описывается известным параметром Рэлея:

$$\Phi = 2k\sigma_n \sin \alpha : k = 2\pi / \lambda , \quad (1)$$

где σ_n – среднеквадратичное значение высоты неровностей. Параметр Рэлея определяется не только степенью неровности поверхности, но и частотой падающей волны и углом скольжения относительно некоторой средней плоскости. Если параметр Рэлея меньше единицы, поверхность принято считать слабощероховатой, если больше единицы, поверхность является существенно неровной и основная доля переизлученного поля заключена в рассеянной составляющей. Отсутствие достаточно полного набора экспериментальных сведений коэффициента отражения W в этом случае вынуждает на практике использовать расчётные значения для коэффициентов отражения от статистически неровных поверхностей моря. В частности, формула Марша имеет вид

$$W = 1 - 0,458 \alpha (3fH)^{3/2} (3H)^{1/10} , \quad (2)$$

где α – угол скольжения в радианах, f – рабочая частота, кГц, H – среднее значение высоты волны от подошвы до гребня. Это выражение справедливо для случая длинных по сравнению с размерами неровностей акустических волн. В зависимости от угла скольжения коэффициент отражения изменяется от 0 до 40 дБ и его резкое изменение происходит на границах диапазона. Наличие нефтяного загрязнения на поверхности изменяет как коэффициент поверхностного натяжения жидкости, так и степень ветрового волнения при отсутствии ледового покрова, поэтому необходима гидрофизическая аттестация обследуемого района с последующим периодическим измерением коэффициента отражения.

Взаимодействие между акустическими волнами и дном – сложный процесс. Он включает зеркальное отражение от границы раздела вода – грунт, рассеяние от неровной границы и неоднородностей в грунте и поглощение. Простейшей физической моделью дна является его представление в виде полубесконечного пространства с параметрами, характерными для жидкости. Для коэффициента отражения плоской волны в этом случае справедлива формула:

$$V = [m \cos \vartheta - n^2 \sin^2 \vartheta] / [m \cos \vartheta + n^2 \sin^2 \vartheta] , \quad (3)$$

где m – отношение плотностей грунта и воды; n – коэффициент преломления, ϑ – угол падения. Как и для поверхностного отражения зависимость является более резкой на границе диапазона, являясь практически неизменной в диапазоне углов $30^\circ \dots 60^\circ$ и примерно на 10 дБ отличаясь для гравия, песка, ила.

Зависимость коэффициента донного отражения от наличия на его поверхности нефтяной плёнки также может быть получена экспериментально для конкретного региона и использована для получения информации о нефтяном загрязнении. В качестве примера предлагается два варианта структуры подводного мониторинга района, представляющего собой пролив в месте расположения нефтяного терминала. Оба варианта предполагают оборудование двух береговых потов на противоположных берегах пролива с расстоянием между ними 3800 метров. Глубина пролива составляет 25 метров на расстоянии 600 метров от материкового берега и 750 метров от острова.

Поскольку вынос пирса швартовки танкеров от материкового берега составляет расстояние около 600 метров, то в первом варианте размещение приёмно-излучающей системы может быть осуществлено на глубине примерно 10 метров на основании пирса со сканированием в сторону противоположного берега под углами скольжения, определяемыми соотношением глубины расположения антенны и расстоянием до антенны на противоположном берегу. На противоположном берегу располагается вертикальная цепочка из 5-ти гидрофонов для приема сигналов, пришедших под различными углами сканирования. Бистатическая сила цели отраженного сигнала согласно известной теореме соответствует моностатической силе цели (донной или поверхностной площади отражения, определяемой шириной характеристики направленности облучения) в направлении биссектрисы угла между направлениями излучения и приема, т.е. в направлении перпендикуляра к поверхности или дну. Наряду с моностатическим приемом в точке излучения такая информация позволяет оценивать изменения коэффициента отражения от поверхности и дна в зависимости от нефтяного покрытия.

В другом варианте устанавливается одна приемно-излучающая система на дне в центре обследуемого района с направлением излучения в верхнюю полусферу и сканированием в углах, обеспечивающих обзор водной поверхности протяженностью 1200 метров в обоих направлениях от оси фарватера. При этом донные структуры могут обследоваться периодически, например, 1 раз в два месяца с помощью аппаратуры ПЭВ-К, установленной на катере малого водоизмещения, наличие которого в системе мониторинга нефтяного терминала целесообразно по ряду других оснований.

Основными этапами проверки работоспособности методов являются:

- компьютерный эксперимент с моделированием двух вариантов предлагаемой структуры мониторинга подводной среды и расчетом ожидаемых количественных характеристик отражения и их соотношения с параметрами различных загрязнений, изменяющих коэффициент поверхностного натяжения водной среды и структуру донных отложений;
- модельный эксперимент, например, в гидроакустическом бассейне, для проверки основных количественных соотношений, полученных в ходе компьютерного моделирования;
- натурный эксперимент для определения возможностей создания реальной инженерной структуры гидрофизического мониторинга подводной среды в зоне нефтеналивного терминала.

В свою очередь на территории Северо-Западного региона несистематическая, отрывочная информация, получаемая в рамках действующей системы радиационно-гигиенического контроля, перестала отвечать современным требованиям, что обусловило необходимость разработки и внедрения новых форм и методов радиоэкологического наблюдения за территориями и прибрежными акваториями. В рамках решения вышеуказанной проблемы, был выполнен ряд работ с целью разработки методов, поиска источников радиоактивного загрязнения окружающей среды, определения структуры и пространственно-временных характеристик радиационных полей на прибрежных территориях и морских акваториях.

Задачи исследований включали в себя:

- получение достоверной информации о состоянии радиоэкологической обстановки в местах вероятного ее изменения и оценку эффективности существующих систем наблюдения за радиоэкологической обстановкой в береговых и морских условиях;

- разработку новых методов, поиска источников радиоактивного загрязнения окружающей среды, определения структуры, пространственно-временных характеристик радиационных полей;
- поиск наиболее эффективных методов обработки данных о радиационной обстановке и разработку новых способов компьютерной визуализации;
- развитие алгоритмов пространственно-временной интерполяции с прогнозом изменения состояния радиэкологической обстановки на основе данных о фактическом загрязнении природной среды;
- разработку требований по созданию системы мониторинга радиэкологической обстановки морских акваторий и прибрежных территорий.

В результате решения указанных задач был разработан новый подход к проведению радиэкологического мониторинга морских акваторий и прибрежных территорий.

Сущность разработанного подхода состоит в построении информационно-экологической модели объекта на основе получаемых данных приближающейся к реальному масштабу времени (часы-сутки в повседневных условиях). Такая система объединяет измерительные приборы, алгоритмы обработки информации и средства визуализации. Полнота представления информации о радиэкологической обстановке достигается построением карт радиационных полей с выделением радиационно-опасных зон и указанием мест расположения источников загрязнения, границ и направлений распространения радиоактивных веществ. Этим обеспечивается естественное восприятие информации и акцентируется внимание на главной смысловой нагрузке для принятия эффективных управленческих решений.

Синтез компьютерной картографии с базами данных радиационных измерений для отображения реальной ситуации на дисплее компьютера обеспечивает удобное для оператора средство контроля за состоянием объекта мониторинга и служит эффективным механизмом объединения многофакторной информации об объекте.

При проведении обследований процедура получения и обобщения данных сведена к поиску источников радиоактивного загрязнения переносными радиометрами, на территории – методом пешеходной гамма-съемки – на 0,1 и 1 м от почвы, на морских акваториях с борта малоразмерного судна – на грунте и 2 м от него. Для этого обследуемые территории и морские акватории покрываются сетью γ – измерений. Шаг сетки определяется размерами предполагаемой площади обследования, временем его проведения и характером радиоактивного загрязнения. При неизвестном состоянии радиационной обстановки измерения начинаются по равномерной сетке. В дальнейшем при обнаружении радиоактивных аномалий схема усложняется и применяется способ вложения (переход с больших размеров шага сетки к меньшим), что обеспечивает локализацию источников радиоактивного загрязнения (рис. 1). Проводимые исследования показали, что оптимальной оказалась ячейка размерами 10×10 м при измерении территорий, и 20×20 м при измерениях на акваториях. При обнаружении радиоактивного загрязнения шаг сетки уменьшается до 1×1 м, и 2×2 м соответственно.

Основой нанесения результатов измерений для навигационно- топографической привязки служат географические и навигационные карты соответствующих масштабов, топографические планшеты, чертежи и схемы застроек территорий, жилых массивов с нанесенными сооружениями, дорогами, магистралями, которые используются в качестве местных реперных знаков. На морских акваториях определение мест производится навигационными, геодезическими методами, на внут-

ренних акваториях и межпирсовых пространствах – методами пеленгов, реперов и линейной разметки.

Для оценки радиозоологической обстановки и выработки управленческих решений на картах радиационных полей выделяются, как минимум, средний уровень фона, верхняя его граница и зоны радиационного риска: радиоактивного загрязнения (средний фон $+0,1$ мкГр/ч); допустимого пребывания населения ($0,6$ мкГр/ч); служащих, персонала ($2,4$; 28 ; 56 мкГр/ч) и зоны с максимальными значениями. На основании анализа карт радиационных полей выделяются источники радиоактивного загрязнения и определяются их параметры (максимальные значения, геометрические размеры и характер пространственного распределения). Далее производится спектрометрический анализ с целью идентификации источника загрязнения к естественному или искусственному происхождению.

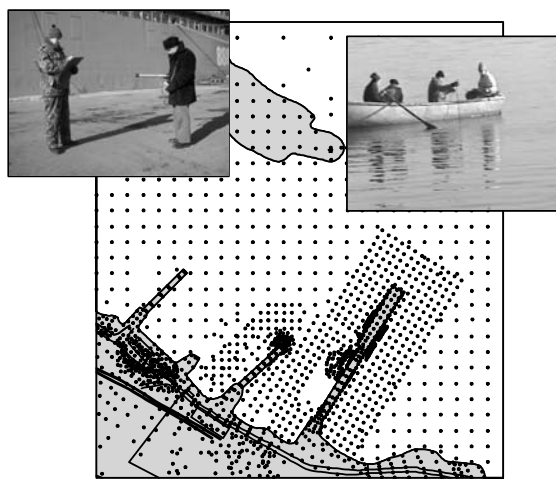


Рис. 1. Примерная схема проведения измерений МЭД на акватории и территории

10-25 см слое, а при длительной эксплуатации пунктов базирования и обеспечения обнаруживаются на глубинах 40-70 см.

На морских акваториях к обязательным видам наблюдений следует отнести контроль за донными отложениями, а также контроль воды на горизонте 2м от грунта, что позволяет выявить перенос радиоактивных веществ морской водой в придонном слое. Выбор данного уровня произведен из условия практически полного поглощения гамма-квантов ^{60}Co морской водой (на 99,9%; для ^{137}Cs - 100%), что исключает влияние прямого излучения на показания измерительной аппаратуры и обеспечивает определение мощности дозы, обусловленной переносом радиоактивных веществ. Построение карт на горизонте 2м от грунта позволяет выявить наличие неустойчивых источников радиоактивного загрязнения в донных отложениях и определить направления перемещения радиоактивных веществ в придонном слое. В связи с этим для определения интенсивности и выявления преобладающих направлений перемещения радиоактивных веществ от источников, находящихся в донных отложениях, на внутренних акваториях проводятся исследования и изучение движения водных масс в придонном слое морской воды. При этом

В местах, где концентрации техногенных радионуклидов превышают допустимые нормы, производится глубинный мониторинг почвы и грунта с целью установления глубины их проникновения и накопления. Радионуклиды, принадлежащие глобальным выпадениям, как правило, сосредоточены в верхнем слое 5-10 см. На территориях в районах радиационных аварий техногенные радионуклиды проникают до 1-10 м. В донных отложениях они сосредоточены в верхнем

определение направлений переноса техногенных радионуклидов производилось на основании анализа карт радиационных полей донных отложений, роз поля течений и эллипсов горизонтальных коэффициентов турбулентной диффузии.

В интересах поиска источников радиоактивного загрязнения и получения данных, необходимых для построения картограмм, особое внимание уделялось выбору методов измерений. Предпочтение было отдано методам сцинтилляционной радиометрии и гамма-спектрометрии. Для наиболее трудоемких исследований на морских акваториях разработаны и широко применялись различные варианты аппаратуры с донными, погружными и буксируемыми высокочувствительными гамма-спектрометрическими приемными детекторами, что впервые позволило изучить пространственное распространение техногенных радионуклидов в прибрежных морских акваториях. Обоснована возможность контроля радиоактивного загрязнения морской воды на маршрутах переходов спецсудов, при заходах их в пункты обеспечения и базирования, в районах захоронения РАО, в местах потери специальных изделий.

Методика построения карт радиационных полей разработана для обеспечения надежной оценки текущего состояния радиоэкологической обстановки и прогноза ее развития в ближайшее и перспективное будущее. Поскольку полученные данные о радиационной обстановке определены в плоскостях стандартных горизонтов, возможно преобразование данных в цифровую модель поверхности, описываемую функцией типа $Z = f(x, y)$. В более общей постановке эта задача сводится к возможности вычисления значений функции в любой точке поверхности (а значит, и в узлах сетки) по исходному набору данных. Строения и инженерные сооружения, ограждения, недоступные места нарушают равномерный характер сети измерений. Основная особенность моделирования поверхности состоит в том, что исследуемая территория, разбитая на сетку с заданными размерами сторон, анализируется программой на соответствие между координатами заданных точек в горизонтальной плоскости и вершинами ячеек сетки модели. Результатом этого анализа становятся значения координат по оси Z для тех ячеек, в которых эти значения отсутствовали. Значение Z рассчитывается по выбранному алгоритму на основе данных о соседних точках и от степени их влияния на точку расчета. Таким образом, решается задача перехода от набора значений функции Z в произвольных (неупорядоченных) точках плоскости к значениям этой функции в узлах регулярной сетки. Данный метод визуализации радиационной информации обладает рядом преимуществ:

- оперативностью обработки проводимых измерений;
- возможностью выделения наиболее опасных (зараженных) областей;
- наглядностью предоставляемой информации при выработке управленческих решений;
- целостностью восприятия информации при комбинировании нескольких типов карт (рис. 2).

Создание информационно-экологической модели включает картирование природных и техногенных радиационных полей территорий и акваторий, построение карт распределения концентраций основных техногенных радионуклидов, отражение результатов оценки плотности альфа-бета-загрязнения поверхностей и глубинного мониторинга почвы, воды, грунта, указание мест отбора проб объектов природной среды для радионуклидного анализа.

Для прогноза пространственного перемещения радиоактивных веществ на поверхности почвы и в донных отложениях по фактическим данным разработан

метод картографического диагностирования с выделением локальных участков техногенного загрязнения в области фоновых значений МЭД в интервале $P\gamma + kS$, где $P\gamma$ – средняя МЭД, k – квантиль, S – среднеквадратичное отклонение МЭД. Для его реализации проведены исследования и статистическая обработка МЭД. Установлено, что в Дальневосточном регионе МЭД изменяются от 4 до 20 мкР/ч. Наибольшие уровни отмечены в Приморском крае (12-20 мкР/ч), средние – в Хабаровском крае (8-16 мкР/ч) и минимальные – в Камчатской области (4-8 мкР/ч). Общей закономерностью изменения МЭД на территориях спецобъектов является ее уменьшение по мере приближения к морю с 12-16 мкР/ч до 4-6 мкР/ч и понижение до 2-4 мкР/ч в открытой части бухт.

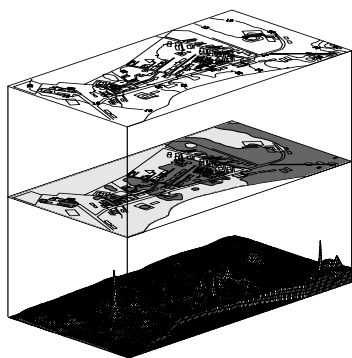


Рис. 2. Комплексное представление карт радиационных полей

ных объектов в прибрежных и морских районах радиоэкологическая обстановка характеризуется как нормальная, при которой обеспечивается сохранение природного (естественного) равновесия в окружающей среде.

Предложенные методы опробованы при проведении комплексных исследований морских акваторий и прибрежных территорий и показали свою эффективность. Разработаны требования к радиоэкологическому мониторингу и обоснована необходимость перехода на методологию, которая преодолет существующий способ получения фрагментарной информации и переориентирует радиоэкологические исследования на комплексный подход, позволяющий воспроизводить целостное состояние радиоэкологической обстановки. Построение радиоэкологической информационной модели позволяет получить «фоновый паспорт объекта» и определить размещение в оптимальных местах стационарных средств контроля с целью непрерывного мониторинга за морскими акваториями и прибрежными территориями.

Предложенный подход органически связан с существующим методом контроля радиоэкологической обстановки и является обобщающим видом деятельности. Он лежит в основе оптимизации информационного контроля в вопросах выбора мест отбора проб, объема, периодичности и точности наблюдений. Целесообразно проведение 1-2 раза в год исследований и уточнений радиоэкологических информационных моделей с последующим наблюдением за изменением радиоэкологической обстановки в контрольных точках в рамках действующей системы.

Проведенные исследования в Тихоокеанском регионе показали, что в целом, за весь период эксплуатации ядерных и радиационных

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митько А.В. Гидроакустические системы позиционирования на Арктическом шельфе // Труды международной научно-практической конференции «Наука и технологии для устойчивого развития северных регионов» – СПб., 2003. – С.190-192.
2. Митько А.В. Особенности гидрофизического мониторинга шельфовых зон арктического бассейна // Труды конференции «Экология 2006-море и человек».- «Известия ТРТУ № 12», Таганрог, 2006. – С.34-40.

3. Митько А.В. Технологии комплексного мониторинга мелководных регионов // Труды VIII Международного экологического форума «День Балтийского моря».- СПб., 2007. - С.118-121.
4. Митько А.В. Особенности комплексного мониторинга прибрежных портовых зон Северо-западного региона // Труды научно-практической конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» – СПб., 2009. – С. 82-84.

Митько Арсений Валерьевич

Арктическая общественная академия наук

E-mail: Arseny73@yandex.ru

198217, Россия, Санкт-Петербург, Дачный пр., 29, к.4, кв. 30

Тел.: +7(812)756-82-93, факс: +7(812)371-9257; +7-901-311-05-24

Mitko Arseny Valeryevich

Arctic Public Academy of Sciences, Senior researcher of Naval Radioelectronics Research Center

E-mail: Arseny73@yandex.ru

Of. 30, buil.4, 29, Dachny avenue., Saint-Petersburg, Russia, 198217

Ph. +7(812)756-82-93, fax: +7(812)371-9257; Ph: +7-901-311-05-24

УДК 534.222.2

Н.Н. Куценко**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ НА
ОСНОВЕ НОРМАЛИЗАЦИИ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЕ**

Предлагается метод определения присутствия инородных включений в воде, основанный на использовании параметрической антенны с многокомпонентным сигналом накачки. Обсуждается теоретически возможность нормализации закона распределения в параметрической антенне с многокомпонентным сигналом накачки

Параметрическая антенна; статистическая нелинейная акустика.

N. N. Kushenko**DETERMINATION OF NONLINEAR MEDIUM PROPERTY CHANGING
BASED ON DISTRIBUTION LAW NORMALIZATION
IN PARAMETRIC BEAM**

The method of foreign inclusions presence determination in medium based on using parametric antenna with multicomponent pump signal is proposed. The possibility of distribution law normalization in parametric antenna with multicomponent pump signal is considered theoretically.

Parametric antenna; statistical nonlinear acoustic.

В последнее время большое внимание уделяется экологическому состоянию водоемов, и поэтому интенсивно развиваются средства их экологического мониторинга. В задачи экологического мониторинга входят наблюдение за загрязнением