Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.
2012. Т.9. №2. С. 27–36

История применения дистанционных методов при ликвидации аварии на Чернобыльской атомной станции

Б.В. Шилин[1], В.И. Горный[1], В.И. Веремьев[2]

[1]ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН
197110, Санкт-Петербург, ул. Корпусная, 18
E-mail: v.i.gornyy@ecosafety-spb.ru
[2]НИИ систем прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций «Прогноз» СПбГЭТУ (ЛЭТИ)
197376 Санкт-Петербург,ул. Профессора Попова, 5
E-mail: ver_vi@mail.ru

Рассмотрена история применения дистанционных методов при ликвидации аварии на Чернобыльской атомной станции. Выполнен анализ достижений в области развития методов дистанционного зондирования, направленных на картографирование загрязнений окружающей среды радионуклидами. Сделан вывод о необходимости планомерных исследований, направленных на разработку методов дистанционного контроля загрязнения природной среды радионуклидами.

Ключевые слова: Чернобыль, авария, спутник, излучение, радиоактивность.

Введение

С момента аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) прошло 25 лет – срок достаточный, чтобы оценить прогресс в развитии теории, технических средств и методики применения методов дистанционного зондирования при обнаружении, картографировании и мониторинге загрязнения окружающей среды радионуклидами. Проблема стала особенно актуальной в связи с аварией весной 2011 г. на атомной станции Фукусима (Япония). Поэтому целью настоящей статьи является анализ опыта и выбор наиболее перспективных направлений для разработки методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при авариях на предприятиях ядерного цикла.

1. Применение методов ДЗЗ для выявления масштабов аварии на ЧАЭС

Авария на ЧАЭС произошла 26 апреля 1986 года в 1 ч 26 мин МСК. Уже через сутки в атмосфере над Швецией самолет военно-воздушных сил США зарегистрировал повышение радиации (Davids, Doulgeris, 2007). В связи с этим, в странах Запада для выявления причин повышения радиоактивности были задействованы средства космического базирования:

- Vortex – разведывательный геостационарный спутник слежения за системами связи СССР;
- спутниковые системы ДЗЗ.

Геостационарный спутник позволил выяснить место предполагаемой аварии. В результате, уже через три дня после аварии (29 апреля) американский разведывательный спутник Keyhole - 11 получил снимок ЧАЭС с разрешением на местности 10 - 15 см, который дал информацию о масштабах разрушения (http://www.answers.com/topic/chernobyl-nuclear-power-plant-accident-detection-and-monitoring#ixzz1affqrfwG.). Этот снимок не публиковался. В этот же день - 29 апреля, уже гражданским спутником Landsat 5 была выполнена съемка территории ЧАЭС (геометрическое разрешение на местности сканера TM в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) составляло 30 м и 60 м в ИК-тепловом диапазонах спектра) (рис.1).

Рис. 1. Изображения ЧАЭС, полученные 29 апреля 1986 г. спутником Landsat 5. Отчетливо виден яркий в ближнем ИК диапазоне пиксель - красная точка на увеличенной вклейке (по оценкам ~ 1000°С) на месте ядерного реактора четвертого энергоблока. Отмечается отсутствие шлейфа теплых отработанных вод в пруде охладителе. Это позволило экспертам сделать заключение об остановке ЧАЭС (материалы Геологической службы США (USGS) и НАСА: http://landsat.usgs.gov/gallery_view.php?category=grayflag&thesort=pictureId)

Наиболее информативными оказались каналы ближнего инфракрасного (2.08 – 2.35 мкм) и теплового инфракрасного (8 – 12 мкм) диапазонов. Высокая температура в локальном очаге четвёртого блока (более 1000 градусов) вызвала «сдвиг» спектральной плотности излучения в сторону более коротких волн, что и сформировало над «кратером» (расплавленным содержимым атомного реактора) интенсивную аномалию в ближнем ИК-диапазоне спектра (Richter et al., 1986). Кроме того, уже 1 мая 1986 г. для общественности стали доступны изображения более высокого разрешения, полученные с французского спутника Spot, показавшие наличие раскаленного дымового шлейфа, начинающегося на месте четвертого энергоблока (http://www.answers.com/topic/chernobyl-nuclear-power-plant-accident-detection-and-monitoring#ixzz1affqrfwG.).

Известно, что сведения о взрыве в 1957 г. на предприятии ядерного цикла «Маяк» и масштабы загрязнения территории Южного Урала радионуклидами долгое время были скрыты

от мировой общественности. Но в 1986 г., в результате разработки спутниковых средств ДЗЗ, страны Запада оперативно получили достоверную информацию о масштабах аварии на ЧАЭС (http://www.answers.com/topic/chernobyl-nuclear-power-plant-accident-detection-and-monitoring#ixzz1affqrfwG.). Поэтому далее замалчивание инцидента стало бессмысленным. В результате, Правительство СССР сделало официальное сообщение.

Необходимо отметить, что Правительственная комиссия, назначенная для расследования причин и ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, оперативно предприняла меры, в том числе и с помощью авиационных средств ДЗЗ, для сбора информации, необходимой для принятия управленческих решений. Так в конце первой декады мая 1986 года на территории ЧАЭС была выполнена попытка картографирования шлейфа раскаленных газов и аэрозолей в атмосфере с целью определения направлений и дальности распространения радионуклидов. Для этого проводилась крупномасштабная тепловая аэросъемка первым отечественным авиационным двухканальным тепловизором «Вулкан», установленным на вертолете (оператор В.Н.Груздев, ОКБ «Интеграл»). Было выполнено несколько залётов и получены интенсивные температурные аномалии в пределах четвёртого энергоблока. Однако, требуемая информация о распространении радионуклидов в атмосфере, на которую рассчитывала Правительственная комиссия, получена не была. Тем не менее, результаты тепловой аэросъемки были использованы для выбора оптимального места установки автоматической станции, передававшей по телеметрическим каналам комплекс физических параметров состояния «кратера». Установка этой станции позволила оценивать риск возникновения цепной ядерной реакции в расплавленном топливе реактора.

Спустя некоторое время для документирования масштаба разрушений, была проведена крупномасштабная аэрофотосъёмка значительной площади вокруг ЧАЭС.

К сожалению, из-за существовавших тогда информационных ограничений материалы тепловой аэросъёмки и аэрофотосъёмки, скорее всего, утеряны для серьезного научного анализа.

После аварии на ЧАЭС сотрудниками Главной геофизической обсерватории в 1986 г. были проведены исследования возможности создания методов дистанционного контроля естественно развивающейся конвективной облачности и осадков, а также облаков, образующихся над перегретыми участками земной поверхности, зараженных радиоактивными аэрозолями (Применение радиолокационных данных.., 1997). В результате, для ликвидации последствий аварий на предприятиях ядерного цикла была разработана методика прогнозирования областей выпадения радиоактивного аэрозоля на почву по данным метеорологических радиолокаторов (РЛ).

2. Результаты и перспективы разработки методов дистанционного мониторинга территорий, загрязненных радионуклидами

2.1 Спектральные методы

Одной из первых работ, направленных на разработку методов ДЗЗ для контроля загрязненной радионуклидами территории ЧАЭС, был технический отчет Атомного агентства США, посвященный исследованию возможности применения многоспектральных материалов спутника Landsat для картографирования пораженных ионизирующими излучениями хвойных деревьев (так называемый, «рыжий лес») (McClellan, Hemmer, DeWitt, 1992). В рамках этого исследования по материалам спутника Landsat TM выполнен количественный анализ изменений растительности (11 сцен в 1985-1988 гг.), подтвердивший (табл. 1) известную к тому времени меньшую устойчивость хвойных деревьев к ионизирующим излучениям.

Таблица 1. Доза – эффект зависимость для различных типов растительности (Whicker and Fraley, 1974)

Тип растительности	Доза ионизирующего излучения, кР		
	Слабый эффект	**Средний эффект**	**Сильный эффект**
Хвойный лес	0.1 – 1	1 - 2	> 2
Лиственный лес	1 - 5	5 - 10	> 10
Кустарники	1 - 5	5 - 10	> 10
Травы	8 - 10	10 - 100	> 100
Мхи, лишайники	10 - 50	50 - 500	> 500

В результате, авторами этой работы сделан вывод, о том, что многоспектральные материалы ДЗЗ низкого разрешения могут быть использованы для обнаружения и количественного мониторинга стресса растительности, вызванного ионизирующими излучениями. Более того, впервые поставлена проблема определения дозы ионизирующего излучения по дистанционному измерению реакции растительности.

Продолжая это направление К.Дэвис и А.Тайлер (Davids, Tyler, 2003) выполнили лабораторные исследования спектров растительности, испытавшей в зоне отчуждения ЧАЭС значительные дозы ионизирующих излучений. Целью этих исследований было изучение возможности дистанционного обнаружения стресса растительности, вызванного воздействием ионизирующих излучений. При этом, рассмотрен вопрос отделения последствий загрязнения радионуклидами от обычного водного стресса растительности. Авторы этого исследования сделали вывод о том, что в зоне отчуждения ЧАЭС радиоактивное загрязнение бука и сосны вызывает измеряемый в лабораторных условиях эффект в спектрах отраженного излучения (Davids, Tyler, 2003).

К. Дэвидс и А. Дулгерис (Davids, Doulgeris, 2007) на примере зоны отчуждения ЧАЭС продолжили изучение этой проблемы, но уже на космическом уровне. Для этого был применен метод безэталонной классификации материалов спутника Landsat TM, полученных в период с 1985 по 2000 гг. К Дэвидс и А.Дулгерис пришли к выводу, что не удается обнаружить спектральную реакцию растительности на ионизирующее излучение на фоне зарастания территории из-за выведения ее из хозяйственного оборота.

Таким образом, до настоящего времени нет убедительных доказательств успешного применения спектральных методов ДЗЗ для картографирования стресса растительности, вызванного ионизирующими излучениями. Исключением являются случаи чрезвычайно высоких доз, вызвавших в зоне ЧАЭС образование «рыжего леса» и гибель растительности (см. табл. 1) и зафиксированные аэрофотосъемкой на цветную пленку.

2.2 СВЧ-диапазон спектра электромагнитных волн (ЭМВ)

Возможность применения радиолокационных средств (активная и пассивная радиолокация) для мониторинга предприятий ядерного цикла основана на том, что появление в нижних слоях атмосферы техногенного выброса приводит к изменению физических параметров среды распространения радиоволн, что создает радиолокационный контраст и дает возможность обнаружения атмосферной неоднородности.

Необходимо отметить, что сведения об исследованиях, направленных на обнаружение радиолокационными средствами радиоактивных метеообразований техногенной природы крайне незначительны, а опубликованные материалы, недостаточно убедительны и зачастую противоречивы. Среди первых таких работ следует отметить исследования, проведенные ЦНПО «Комета» под руководством Е.Н. Кононова. Авторами с использованием ведомственных РЛС различного назначения выполнены многочисленные эксперименты по исследованию возможностей радиолокационного обнаружения локальной ионизации в приземных слоях атмосферы над промышленными предприятиями ядерного цикла. Сделана попытка разработать модель отражения ЭМВ ионизованными образованиями (Боярчук и др., 1993; Елохин,

Кононов, 1996). Теоретически получена квадратичная зависимость эффективной площади рассеяния (ЭПР) от длины волны, отличающаяся от таковой зависимости при Релеевском рассеянии. По этому признаку авторы идентифицировали радиолокационные сигналы, отраженные от атмосферных образований плазменной природы. Следует отметить, что положительная зависимость ЭПР от длины волны может быть и в других случаях (например, при рассеянии ЭМВ на термических неоднородностях), что осложняет процесс опознавания.

С начала 90-х гг проблемой дистанционного контроля радиационной обстановки зон с объектами радиоактивных выбросов и загрязнений занимаются исследователи Института ядерной физики им. Курчатова (Елохин, Кононов, 1996, Елохин, 2000).

Следует отметить ряд исследований, выполненных в Томском политехническом университете, НИИ ядерной физики (Томск) и Томской академии систем управления и радиоэлектроники. Проведены численные расчеты (Диденко и др., 1996) пространственного распределения радионуклидов на выходе вентиляционных труб реакторов, рассмотрено взаимодействие радионуклидов с воздухом и образование слабоионизованной плазмы в условиях нижних слоев атмосферы. Экспериментальные радиолокационные наблюдения пространства над промышленными зонами Сибирского химического комбината и НИИ ядерной физики Томского политехнического университета выполнены в 10-см и 3-см диапазонах ЭМВ. Сделан вывод о принципиальной возможности использования РЛС для мониторинга за состоянием воздушной среды над предприятиями ядерного цикла.

С 1992 г исследованиями в этом направлении начали заниматься группы ученых г.Санкт-Петербурга (АОЗТ «Финн-Трейд», ГГО, НИЦ ДЗА, АО «Инстар»), НИИ систем прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций «Прогноз» СПбГЭТУ (ЛЭТИ).

Была сделана попытка разработки физической модели собственного теплового радиоизлучения и рассеяния радиоволн областями атмосферы, возмущенными выбросами предприятий ядерного цикла. Обоснована методика наблюдения радиоактивных выбросов обзорными и прицельными радиолокаторами (Веремьев и др., 1996, Веремьев, Коновалов, 2008, Митько и др., 1998). На базе экспериментального радиолокационного поста проведены наблюдения за участками атмосферы в районе расположения Ленинградской атомной электростанции (ЛАЭС). По мнению авторов исследования, экспериментально измеренные значения удельной ЭПР радиоактивных выбросов обусловлены:

- турбулентными неоднородностями воздуха в окрестностях вытяжной трубы ЛАЭС;
- повышенной плотностью макрочастиц (водяные капли, аэрозоль, кластеры), причем, радиоактивность способствует образованию кластеров, которые, в свою очередь, влияют на рост крупных капель.

Отличительным признаком сигналов, отраженных от радиоактивных атмосферных образований является их стабильное местоположение на экранах РЛС. В то же время, наблюдаемые на экранах постоянные отметки могут быть вызваны и отражениями по боковым лепесткам от местных предметов (в частности, труб).

Необходимо отметить, также, попытки использования пассивного СВЧ метода, основанного на собственном излучении атомарного водорода на длине ЭМВ около 21 см. В этом направлении наиболее убедительными, представляются результаты лабораторного эксперимента, обнаружившего уменьшение флуктуаций фонового радиотеплового излучения в условиях возрастания уровня радиации. Авторы объясняют этот эффект резонансным взаимодействием излучения на длине волны 21 см с атомарным водородом, который образуется в атмосфере в результате диссоциации паров воды. (http://jre.cplire.ru/win/jul00/1/text.html).

Анализ литературы показывает, что для исследований, направленных на создание спутниковых систем радиолокационного мониторинга радиоактивных выбросов необходимо:

- создание специализированных многочастотных активных и пассивных РЛС с повышенным энергетическим потенциалом;
- разработка специальных алгоритмов обработки отраженных радиолокационных сигналов.

2.3 Методы инфракрасного-теплового диапазона спектра ЭМВ

В последнее время появились работы, посвященные применению уходящего длинноволнового инфракрасного излучения (Outgoing Longwave Radiation – OLR) (Pulinets, Ouzounov, 2011) для картографирования территорий с повышенными уровнями ионизирующих излучений. В этих работах утверждается, что на уровне орбит регистрируются положительные аномалии OLR, возникающие под действием ионизирующего излучения эманаций радона перед сильными землетрясениями и при авариях на предприятиях ядерного цикла. В качестве примера приводятся результаты, показывающие наличие такой аномалии после аварии на атомной электростанции Фукусима (Япония) (Лаверов, Пулинец, Узунов, 2011, http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1107/1107.0930.pdf.). Для обнаружения эффектов, связанных с повышением OLR над территориями с повышенными потоками ионизирующих излучений авторами этих работ использован, так называемый, ΔE-индекс (Pulinets, Ouzounov, 2011), являющийся отношением, зарегистрированной аномалии плотности потока OLR, расчитанной относительно статистического среднего значения этой плотности потока и отнесенной к среднеквадратичному отклонению плотности потока OLR, рассчитанному за период наблюдений. Следует отметить, что такой формализованный подход к выделению аномалий можно только приветствовать, но наши попытки повторить результаты авторов для аварий на Фукусиме и ЧАЭС не увенчались успехом, т. к. в случае с ЧАЭС на материалах спутника NOAA(AVHRR) не выявлено сколько-нибудь заметных повышений OLR после аварии. В период же до и после аварии на атомной электростанции Фукусима облачность была столь плотной и столь быстро менялась, что отметить какие-либо устойчивые аномалии OLR над этой АЭС не представляется возможным. Поэтому предложенная методика, основанная на расчетах ΔE индекса требует дополнительной тщательной верификации.

В работе (Горный, Крицук, Латыпов, 2011) приведены карты термодинамического индекса нарушенности экосистем (ТИНЭ) и вегетационного индекса южного Урала, построенные по результатам многократной съемки спутником Terra (MODIS). На исследуемой территории находится химкомбинат ПО «Маяк», где в озере Карачай складировано около 120 млн. Ки радиоактивных материалов, где 29 сентября 1957 года н произошла авария, в результате которой в окружающую среду было выброшено около 20 млн. Ки радиоактивных веществ. Территория ПО «Маяк» характеризуется высокими значениями вегетационного индекса и высокими значениями ТИНЭ. Это является отличительным признаком экосистем, подвергшихся воздействию ионизирующих излучений. Все остальные экосистемы, нарушенные в результате других техногенных воздействий (например, воздействием медеплавильного завода в г. Карабаш) характеризуются низкими значениями вегетационного индекса и высокими значениями ТИНЭ.

Таким образом, имеются определенные предпосылки использования инфракрасного-теплового диапазона спектра ЭМВ для дальнейших разработок методик дистанционного картографирования экосистем, подвергшихся воздействию ионизирующих излучений.

2.4 Методы ультрафиолетового диапазона спектра ЭМВ

Многие ликвидаторы аварии на ЧАЭС утверждали, что непосредственно вблизи разрушенного реактора, в местах с высоким концентрациями радиоактивных элементов наблюдалось голубое свечение. Это явилось основанием для постановки Б.В.Шилиным специального лабораторного эксперимента. Для этого была использована ультрафиолетовая (УФ) камера КТВ-IV (Табл. 2).

Таблица 2. Основные технические характеристики УФ камеры КТВ-IV

Характеристика	Значение
Спектральная чувствительность, нм	260-380
Пространственное разрешение, тел. лин.	400
Угол поля обзора, град	4
Фокусное расстояние, мм	200

Схема эксперимента приведена на рис. 2. В качестве источников ионизирующего излучения использованы стандартные источники (Таб. 3). С помощью УФ камеры регистрировалось излучение как в отсутствии источника, так и при его введении в поле зрения УФ камеры. При этом, камера располагалась в двух позициях (см. рис.2). В первой позиции источник вводился непосредственно в поле зрения камеры. Во второй позиции камера располагалась сбоку от источника и ионизирующее излучение непосредственно на камеру не попадало. Во втором случае могло регистрироваться только вторичное излучение, формирующееся в результате взаимодействия ионизирующего излучения с воздухом и аэрозолем. Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

Рис. 2. Схема лабораторного эксперимента (вид сверху)

Таблица 3. Технические характеристики источников ионизирующих излучений, использованных в эксперименте

Тип источника	Марка	Активность
Статический источник гамма-излучения	СИГ-1, кобальт 60	$1{,}97*10^3$ ГБк
Статический источник нейтронного излучения	СИН-2, калифорний-252	$2{,}7*10^2$ нейтр/с
Контрольный источник альфа-излучения, активность	6П9 №7106, площадь поверхности 160 см^2	189 000 Бк
Контрольный источник бета-излучения	6СО №7064 с площадью поверхности 160 см^2	134 000 000 Бк

Анализ результатов лабораторного эксперимента (рис. 3) показывает, что не выявлено регистрируемых потоков вторичного УФ излучения в позиции камеры 2 (см. рис. 2). Наличие же значительного количества «вспышек», зарегистрированных в позиции 1, когда поток гамма излучения непосредственно падал на объектив УФ камеры, объясняется высокой проникающей способностью гамма квантов, которые давали одинаковое количество «вспышек» как при открытом (рис. 3Б), так и при закрытом объективе УФ камеры (рис. 3А). УФ излучение не может проникнуть на чувствительную матрицу при закрытом объективе камеры. Поэтому все, что зарегистрировала УФ камера при закрытом объективе вызвано проникающим гамма излучением.

Рис. 3. Результаты регистрации потока излучения УФ камерой КТВ-IV. Источник СИГ-1 с коллиматором
А. Позиция 1. Объектив камеры закрыт. Свет выключен.
Б. Позиция 1. Объектив камеры открыт. Свет выключен.
В. Позиция 2. Объектив камеры закрыт. Свет выключен.
Г. Позиция 2. Объектив камеры открыт. Свет выключен

Таким образом, проведенный эксперимент привел к отрицательному результату. Тем не менее, нельзя считать его бесполезным. т. к. в данном случае в качестве мишени для гамма излучения использовался воздух лаборатории, в которой проводился эксперимент. Представляется целесообразным рассмотреть возможность появления голубого свечения в результате люминесценции различных по составу мишеней под действием гамма излучения или люминесценции растворов (капель росы или тумана) в результате эффекта Черенкова-Вавилова.

Заключение

Анализ истории применения методов ДЗЗ при ликвидации аварии на ЧАЭС показывает, что:

- имеются определенные предпосылки для разработки спутниковых методов контроля радиоактивного заражения с использованием спектрометрического подхода в видимом, ближнем инфракрасном, ИК-тепловом и СВЧ-диапазонах спектра ЭМВ. Необходимо дальнейшее изучение возможности применения УФ диапазона спектра ЭМВ при решении этой задачи.

- исследования, направленные на разработку дистанционных методов контроля радиоактивного загрязнения проводятся эпизодически – от аварии к аварии. Отсутствие систематического интереса к проблеме, а, следовательно, и постоянного финансирования таких работ не позволило до настоящего времени реализовать имеющиеся предпосылки на практике. Представляется целесообразным сформировать под эгидой РАН междисциплинарную программу для разработки проблемы спутникового мониторинга загрязнений окружающей среды радионуклидами.

Литература

1. *Боярчук К.А., Кононов Е.Н., Ляхов Г.А.* Радиолокационное обнаружение областей локальной ионизации в приземных слоях атмосферы // Письма в ЖТФ. 1993. т.19. вып.6. С. 67–73.
2. *Веремьев В.И., Горбунов И.Г., Калениченко С.П.,Ральников В.И.* Разработка методов и средств радиолокационного мониторинга территорий и акваторий // Мониторинг, 1996. N3(7). С. 21.
3. *Веремьев В.И., Коновалов А.А.* Радиолокационные методы обнаружения и оценки параметров атмосферных неоднородностей техногенного происхождения // СПб. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. С.136.
4. *Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш.* Термодинамический подход для дистанционного картографирования нарушенности экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. №2. С. 179–194.
5. *Диденко А.Н., Усов Ю.П., Юшков Ю.Г. и др.* Использование импульсных радиолокаторов СВЧ-диапазона для контроля радиоактивных выбросов в атмосферу // Атомная энергия, т.80, вып.1. 1996. С. 47–54.
6. *Елохин А.П.*Способ дистанционного контроля радиационной обстановки зон с объектами радиоактивных выбросов и загрязнений. Патент №12147137 РФ // ВД. 2000. С. 18.
7. *Елохин А.П., Кононов Е.Н.* Применение радиолокационных станций для обнаружения радиоактивных выбросов АЭС // Атомная энергия. 1996. т.80. вып.2. С. I29–I35.
8. *Лаверов Н. П., Пулинец С. А., Узунов Д. П.* Использование теплового эффекта ионизации атмосферы для дистанционной диагностики радиоактивного заражения окружающей среды // Доклады Академии наук. 2011. Т. 441. №2. С. 245–248.
9. *Митько В.Б., Веремьев В.И., Петров А.А.* Система предупреждения о чрезвычайных ситуациях в море, обусловленных радиационной опасностью // Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий. Тезисы докладов науч.-практ. конф. СПб. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. С. 95.
10. Применение радиолокационных данных, аэрологической и метеорологической информации для оценки аэрозольного радиоактивного загрязнения при аварийных ситуациях на АЭС (на примере Чернобыльской АЭС) // Под ред. В.Д. Степаненко. СПб. ГГО им. А.И. Воейкова. 1997. 48 с.
11. *Davids C., Tyler A.N.* Detecting contamination-induced tree stress within the Chernobyl exclusion zone // Remote Sensing of Environment. 2003. Vol. 85. P. 30–38.
12. *Davids, C., Doulgeris, A.* Unsupervised change detection of multitemporal Landsat imagery to identify changes in land cover following the Chernobyl accident // Geoscience and Remote Sensing Symposium, Barcelona. 2007. IGARSS. 2007. IEEE International P. 3486–3489.
13. *McClellan G.E., Hemmer T.H., DeWitt R.N.* Chernobyl Doses Volume 2-Conifer Stress Near Chernobyl Derived from Landsat Imagery. Technical Report DNA-TR-92-37-V2 Defense Nuclear Agency. Los Angeles. 1992. P. 83.
14. *Pulinets S., Ouzounov D.* Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model – An unified concept for earthquake precursors validation // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. Vol. 41. P. 371–382.
15. *Richter R., Lehmann F., Haydn R., and Volk P.* Analysis of LANDSAT TM images of Chernobyl // International Journal of Remote Sensing. 1986. No 7. P. 1859–1867.
16. *Whicker, F.W., and L. Fraley, Jr.* Effects of Ionizing Radiation on Terrestrial Plant Communities. Advances in Radiation Biology. Vol. 4. Edited by Lett J.T., Adler H., and Zelle M. New York. Academic Press. 1974. P. 317.

The History of Remote Sensing Methods Application During Elimination of Chernobyl Nuclear Power Plant Accident

B.V. Shilin[1], **V.I. Gornyy**[1], **V.I. Vermyev**[2]

[1]Scientific Research Centre for Ecological Safety, Russian Academy of Sciences
центр экологической безопасности РАН
18, Korpusnaya Str., Saint-Petersburg, 197110, Russia
E-mail: v.i.gornyy@ecosafety-spb.ru
[2]Saint-Petersburg State Electrotechnical University
5, Prof. Popov Str., Saint-Petersburg, 197376, Russia
E-mail: ver_vi@mail.ru

The history of remote sensing methods application during the elimination of Chernobyl Nuclear Power Plant accident is reviewed. The analysis of achievements in the application of satellite flown and airborne surveys on mapping of environment contaminations by radionuclides was done. The conclusion about necessity of systematic investigations in this approach was done.

Key words: Chernobyl, accident, satellite, irradiation, radioactivity.