

Мониторинг подтопления земель авиационным комплексом дистанционного зондирования АКДЗ-30

В.Н. Цымбал², С.Е. Яцевич¹, А.Я. Матвеев², А.С. Гавриленко², Д.М. Бычков²

*¹Институт радиофизики и электроники им.А.Я. Усикова НАН Украины
61085, г. Харьков, ул. Ак.Проскуры 12
E-mail: sey@ire.kharkov.ua*

*²Центр радиофизического зондирования земли им. А.И. Калмыкова НАН и НКА Украины
61085, г. Харьков, ул. Ак.Проскуры 12
E-mail: matveyev@ire.kharkov.ua*

В статье анализируются методические подходы и результаты комплексного мониторинга проявлений подтоплений территорий радиолокатором бокового обзора 8-мм диапазона, аэрофотоаппаратом и сканером ИК-диапазона авиационного комплекса дистанционного зондирования АКДЗ-30, проведенного в дневное и ночное время в различные сезоны. Исследуемый тестовый район характеризуется наличием разнообразных проявлений подтоплений грунта и заболоченности, развивающихся из-за плохого состояния ирригационной системы, хорошо проявляющихся на дистанционных изображениях во всех диапазонах. Показано хорошее взаимное дополнение информации видео, ИК и СВЧ диапазонов для идентификации и анализа подтоплений.

Ключевые слова: подтопления, дистанционное зондирование, ИК и СВЧ данные, обработка изображений.

Введение

Проблема подтоплений территорий в Украине по своим масштабам и динамике развития приобрела в последнее время признаки потенциальной угрозы для мест обитания человека. Как известно, подтопление территорий это комплексный процесс, проявляющийся под действием техногенных и, частично, естественных факторов, при котором в результате нарушения водного режима и баланса территории за расчетный период времени происходит повышение уровня подземных вод, достигающее критических значений, требующих применения, защитных мероприятий. (СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. <http://libgost.ru/snip/68124>).

При этом практически повсеместно наблюдается подъём уровня грунтовых вод, обусловленный повышением горизонтов воды в реках при сооружении водохранилищ, русловых плотин, судоходных каналов и других гидротехнических сооружений, насыщением грунтов при фильтрации воды через дно и берега каналов, потерями из водопроводных и канализационных сетей. При поднятии грунтовых вод заболачиваются и засоляются почвы, снижается продуктивность лугов, полей и лесов, ухудшается санитарное состояние местности, разрушаются здания и т.п.

По различным оценкам подтоплениями в Украине охвачено до 30% населения, 60% промышленно-городских агломераций, практически все развитые горнодобывающие районы и промплощадки действующих АЭС. Негативное влияние регионального подтопления земель обусловлено техногенными нарушениями природных механизмов водообмена практически всех речных бассейнов и гидрогеологических структур вследствие масштабного за-

регулирования рек. Из-за потерь от 25 до 40% и более воды из неисправных трубопроводов произошел повсеместный подъем уровня грунтовых вод в городах. Его величина составила во многих случаях 5-10 м, а иногда 15-20 м. В Днепропетровске, на массиве Тополь-1, где произошла широко известная катастрофа 1997 года, когда суффозионно-селевой выброс разжиженного плавунного грунта за считанные минуты привел к уничтожению жилого дома и гибели людей, замачивание достигало 17 м. При этом подъем уровня грунтовых вод происходил на протяжении более 12 лет со скоростью 1-1,4 м в год вследствие поступления с поверхности техногенных вод.

Таким образом, задача регулярного комплексного развития деградации грунтов в результате переувлажнения из-за поднятия грунтовых вод и подтоплений территорий становится одной из важнейших. Решить эту задачу в полном объеме возможно лишь при оптимальном сочетании традиционных контактных методов измерений (площадного бурения скважин и т.п.) и методов дистанционного определения влагосодержания грунтов, картографирования проявлений подтоплений с применением аэрокосмических средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), предназначенных, прежде всего, для решения задач, которые невозможно, или очень трудно контролировать только наземными средствами (Кронберг, 1988).

Дистанционное зондирование подтоплений

Для количественного описания процессов подтопления часто используют такие характеристики как влажность почвы и уровень грунтовых вод. Важное свойство грунтовых вод – способность их капиллярного подъема в почвенную или грунтовую среду определяет изменение влажности в слое почвы, находящемся над уровнем грунтовых вод (Кронберг, 1988).

Физической основой радиолокационного и радиометрического дистанционного определения поднятия уровня грунтовых вод является влияние режимов увлажнения поверхностного скин-слоя (вносящего основной вклад в отраженный радиолокационный сигнал) на радиационно-влажностную зависимость почвенного покрова в зонах фильтрации и подтопления.

Радиационно-влажностные свойства поверхностного скин-слоя почвы зависят от режимов увлажнения зоны аэрации грунтовыми водами. Наличие почвенных слоев с разным увлажнением, возникающим за счет капиллярного поднятия над уровнем грунтовых вод, способствует возникновению большого контраста диэлектрических свойств сухой и влажной почв, что приводит к возможной их классификации по градациям. Возникающий при этом контраст тем значительнее, чем ближе к поверхности находится увлажненный горизонт.

Для получения полезной информации в процессе дистанционного зондирования используются как особенности отражения электромагнитных волн различной длины от объектов исследования, так и особенности собственного излучения этими объектами электромагнитных волн.

Достаточно интенсивно используются данные оптического и инфракрасного диапазонов. Они позволяют выделить информацию о состоянии растительного покрова и земной поверхности (оптический диапазон), о ее температуре (инфракрасный диапазон).

Радиолокационные и радиометрические методы дистанционного зондирования, основанные на связи геометрических и электрофизических характеристик поверхностных и подповерхностных образований с параметрами отраженных или излученных поверхностью сигналов не зависят от освещенности, погодных условий и отличаются высокой проникающей способностью, а применение оригинальных методов обработки дает новое представление об изучаемых поверхностях. Исследования показали, что излучение миллиметрового диапазона взаимодействует с открытыми почвами и, особенно, с верхним слоем растительного покрова, сантиметровое излучение проникает внутрь слоя растительности, достигая почвы, дециметровое и метровое излучение практически не испытывает влияния растительности и проникает в почву на глубину, которая зависит от диэлектрических свойств почвы. Синхронное зондирование во всех этих диапазонах обеспечивает послойное наблюдение почв и растительного покрова, что позволяет по-новому решать задачи дистанционного зондирования аграрных территорий (Цымбал и др., 2005).

Теоретические и экспериментальные исследования последних лет (Ulaby et al., 1983; Hallikainen et al., 1985; Azad Hossain et al., 2006; Shi et al. 1997; Шутко, 1986; Вульфсон, 2000; Кулемин, Яцевич, 2004; Цымбал и др., 2005) показали, что данные многочастотных радиолокационных систем дистанционного зондирования, использующих различные комбинации поляризаций излучаемых и принимаемых сигналов, в комплексе с данными оптических и инфракрасных систем позволяют приблизиться к определению параметров исследуемых поверхностей.

Практический мониторинг подтоплений территорий в видео, ИК и СВЧ диапазонах

Для отработки методик совместного использования авиационной видео, ИК и радиолокационной съемки для мониторинга проявлений переувлажнения почв в результате подъема уровня грунтовых вод (лето-осень-зима) комплексный эксперимент, включающий съемку с борта самолета лаборатории АКДЗ-30 и проведения синхронных наземных подполетных измерений.

В состав АКДЗ-30 (Конюхов и др., 2007; Цымбал и др., 2005) входят: двухчастотная радиолокационная система, которая состоит из РБО 8-мм диапазона и РСА 23-см диапазона, сканирующий радиометр ИК-диапазона, трассовый многоканальный спектрометр оптического диапазона, аэрофотокамера и видеокамера, система бортовой обработки, накопления, интерпретации и отображения информации, а также навигационный приемник системы GPS. Комплекс АКДЗ-30 ориентирован на решение широкого круга научных и практических задач в интересах регионов Украины. Прежде всего, это оперативное обнаружение предвестников и мониторинг проявлений разнообразных природных и техногенных катастроф, критических ситуаций (таких как наводнения, разливы на водной поверхности нефтепродуктов, ледовые заторы на реках, крупномасштабные пожары и мн. др.), а также поиск проявлений полезных ископаемых, обнаружение судов-нарушителей границ морской экономической зоны и мн. др. Комплекс размещен на борту самолета АН-30, который принадлежит МЧС Украины, имеет относительно невысокие эксплуатационные расходы и при этом достаточно хорошие летные характеристики.

Основные параметры систем дистанционного зондирования комплекса АКДЗ-30 приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Основные параметры радиолокационной системы авиационного комплекса дистанционного зондирования АКДЗ-30

Рабочий диапазон радиоволн	8 мм	23 см
Тип радиолокатора	РБО	РСА
Поляризация сигналов	ВВ	ВВ, ГГ, ВГ, ГВ
Импульсная излучаемая мощность	16 КВт	0.5 КВт
Длительность зондирующего импульса	43 нсек	10 мксек
Диапазон рабочих высот	500м – 7000 м	
Рабочая полоса обзора	15 км	
Среднее пространственное разрешение	7м –10 м	
Предельно обнаруживаемая ЭПР	0.03 м ²	0.025 м ²
Обработка информации	цифровая, на борту	
Отображение информации	на мониторах IBM PC	
Общая масса	85 КГ	70 КГ
Общая потребляемая мощность	1 КВт	1 КВт
Обслуживающий персонал	1 оператор	1 оператор

Таблица 2. Основные характеристики аэрофотоаппаратов, которые используются в составе комплекса АКДЗ-30

Параметры	АФА-41/7,5	АФА-41/10	АФА-41/20
Тип объектива	Ортогон-1	МРО-2	Орион-20
Фокусное расстояние	75 мм	100 мм	200 мм
Относительное отверстие	1:6,8	1:8	1:6,3 – 1:22
Угол поля зрения	1190	1040	650
Ширина захвата (Н = 6000 м)	14,4 км	10,8 км	5,4 км
Протяженность маршрута (перекрытие 60%, Н = 6000 м)	1612 км	1210 км	605 км

Таблица 3. Основные характеристики сканера инфракрасного диапазона “Малахит-1”

Наименование параметра	Значение
Тангенциальная скорость W/H, с ⁻¹	0.05 –0.36
Обзор местности	3.4Н
Мгновенное поле обзора, рад	1.75 · 10 ⁻³
Спектральный диапазон, мкм	8 – 14
Энергетическое разрешения на уровне 20 °С, при соотношении сигнал/шум равному 1, °С	0.1 – 0.15
Скорость вращения сканирующей призмы, об/мин	2250
Частота строк, Гц	150
Полоса пропускания электронного тракта	1Гц –150.0 кГц
Фотопленка	Тип 42Л
Скорость протяжки пленки, мм/с	0.8 – 7.2

Информация радиолокатора и ИК сканера обрабатывается непосредственно на борту самолета в реальном времени. На борту проводится накопление, визуализация полученных изображений, производится перезаписывание данных на дополнительный компьютер для оперативной бортовой интерпретации, что особенно необходимо при мониторинге быстропротекающих катастрофических процессов.

Для проведения натурального эксперимента по отработке методик мониторинга проявления подповерхностного переувлажнения почв был выбран тестовый полигон в зоне Нежинского района Черниговской области (Украина), в районе поселка Хорошее Озеро.

Район проведения натурного эксперимента характеризуется наличием железной дороги и автомобильных дорог разной категории, сельхозугодий, лесных массивов, болот, рек и разветвленной мелиоративной системы. Регион характеризуется значительной заболоченностью. Уровень грунтовых вод находится достаточно близко к поверхности. Существующая система мелиоративного водоотвода, позволявшая раньше понизить уровень подповерхностных вод, и, соответственно, существенно уменьшить площадь переувлажненных вследствие этого земель и площадей, занятых болотами, в значительной степени запущена. Значительная часть дренажных каналов загромождена, заросла камышом, и не выполняет задач возлагаемых на мелиоративную систему (Рожок, Гунченко, 2005).

Целью проведения натурных экспериментов была отработка метода авиационного мониторинга проявлений поверхностной и подповерхностной влажности и, в особенности проявлений подповерхностного переувлажнения грунта вызванного подъемом уровня грунтовых вод. Натурные эксперименты проводились в условиях разных сезонов – зимой, летом и осенью при помощи радиолокатора бокового обзора 8-мм диапазона, сканера ИК-диапазона «Малахит-1» и аэрофотоаппарата АФА-41/7,5.

Зимний экспериментальный полет был осуществлен с 9.50 до 11.15 часов местного времени при безоблачной безветренной погоде. Температура воздуха 3 – 50°С, снежный покров отсутствовал, на почве заморозки – вся растительность покрыта легким инеем. Видимость 10 – 15 км, легкая дымка. Дню проведения эксперимента предшествовал длительный период (более 2-х недель) сырой, погоды с периодическим выпадением осадков в виде морозящего дождя и позитивной температурой воздуха до 3 – 80°С.

Оптическое изображение было получено спустя несколько дней после ИК и РЛ съемки, в условиях понизившейся температуры воздуха и выпавшего снега (рис. 1).

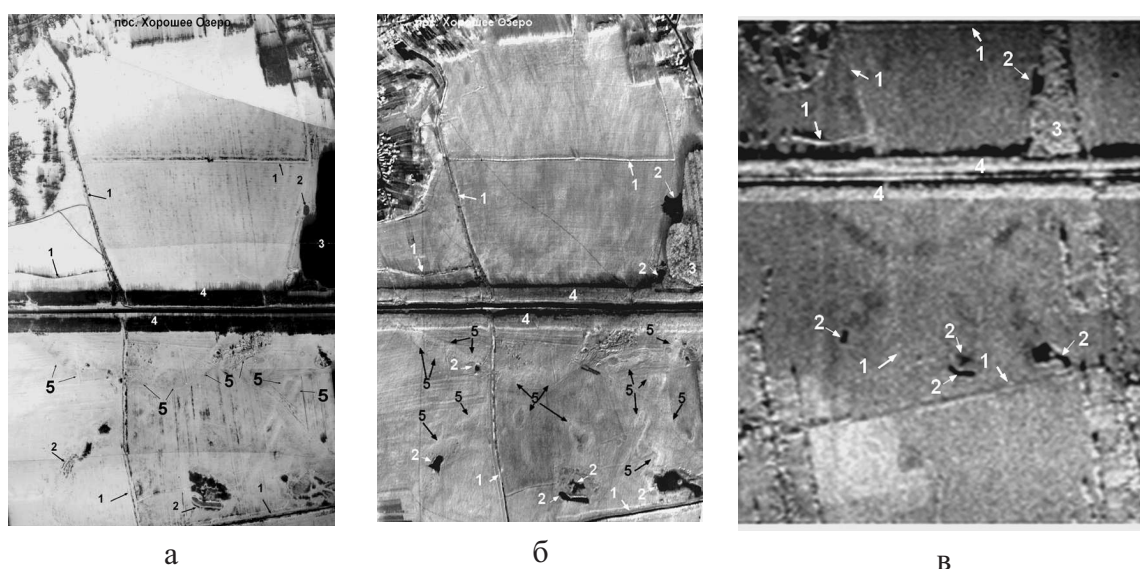


Рис. 1. Изображения тестового полигона, полученные с борта авиационного комплекса дистанционного зондирования АКДЗ-30 в дневное время в зимний период 2003 г. (а- оптическое, б- ИК и в- РБО).

На изображениях отмечены: 1-каналы мелиоративной системы; 2-водоемы с открытой водой; 3-лес; 4- лесопосадки возле железной дороги; 5- многолетняя растительность (травы и кустарниковые) на переувлажненных участках почвы, которые выделяются более светлым тоном на дневном ИК изображении, т.к. из-за солнечного прогрева произошло стаивание инея на верхушках растительности

В результате анализа изображений оптического ИК и РЛ диапазонов, полученных в зимний период, в условиях отсутствия вегетации растительности, и без снежного покрова земли надежных признаков проявлений подтоплений обнаружено не было, наблюдается значительный РЛ и ИК контраст между сушей и открытой водной поверхностью.

Проявление зон повышенного увлажнения и подтопления почвы наблюдается на ИК изображениях (по виду растительности), подтверждается с некоторой вероятностью наличием на лугах неоднородностей с незначительным негативным РЛ контрастом.

Таким образом, дневная зимняя съемка (при слабо прогретой поверхности почвы) оказалась малоинформативной. Поэтому главной особенностью проведения съемки тестового полигона в осенний период было проведение комплексной авиационной съемки (как в дневное время, так и в ночное) совмещенной с проведением наземных измерений влажности почвы и глубины расположения грунтовых вод. Измерения производились специалистами Научного центра аэрокосмического исследования Земли Института геологических наук НАН Украины (ЦАКИЗ) при помощи контактных измерений и наземного влагоуровнемера радиоволнового диапазона (Рожок, 2005).

Во время осенней съемки (в начале октября) (рис. 2) в течение суток были выполнены: дневной полет (13⁰⁰ – 14⁰⁰ местного времени), затем – ночной (23⁰⁰ – 24⁰⁰). Во время проведения дневного полета был солнечный день, небольшие кучевые облака. Видимость днем и ночью – больше 5 км. Температура воздуха у поверхности земли днем $\approx 14^{\circ}\text{C}$, ночью $\approx 8^{\circ}\text{C}$.

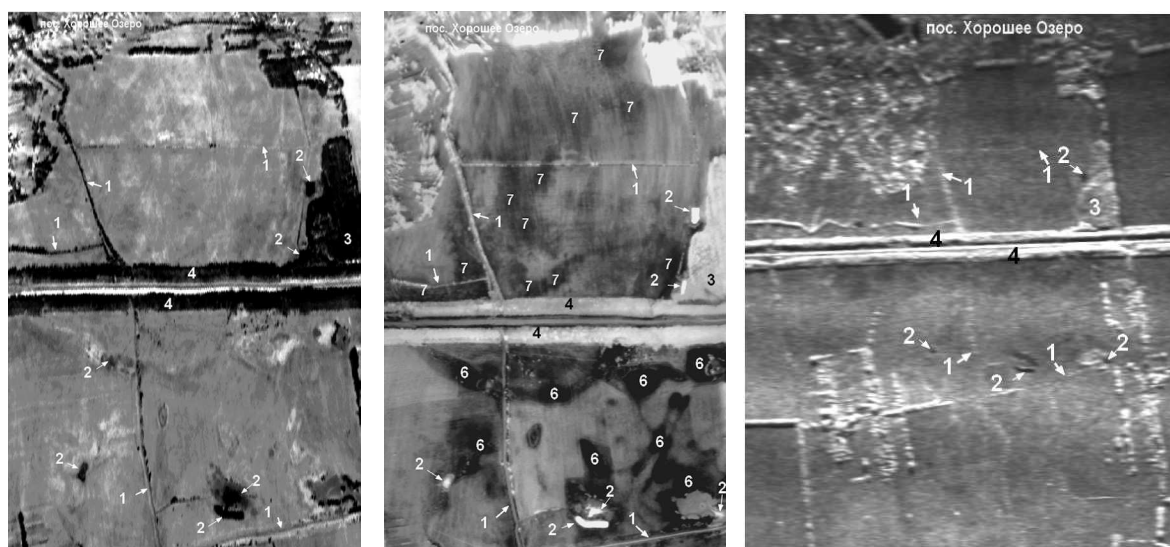


Рис. 2. Изображения тестового полигона, полученные с борта авиационного комплекса дистанционного зондирования АКДЗ-30 в дневное и ночное время в осенний период 2004 г. (а – ИК дневное, б – ИК ночное и в – РБО). На изображениях отмечены: 1 – каналы мелиоративной системы; 2 – водоемы с открытой водой; 3 – лес; 4 – лесопосадки возле железной дороги; 6 – зоны на ночном ИК изображении с пониженной (на 3-5 0С) поверхностной температурой, совпадающие с расположением многолетней растительностью (травы и кустарниковые) на переувлажненных (длительное время) участках почвы; 7 – зоны пониженной поверхностной температуры на ночном ИК изображении, которые не проявляют себя ни на оптических снимках, ни на дневных ИК изображениях

Выявленные на ночных ИК изображениях зоны (7 – на рис. 2б) имеют значительно более низкую температуру по сравнению с соседними участками открытой почвы.

Это вызвано тем, что тепловая инерция почвы (поверхность которой в дневное время нагрета солнечным излучением) значительно ниже, чем у воды (например, температура

воды в открытых водоемах по метеоданным мало отличается в дневное и ночное время). А в ночное время (когда отсутствует подогрев поверхности почвы солнечным излучением) подповерхностная влага (которая находится при температуре значительно более низкой, чем поверхность почвы) инфильтруется в верхний слой почвы, переувлажняя его и вызывает понижение ночной температуры поверхности грунта, в основном за счет кондуктивного теплопереноса в почвенном слое.

Сопоставление ночного и дневного ИК изображений позволяют получить более достоверную картину пространственного распределения увлажненных и переувлажненных участков (выглядят на ночном ИК изображении более холодными).

Анализ этих изображений также показывает, что важным маскирующим фактором, который влияет на надежность обнаружения проявлений подтоплений на ИК изображениях, является поверхностная растительность (прежде всего, лес, кустарниковые и многолетние травы), которая в дневной период аккумулирует теплый воздух, а в ночное время имеет более высокую температуру, чем поверхность почвы.

Оценить влияние растительности на результаты дистанционного зондирования переувлажненных участков почвы позволяет рассмотрение результатов РБО съемки в 8-мм диапазоне (обладающей высокой чувствительностью к биомассе растительности). Эти данные (рис. 2в) свидетельствуют об отсутствии значительной растительности в районе выявленных на ночных ИК изображениях зон (7 – на рис. 2б).

Наличие явлений переувлажнения почвы и подтопления были подтверждено результатами наземными измерений влажности почвы и глубины расположения грунтовых вод, произведенными специалистами ЦАКИЗ при помощи контактных измерений и наземного влагоуровнемера радиоволнового диапазона (Рожок, 2005).

Полученные результаты позволили ведущим специалистам Украины в области борьбы с подтоплением территорий отметить в направленном в КМ Украины решении 3-й НПК «ПОДТОПЛЕНИЕ-2005» перспективность авиационного мониторинга проявлений подтоплений в сочетании с традиционными наземными методами.

Выводы

Проведенное исследование проявлений подтоплений почвы с помощью авиационного зондирования и наземной проверки убедительно подтвердило эффективность использования метода комбинированного оптико – радиолокационно – инфракрасного зондирования (в сухой осенний или весенний период). Инфракрасные данные при условиях проведения дневной и ночной съемки территорий позволяют обнаружить и картографировать проявления, как поверхностной воды, так и подповерхностного увлажнения (подтоплений) почв. Тепловые контрасты изображений зон подтоплений на ИК изображениях достигают 3 – 50°C относительно неувлажненных участков, что позволяет с высокой надежностью их отличать от других образований. С помощью радиолокационной информации РБО (8-мм диапазона) возможно нормировать ИК изображение зон подтоплений уменьшая при этом маскирующий влияние поверхностной растительности, которая значительно повышает достоверность получаемых данных (Конюхов и др., 2007).

Результаты проведенного наземного тестирования подтверждают информацию об участках подтоплений, которые были обнаружены при дистанционном зондировании.

Таким образом, результаты работы убедительно показали эффективность методики сезонного комбинированного оптико – радиолокационно – инфракрасного дистанционного зондирования паводковых явлений и подтоплений, а также необходимость проведения последующих исследований направленных не только на расширение временных рамок использования методов качественного выявления подтоплений территорий, но и на создание и отработку методов количественного анализа, то есть оценивание степени поверхностной и подповерхностной увлажненности почв на больших площадях, что чрезвычайно важно для предупреждения критических ситуаций и катастроф.

Литература

1. Радиолокационные методы и средства оперативного дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей Под редакцией С.Н. Конюхова, В.И. Драновского, В.Н. Цымбала. Киев, изд. «Джулия принт», 2007. 439 с.
2. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. М.: Мир. 1988. 343 с.
3. Вульфсон Л. Д. Особенности формирования температуры и коэффициентов отражения земных покровов в тепловом ИК и СВЧ диапазонах применительно к дистанционному зондированию в геологических и природоохранных целях // Дис. канд. физ.-мат. наук: 05.07.12 / НАН Украины. Институт геологических наук. К. 2000. 236 л.
4. Кулемин Г.П., Яцевич С.Е. Взаимосвязь обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона с параметрами растительного покрова и открытых почв при дистанционных методах зондирования // Успехи современной радиоэлектроники. 2004, №3. С.24-34.
5. Рожок Г.П., Гунченко В.О. Определение зон подтопления территорий с использованием влагоуровнемера радиоволнового диапазона // Материалы 3-й НПК «ПОДТОПЛЕНИЕ-2005»: Неотложные проблемы предупреждения и борьбы с региональным подтоплением земель. Лазурное, Херсонская обл. НПЦ «ЭКОЛОГИЯ, НАУКА, ТЕХНИКА». 2005. С.26-27 (на укр. языке).
6. Цымбал В.Н., Бычков Д.М., Гавриленко А.С. и др. Оперативный мониторинг подтоплений авиационным комплексом дистанционного зондирования АКДЗ-30 // Мат. 3-й НПК «ПОДТОПЛЕНИЕ-2005»: Неотложные проблемы предупреждения и борьбы с региональным подтоплением земель. 2005. Лазурное, Херсонская обл. НПЦ «ЭКОЛОГИЯ, НАУКА, ТЕХНИКА». 2005. С.28-30 (на укр. языке).
7. Шутко А.М. СВЧ Радиометрия водной поверхности и почвогрунтов // М. Наука. 1986.
8. Ulaby F.T., Baltilava P.P. Dobson M.C. Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and soil texture. Part 1 – Bare soil // IEEE Trans. Geosci. Electron. 1983. V.16, №4. P.286-295.
9. Hallikainen M. T., Ulaby F. T., Dobson M. S., El-Rayes, Lin-Kun Wu. Microwave dielectric behavior of Wet soil // IEEE Trans. Geosc. Remote Sens. 1985. Vol.23, №1. P.25-34.
10. Azad Hossain A.K.M., Greg Easson, Boken V. K. Mapping spatial variation in surface moisture using reflective and thermal aster imagery for southern Africa // ASPRS 2006 Annual Conference Reno. Nevada. 2006.
11. Shi J., Wang J., Hsu A.Y., O'Neil P.E. and Engman E.T. Estimation of Bare Surface Soil Moisture and Surface Roughness Parameter Using L-band SAR Image Data // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1997. Vol. 35, №5. P.1254-1266.

Integrated monitoring of lands underflooding manifestations by the aviation remote sensing complex ACRS-30

V. N. Tsymbal¹, S.Ye Yatsevch², A.Ya. Matveev¹,
D.M. Bytchkov¹, A.S. Gavrilenko¹

*¹Kalmykov center for Radiophysical Sensing of the Earth of NAS
of Ukraine and NSA of Ukraine, Kharkov
E-mail: matveyev@ire.kharkov.ua*

*²Institute of Radophysics and Electronics of NAS of Ukraine, Kharkov
E-mail: sey59@mail.ru*

In the paper are analyzed theoretical approaches and results of Integrated monitoring of lands underfloodings manifestations by the side-looking Ka-band radar, an aerial camera and IR scanner of aviation complex of the remote sensing ACRS-30, realized during day and night time of various seasons. The investigated test area is characterised by presence of various manifestations of underfloodings of a ground and swamping areas expands as a result of a bad state of irrigation system. This manifestations are well observes at the remote images of all bands. Good mutual complements of the optic, IR and microwave data for identification and analysis of underfloodings, and surface floods are indicates.

Keywords: underfloodings, remote sensing, IR and microwave data, image processing.