

УДК 631.4

UDK 631.4

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
АГРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.
ЧАСТЬ II**

**PRACTICAL BASE OF AGRO-COSMICAL
MONITORING. PART II**

Рекс Леонид Мечеславович
д.т.н., профессор, академик РАЕН
*Московский государственный университет
природообустройства*

Rex Leonid Mecheslavovich
Dr. Sci. Tech., professor, academic of RANS
*Moscow State University of Nature arrangement,
Moscow, Russia*

Тимохин Вячеслав Михайлович
ведущий специалист Федерального
Государственного Унитарного Предприятия
«Российский научно-исследовательский институт
космического приборостроения»

Timohin Vyacheslav Mikhaylovich
leading specialist of the Federal State Unitary Enterprise
"Russian research institute of cosmic instrument
making"

Представленный материал в практическом приложении описывает информационную структуру региональной системы агрокосмического мониторинга сельскохозяйственных земель с учетом увязки информационных потребностей в решении задач по оценке состояния сельскохозяйственных культур, реальных возможностей современной спутниковой аппаратуры, реальных возможностей различных информационных каналов, тематического полигонного обеспечения, технологий тематического дешифрирования.

The presented material in a practical exhibit describes the information structure of the regional system of agro-cosmic monitoring of the agricultural lands with the provision for tying ups of the information needs for decision of the problems on estimation of the condition of the agricultural cultures, real possibilities of the modern satellite equipment, real possibilities of different information channels, thematic polygonal provision, the technology of thematic decoding.

Другими словами, нами представлена модель, которая на основе дистанционно-контактного контроля о состоянии сельскохозяйственных земель и, главным образом, за состоянием растительного покрова почвы (как индикатора) сможет обеспечить различным сельскохозяйственным потребителям и государственным контролирующим органам решение целого ряда задач в агроэкологической сфере

In other words, this is the model, which will be able to provide the decision of a number of problems in agro-ecological sphere to different agricultural consumer and state checking authorities on a base of remote-contact checking for condition of the agricultural lands and, mainly, for condition of the vegetable cover of ground (as an indicator).

Ключевые слова: КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, СЪЕМОЧНАЯ АППАРАТУРА, РАСПИСАНИЕ ПРОЛЕТА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ДИСТАНЦИОННО ПИЛОТИРУЕМЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, ПЕРСОНАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ПРИЕМА СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ, АПРИОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ПОЛИГОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ТЕМАТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Keywords: COSMIC DEVICES, SHOOTING EQUIPMENT, TIMETABLE OF THE STAIRWELL COSMIC DEVICE, REMOTE CONTROLLED FLYING MACHINE, SATELLITE DATA PERSONAL RECEIVING STATION, A PRIORI INFORMATION, THEMATIC DECODING

1.11 Полигонная информация (Блок 11)

Основным подспутниковым локальным полигоном в работе служат поля и тестовые участки ГНУ НИПТИ АПК РАСХН (рис. 6). В настоящее время на все поля и тестовые участки ежегодно изготавливается паспортная ведомость с учетом таких показателей, как тип почвы, механический состав,

гумусность, площадь, вид сельхозкультуры, урожайность. Пример такой ведомости приведен в Приложении 1, табл.2.

Кроме того, проводится дополнительное выборочное обследование полей крупных землепользователей Калужской области Перемышльского района, близрасположенных к полигону.



Рисунок 6 – Ситуационный космоплан размещения тестовых участков на полигоне в 2008 году.

1.11.1 Агроклиматические условия полигона

Основными климатическими факторами, определяющими условия роста и развития сельскохозяйственных культур в Калужском регионе, являются тепло и влага.

Учитывая тепло- и влагообеспеченность, Калужскую область можно разделить на 2 агроклиматических района. Первый агроклиматический

район занимает северную половину территории области. Второй занимает южную.

По агроклиматическим условиям территория полигона занимает промежуточное положение (золотую середину) между двумя основными агроклиматическими районами Калужской области.

В целом по агроклиматическим условиям основные проблемы продуктивности сельского хозяйства в регионе связаны с недостатком тепла и избытком влаги.

Согласно агроклиматического районирования Российской Федерации в задачах агрокосмического мониторинга Калужский регион может служить аналогом для Московского, Смоленского, Тульского и Брянского регионов.

1.11.2 Основные виды подспутниковых наблюдений на полигоне:

- Контроль за размещением сельскохозяйственных культур;
- Контроль за сроками и видами агротехнических операций;
- Водно-балансовые расчеты;
- Баланс питательных элементов на конкретных полях и тестовых участках;
- Контроль за текущими агрометеорологическими параметрами;
- Фенологические наблюдения: всходы; кущение; выход в трубку; ветвление (колошение); цветение; молочная спелость; восковая спелость; полная спелость;
- Подсчет густоты стояния растений;
- Динамика роста растений;
- Учет биологического урожая зеленой массы;
- Учет биологического урожая зерна. Определение его структуры и химического состава;
- Контроль за гидрогеологическими параметрами;
- Анализ архивных материалов по истории полей;

- Лабораторные анализы.

1.11.2.1 Лабораторные анализы:

- Определение агрохимических свойств почвы;
- Определение водно-физических свойств почв на конкретных полях;
- Определение влажности почвы;
- Анализ почвы на содержание питательных веществ: азот, калий, фосфор, гумус, нитраты, кислотность;
- Питательная ценность корма.

Необходимым условием функционирования тестового агрокосмического полигона в структуре агрокосмического мониторинга с применением методов дистанционного зондирования является наличие своего рода паспорта полигона - документально зафиксированные особенности полигона, объекты и состав наблюдений и т. п.

1.11.3 Паспорт подспутникового тестового агрокосмического полигона

В 2008 году началась разработка паспорта подспутникового тестового агрокосмического полигона, который представляет собой по сути единую систему управления базами цифровых данных (СУБД) и включает в себя следующие основные элементы:

Название полигона. Его код в системе региональных полигонов.

Административная привязка.

Географические координаты поворотных точек границы полигона.

Описание природной зоны (физико-географический район);

Определение зоны репрезентативности полигона в регионе.

Перечень типов объектов, взятых под наблюдение (почвенные, растительные, водные), ключевые участки, точки контроля.

Пространственно-временные характеристики природно-хозяйственных условий полигона (базы данных):

- Гидрогеологические условия;
- Почвенные условия;
- Агрохимические условия;
- Гидрологические условия. Водно-балансовые характеристики;
- Землеустроительные условия;
- Геоморфология;
- Климатические условия;
- Погодные условия. Агрометеорологические параметры;
- Безоблачность неба. Прозрачность атмосферы;
- Естественный растительный покров;
- Ландшафтная структура территории;
- История полей, ключевых участков;
- Состояние и режим эксплуатации водохозяйственных

мелиоративных объектов и оросительно-осушительных систем.

Методы наземного контроля.

Средства наземного контроля.

Методы дистанционного контроля.

Средства дистанционного контроля.

Параметры, которые подлежат контролю:

○ Каталог эталонов спектральных характеристик, палитр объектов наблюдений;

- Отражательные характеристики;
- Излучательные характеристики;
- Поляризационные характеристики;
- Дешифровочные признаки (биоиндикационные, текстурные, геометрические, яркостные);

○ Надежность признаков (теснота связи между спектральными характеристиками объектов и параметрами почвенно-растительного

Важной составной частью информационной системы агрокосмического мониторинга является «банк знаний», который содержит в себе различную информацию об объектах наблюдений:

- контуры объектов наблюдений на цифровой топографической основе для решения вопросов мониторинга (инвентаризации) антропогенных растительных экосистем;
- спектральные кривые агроценозов, в том числе для разных условий произрастания растений и технологий возделывания посевов, банк спектральных данных больных и поврежденных растений, информацию о наличии отражательной способности растений-индикаторов загрязнения окружающей среды, сведения о морфологических, морфометрических характеристиках растительных объектов в зависимости от условий произрастания и т. д. В 2008 году, опираясь на многолетние агрометеорологические данные по метеостанции Калуга, а также на спутниковые данные с 1998 года (Spot-vgt) были получены предварительные тестовые кривые для распознавания основных сельскохозяйственных культур в Калужском регионе (рис. 7).

Построение тестовых кривых для распознавания сельскохозяйственных культур и прогноза урожайности

Динамика биопродуктивности основных сельскохозяйственных культур Калужской области

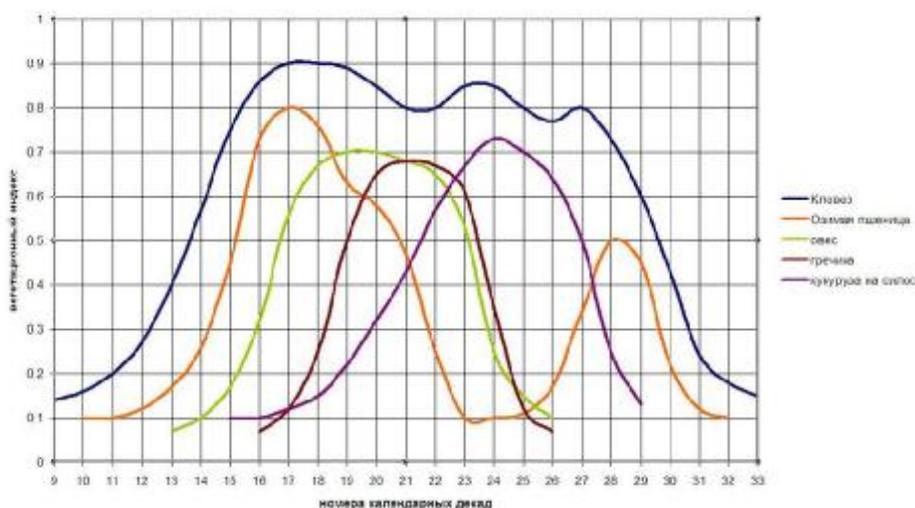


Рисунок 7 – Тестовые кривые биопродуктивности основных сельскохозяйственных культур в Калужском регионе.

На основании рис. 7 был составлен календарь агрокосмического мониторинга (рис. 8)

Календарь агрокосмического мониторинга

Агрофитоценоз	Календарный период поиска на снимках	Мониторинговый период	Календарный период максимальных значений яркости посевов
Озимая пшеница, озимая рожь	Середина мая; сентябрь	Сентябрь-октябрь; апрель - июль	Июнь, начало октября
Клевер	Конец апреля - начало мая	Апрель-октябрь	Июнь
Овес	Июнь	Конец мая – конец августа	Июль
Гречиха	Конец июня – начало июля	Июнь- август	Конец июля – начало августа
Кукуруза на силос	Июль	Июнь - сентябрь	Конец августа – начало сентября

Рисунок 8 – Календарь агрокосмического мониторинга

Отдельного внимания заслуживает организация сети **региональных природных биоиндикационных полигонов**. Под естественные биоиндикационные полигоны нами отобраны в 2008 году достаточно большие площади земель, на которых отсутствует антропогенное влияние на состояние растительного покрова. К таким землям следует отнести: **заповедники**, военные полигоны, лесные массивы, плавни в устьях рек, заливные луга, болота, подтопленные непахотные земли, пески. В Калужской области под задачи агрокосмического мониторинга в качестве биоиндикационного полигона используется Залидовский луг, находящийся в составе Национального парка «Угра».

По наблюдениям за биоиндикационными полигонами **создана многолетняя (1998-2008 г.г.) космобиоклиматическая база данных с основными параметрами, используемыми в решении задач по**

анализу состояния окружающей среды и возможностью их статистической обработки:

- многолетние (1998-2007 г.г.) кривые биопродуктивности основных фитоценозов, построенные по спутниковым снимкам (рис. 9);
- определение биоклиматических зависимостей показателя «вегетационный индекс» от суммы температур воздуха (рис. 10), от влагообеспеченности растений, от суммарного испарения, от интенсивности заморозков (рис. 11,12), от проективного покрытия почвы, от гумусности почв (при разных уровнях дефицита влагообеспеченности почвы) для отдельных природных фитоценозов, наблюдения за наступлением основных сроков фаз вегетации;
- определение погодных условий, формирующих динамику биопродуктивности сельскохозяйственных посевов-аналогов (рис. 12).



Рисунок 9 – Динамика среднееголетней (1998-2007 г.г.) биопродуктивности основных фитоценозов Калужской области



Рисунок 10 – Зависимость биопродуктивности Залидовского луга в период активной вегетации от суммы температур воздуха (1998-2006 г.г.)

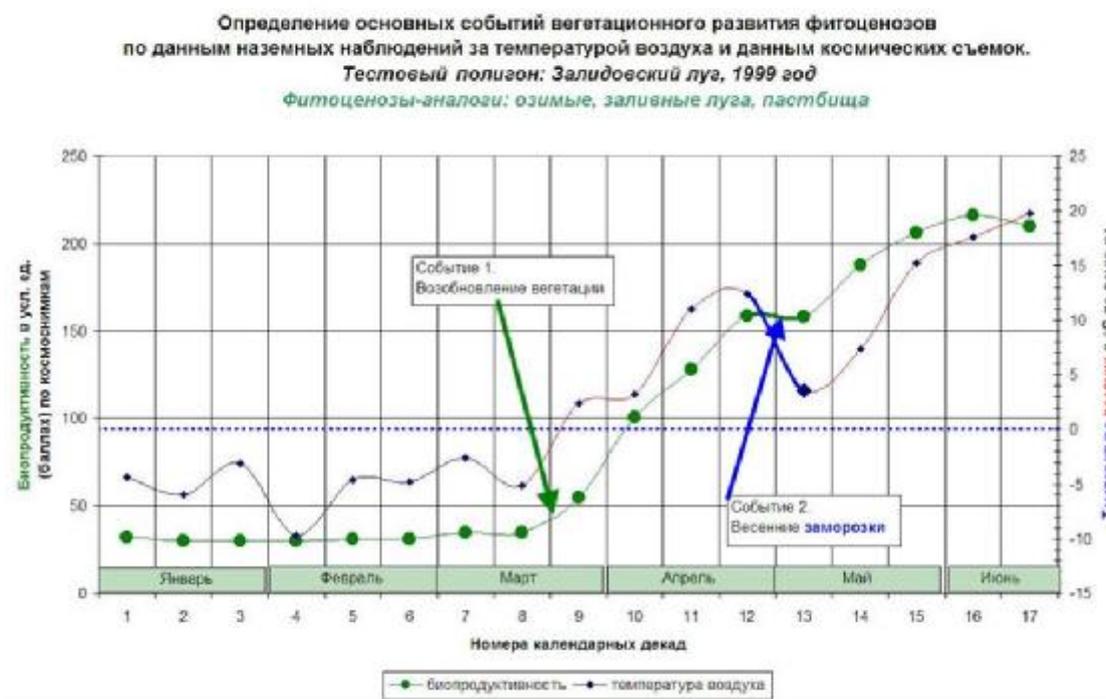


Рисунок 11 – Определение основных событий вегетационного развития фитоценозов по данным наземных наблюдений за температурой воздуха и данным космических съемок

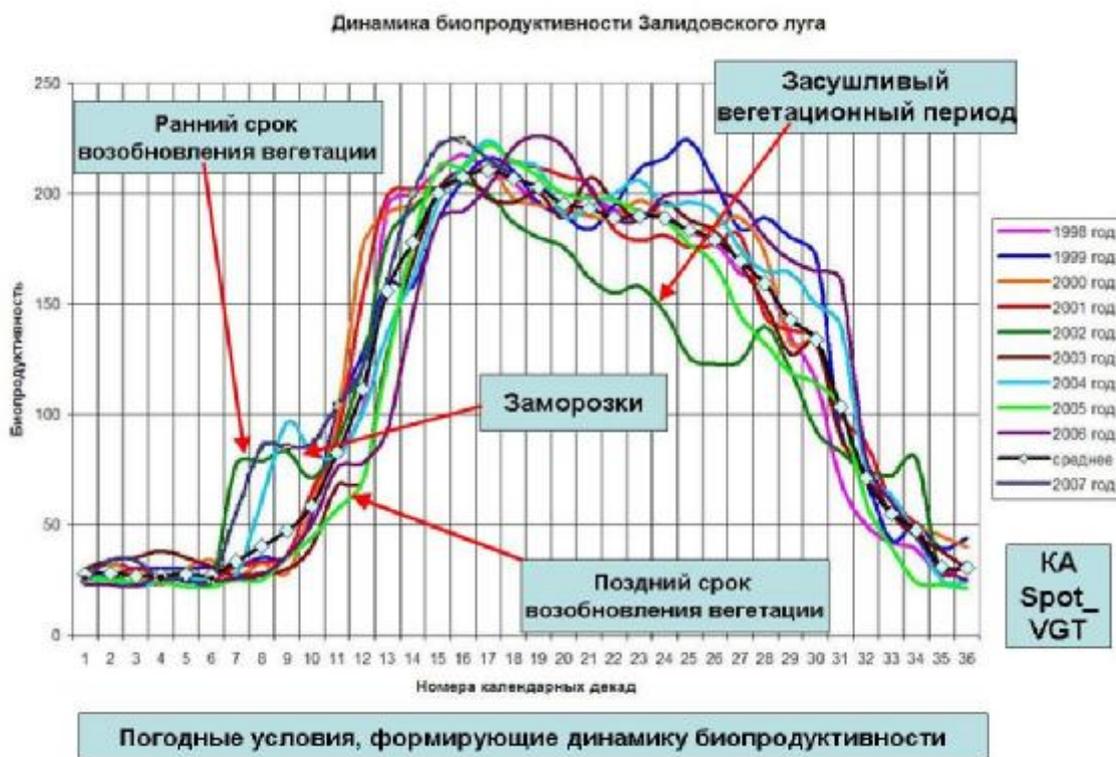


Рисунок 12 – погодные условия, формирующие динамику биопродуктивности сельскохозяйственных посевов-аналогов.

1.12 Дешифрирование факторов (Блок 12)

Методической основой выполнения работ по агрокосмическому мониторингу (дистанционные наблюдения) служат главные физические показатели взаимодействия электромагнитных излучений с объектами подстилающей поверхности, наблюдаемые в прямом измерении с помощью спутниковых съемок:

- нормализованный вегетационный индекс (синтезирование каналов светового диапазона);
- альbedo почвенно-растительного покрова (съемки в световом диапазоне);
- собственное тепловое излучение почвенно-растительного покрова (тепловые съемки);

- микроволновое альbedo почв (радиолокационные съемки);
- микроволновое альbedo растительного покрова (радиолокационные съемки).

Основные технологические методы, применяемые при дешифрировании снимков:

- Метод космобиоиндикации;
- Космобиоклиматический метод;
- Метод термоббиоиндикации;
- Метод аналогий;
- Метод генерализации;
- Метод моделирования.

Для изучения по спутниковым снимкам состояния объектов окружающей среды, оператору-дешифровщику РЦКМ, **прежде всего, необходимо усвоить основные физические принципы механизма формирования изображений объектов мониторингового контроля на спутниковых снимках, а также знать наземный механизм формирования пространственно-временной изменчивости контролируемых параметров.** В силу этих обстоятельств оператор-дешифровщик снимков в задачах агрокосмического мониторинга должен иметь две специальности, одна из которых – агроном.

Основные положения механизма формирования изображений почвенно-растительного покрова на космических снимках Земли следующие:

Изображения почвы в оптическом диапазоне.

Содержание в почве гумусовых соединений вызывает снижение яркостных характеристик снимка в видимом диапазоне. Более гумусные почвы выглядят на снимке более темными.

Увеличение содержания в почве светлоокрашенных минеральных соединений приводит к возрастанию яркостных характеристик снимка. Увеличение содержания в почве глинистых частиц также приводит к увеличению яркости на снимке.

Такие явления хорошо наблюдаются:

- при ярко выраженных эрозионных процессах;
- неудовлетворительной рекультивации почв (или отсутствием таковой) после разработки грунта при прокладке подземных трубопроводов, строительстве коллекторно-дренажной сети;
- распашке зольников в районах древних поселений и земель, бывших когда-то под застройкой;
- распашке земель с близко залегающими подпочвенными глинами (на маломощных почвах).

Яркость в видимой области равномерно убывает при возрастании влажности поверхностного слоя почвы от гигроскопической до полной влагоёмкости. При этом происходит снижение яркости в 1.5...3 раза. В ближней ИК-области также отмечается снижение яркости при возрастании влажности почвы в связи с поглощением излучения в характерных для воды полосах поглощения.

Такие явления хорошо наблюдаются:

- во время поливов;
- после выпадения дождей;

- на подтопленных участках поля

Формирование изображений растений в оптическом диапазоне.

В видимом диапазоне главную роль в формировании изображения на спутниковом снимке играет поглощение света пигментами, в первую очередь хлорофиллом, который имеет две главных полосы поглощения 430...450 нм, 640...660 нм. В ближнем ИК-диапазоне основную роль играет поглощение света водой, содержащейся в листьях. Полосы поглощения водой в ближнем ИК-диапазоне приходятся на следующие длины волн: 960 и 1100 нм (более слабые); в среднем ИК-диапазоне – 1.4, 1.9, и 2.7 мкм (более сильные). При уменьшении содержания воды в листьях увеличивается яркость на снимке в полосах поглощения ближнего ИК-диапазона. Это увеличение яркости особенно заметно при влагосодержании листьев менее 80%. В видимом диапазоне такой зависимости не выявлено. В спектральном интервале 800...1100 нм яркость растительного покрова на снимке возрастает при увеличении числа слоев листьев, т. е., **чем больше величина проективного покрытия почвы, тем ярче выглядит растительный покров на космическом снимке в полосе 800...1100 нм.** Это явление широко используется в дешифрировании на основании расчета синтезированного канала «вегетационный индекс».

Формирование изображений почвы в ИК-диапазоне.

Яркость изображения на спутниковых снимках почвы в основном зависит от влажности почвы и ее температуры.

Зависимость яркости от влажности аналогична рассмотренной выше зависимости в ближнем ИК-диапазоне, но только с более динамичным и контрастным изменением при увеличении влажности, ввиду более высоких

показателей поглощения излучения водой в рассматриваемом спектральном интервале: чем влажнее, тем темнее.

Такие явления хорошо наблюдаются во время поверхностных увлажнений территории.

Зависимость яркости изображения от температуры проявляется по принципу: **чем теплее, тем ярче**. Исключение составляют снимки со спутников NOAA, которые предоставляют в ИК-диапазоне обратную картину.

Такие явления хорошо наблюдаются на пахоте.

В дневное время в диапазоне 3...5 мкм отраженное солнечное и собственное тепловое излучение почвы находятся в близких соотношениях, что может вносить значительные помехи в интерпретацию яркостных характеристик снимка. Поэтому **в диапазоне 3...5 мкм лучше снимать ночью**. В это время на снимке очень хорошо отображаются места переувлажнений почвы, особенно связанные с фильтрационными утечками, неудовлетворительной работой дренажной сети.

Формирование изображений растений в ИК-диапазоне.

Одним из двух основных факторов, влияющих на отражательные и излучательные характеристики фитоэлементов, является влагосодержание. На космических снимках растительного покрова в ИК-диапазоне растения с высоким влагосодержанием темные. При снижении влагосодержания растения на снимках светлеют. Более значительным фактором, влияющим на интенсивность собственного излучения растительного покрова, является его термодинамическая температура. Наблюдение за этим фактором имеет большое значение при выявлении дефицитов влагообеспеченности, заболеваний растений, поражения их вредителями, ядохимикатами и др. Эти причины вызывают снижение транспирационных возможностей растений, в связи с чем **в полуденное время такие растения подвергаются перегреву**

на 10-12 градусов выше температуры воздуха и фиксируются на снимках, как тепловые аномалии. Это явление используется нами в дешифрировании на основании расчета синтезированного канала «термоиндекс».

Формирование изображений почвы в микроволновом диапазоне.

Величина яркостных характеристик космических снимков почвы в микроволновом диапазоне в основном зависит от влажности почвы и ее шероховатости. Влажные почвы выглядят на снимках более светлыми, чем сухие. Вспаханные почвы также более светлые, чем неспаханные. Мониторинговые наблюдения легко позволяют определить ту или иную причину ярких почв на снимке.

Глубина проникновения СВЧ (микроволнового) излучения в почву, а, следовательно, толщина слоя, формирующего отраженный поток СВЧ-излучения, увеличивается с уменьшением влажности почв и с увеличением длины волны. Установка на космическом аппарате группы излучающих радиолокаторов с разной длиной волны излучения позволяет производить послойное (по типу томографа) зондирование влагосодержания в почве. **Максимальная глубина проникновения радиоволн под поверхность почвы характерна для легких грунтов,** к категории которых в основном относятся грунты Калужского региона.

Формирование изображений растений в микроволновом диапазоне.

Этот диапазон с учетом неблагоприятного режима облачности в Калужском регионе является самым приоритетным и перспективным в агрокосмическом мониторинге. Величина яркостных характеристик космических снимков растительности при активном способе зондирования в микроволновом диапазоне в основном зависит от величины проективного покрытия почвы. Чем больше проективное покрытие, тем ярче тона снимка.

Мониторинговые **всепогодные** наблюдения за динамикой биомассы предоставляют возможность получать интегральные кривые ее накопления, характер которых позволяет оценивать интенсивность накопления биомассы на разных уровнях развития растений и выявлять факторы, влияющие на биопродуктивность растительного покрова. В связи с отсутствием достаточного практического опыта в использовании этого диапазона излучения для анализа состояния растительного покрова значительно повышается значимость полигонных наблюдений.

Отдельные результаты тематического дешифрирования а также решения агромониторинговых задач можно представить на примере решения следующих задач:

1) Установление зависимости между средней урожайностью ранних зерновых в Калужской области и биопродуктивностью Залидовского луга

Одним из вариантов прогнозирования региональной урожайности ранних зерновых является вариант, основанный на выполнении космического мониторинга биопродуктивности природных космобиоиндикаторов по данным малого геометрического разрешения космического аппарата SPOT. На рис. 13 приведен пример связи средней урожайности ранних зерновых в Калужской области с биопродуктивностью луговой растительности на тестовом участке (Залидовский луг) по многолетним данным КА SPOT.

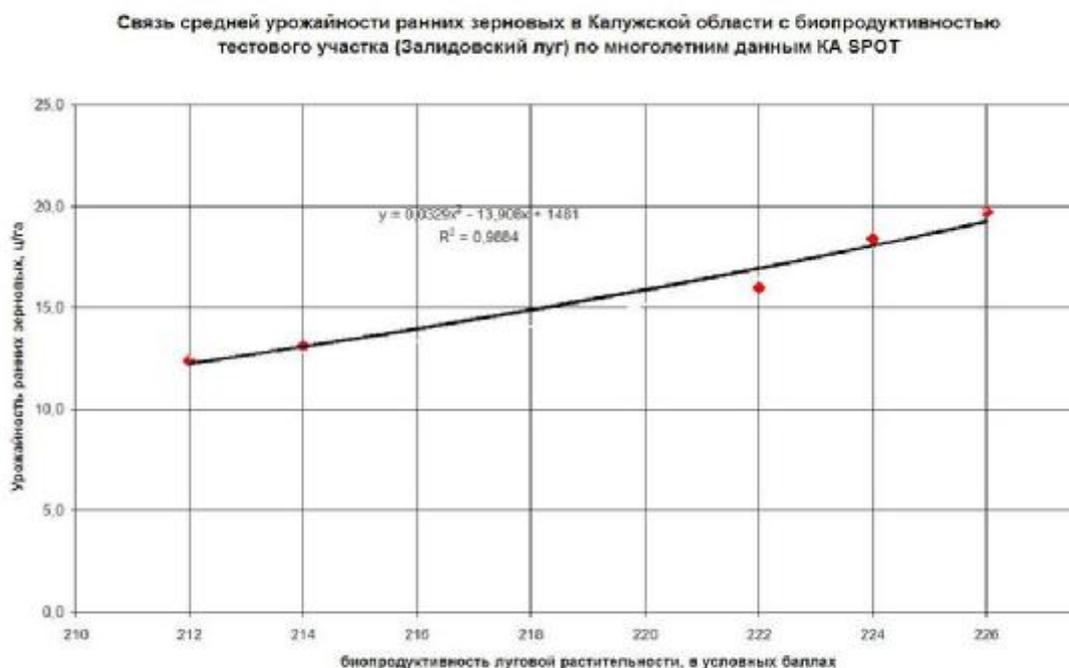


Рисунок 13 – Связь средней урожайности ранних зерновых в Калужской области с биопродуктивностью тестового участка (Залидовский луг) по многолетним данным КА SPOT

Набор таких региональных базовых зависимостей на основе использования космобиоиндикационных полигонов в совокупности с оперативными мониторинговыми космосъемками позволяет в регионе прогнозировать урожаи ранних зерновых культур.

Технологическая цепочка операций, выполняемых специалистом-аналитиком для прогнозирования урожая и сроков уборки за месяц до уборки, описывается следующим образом:

1. в режиме свободного доступа получают нормализованные космические снимки для построения в регионе базы данных кривых биопродуктивности природных космобиоиндикаторов (подекадно с 1998 года);
2. по полученным кривым строят эталонные среднегодовые кривые биопродуктивности основных региональных фитоценозов (рис. 9);
3. определяют зависимость средней урожайности ранних зерновых в Калужской области с максимальными (пиковыми) значениями

«вегетационного индекса» на кривых биопродуктивности космобиоиндикатора в рамках вегетационного периода ранних зерновых за соответствующие годы (пример на рис. 13);

4. динамика текущей кривой биопродуктивности космобиоиндикатора в сравнении с эталонной ежемесячно позволяет прогнозировать отклонение урожайности текущего года от среднееголетнего;

5. окончательный прогноз урожайности за месяц до уборки можно составить после получения пикового значения биопродуктивности космобиоиндикатора и расчета урожайности согласно полученного пикового значения по ранее полученным связям;

6. срок наступления пиковых значений по «вегетационному индексу» в сравнении с эталонным годом дает представление о наступлении срока уборки в текущем году, что дает основания более успешно подготовиться к уборочной.

2) Определение состава сельскохозяйственных культур и калибровка урожайности ранних зерновых по отдельным полям.

Задача решается на основании выполнения калибровочных работ по локальному агрополигону. Таким полигоном в системе агрокосмического мониторинга Калужской области являются земли опорно-тестового полигона ГНУ Калужский научно-исследовательский и проектно-технологический институт АПК российской академии сельскохозяйственных наук (Калужский НИПТИ АПК РАСХН, рис 6). Пример распознавания сельскохозяйственных культур по тематической палитре приведен на рис. 14 по данным космических снимков с КА LANDSAT - 5. Пример калибровки урожайности ранних зерновых по полю приведен на рис. 15 по наземным данным с полей тематического полигона ГНУ Калужский НИПТИ АПК РАСХН в совокупности с результатами космической съемки с КА LANDSAT - 5 от 14 июня 2007 года.



Рисунок 14 – Пример распознавания сельскохозяйственных культур по тематической палитре

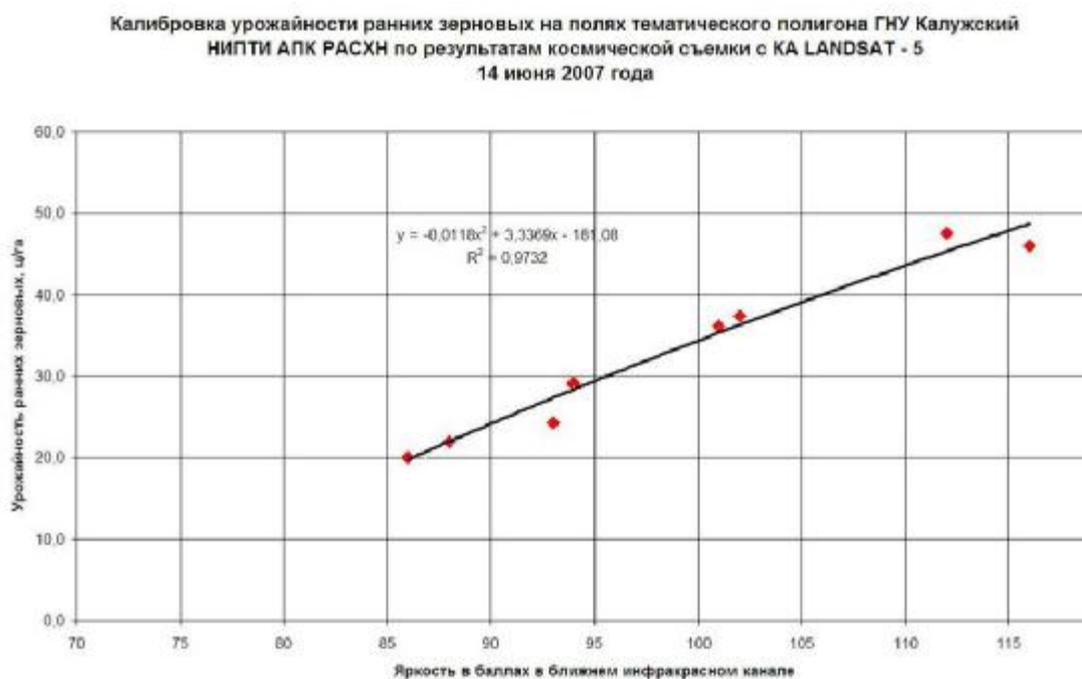


Рисунок 15 – Калибровка урожайности ранних зерновых

Построение тестовых кривых для распознавания сельскохозяйственных культур и прогноза урожайности в локальном масштабе выполняется на основании анализа многолетней динамики космобиопродуктивности основных сельскохозяйственных культур Калужской области. По

результатам этого же анализа разрабатывается календарь агрокосмического мониторинга.