

УДК 528.88:528.87:258.855

*Н.А. Калинин, С.В. Пьянков, Е.М. Связов, А.А. Смирнова***ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ФИТОМАССЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Приводится описание технологии комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли, которая позволяет отслеживать динамику развития сельскохозяйственных культур, определять сроки их созревания и оптимальные сроки начала уборки. Технология реализована на опытных полях Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства на платформе геоинформационной системы ArcGIS 9.3.

*Ключевые слова:* фитомасса, база геоданных, космические снимки, посевы, биопродуктивность, урожайность, прогноз.

Полноценный мониторинг сельскохозяйственных культур для достижения практически значимых результатов по оценке состояния растительности, прогнозированию урожайности, картированию засух и засоренности полей, анализу причин снижения продуктивности требует сбора большого объема данных и построения моделей развития растений. Объективные данные о состоянии сельскохозяйственных культур на больших территориях можно получать на региональном уровне только с использованием инструментальных дистанционных методов контроля, например, с помощью данных спутникового зондирования. Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) позволяет отслеживать динамику развития культур и их состояние одновременно на большой территории (сельскохозяйственное предприятие, административный район и т. д.). В то же время для установления связей между характеристиками космических снимков и фактическим состоянием растений необходимо проводить контрольные измерения биометрических характеристик культур на полях тестового хозяйства.

В данной статье приводится описание технологии комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур на основе ДДЗЗ, которая позволяет отслеживать динамику развития сельскохозяйственных культур, определять сроки их созревания и оптимальные сроки начала уборки. Проект реализован на платформе геоинформационной системы (ГИС) ArcGIS 9.3 (ESRI, США). Применение ГИС в сельском хозяйстве позволяет не только хранить информацию о сельскохозяйственных угодьях и их использовании, но и фиксировать различные изменения в севообороте и конфигурации полей, а также тенденцию таких изменений.

**Материал и методика исследований**

Технология комплексной оценки реализована на опытных полях Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства (ПНИИСХ) (с. Лобаново, Пермского р-на, Пермского края). Контроль полученных данных проводился по информации с полей учебного хозяйства Пермской государственной сельскохозяйственной академии (ПГСХА) [5].

Для решения задач комплексного анализа в сельском хозяйстве авторы использовали космические снимки среднего и высокого разрешения со спутников Terra, Landsat, IRS, а также изображения, полученные со спутников Spot и QuickBird.

На первом этапе реализации технологии средствами ArcGIS 9.3 была создана база геоданных (картографическая и атрибутивная) сельскохозяйственных угодий ПНИИСХ и ПГСХА. При создании базы геоданных были выполнены следующие процедуры:

- 1) разработан концептуальный и логический дизайн базы;
- 2) определен формат хранения данных;
- 3) осуществлен выбор картографической проекции отображения данных;
- 4) произведена подготовка данных для заполнения базы геоданных (закупка, обработка, проверка на полноту и качество исходной информации);
- 5) созданы и отредактированы метаданные.

Заполнение базы геоданных производилось с осуществлением пространственной привязки. При этом создавались новые классы пространственных объектов, осуществлялся импорт и редактирование данных. Проверка корректности введенных данных выполнялась на основе правил топологии с последующим исправлением выявленных ошибок. База геоданных содержит электронные слои топографической карты (масштаб 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000), которые включают в себя границы административных районов и сельскохозяйственных предприятий, гидрографию, населенные пункты, транспортные коммуникации, контуры сельскохозяйственных полей, спутниковые снимки, растровые карты температуры земной поверхности, состояния растительности и индекса засухи. В качестве атрибутивной информации в базе содержатся сведения о почвах, агрохимии, посевах, внесении удобрений и средств защиты растений, а также данные о температуре воздуха и подстилающей поверхности, состоянии посевов и урожайности на полях [4; 5].

Для актуализации карт сельскохозяйственных угодий и получения сведений о состоянии культур использованы космические снимки высокого разрешения: IRS (разрешение 6 и 23 м), QuickBird (2,4 м), Spot (20 м), Landsat (30 м) и низкого разрешения: Terra с аппаратурой Aqua (250, 500 и 1000 м). Обработка космических снимков производилась на базе программного комплекса ScanEx Image Processor.

Процедура обработки снимков высокого разрешения включала в себя привязку снимков и их геометрическую коррекцию по опорным точкам, полученным авторами проекта при проведении полевых исследований сельскохозяйственных угодий ПНИИСХ и ПГСХА с помощью системы спутникового позиционирования (GPS-навигатор Pioneer AVIC-S2). Далее создавались синтезированные изображения, в том числе на основе разновременных снимков, по которым проводилась актуализация карт и вычисление нормализованного вегетационного индекса (*NDVI*) с использованием векторной маски сельскохозяйственных полей. Вегетационный индекс позволяет получить количественные и качественные оценки состояния растительности; *NDVI* рассчитывается следующим образом:

$$NDVI = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1},$$

где  $R_2$  — значение отражения в ближней инфракрасной области спектра,  $R_1$  — значение отражения в красной области спектра.

*NDVI* может быть рассчитан на основе спутниковой информации, имеющей спектральные каналы в красном (0,62 – 0,69 мкм) и ближнем инфракрасном (0,75 – 0,9 мкм) диапазонах. В общем случае принимается, что величина *NDVI* пропорциональна общей биомассе растений. В соответствии с принятыми методиками [1-3] определение состояния растительности по *NDVI* производилось по следующим критериям (табл. 1).

Таблица 1

#### Состояние растительности в соответствии со значениями вегетационных индексов

| Значение <i>NDVI</i> | Состояние растительности                                  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| 0,00 – 0,10          | Открытая почва или нет данных (облачность на космоснимке) |
| 0,11 – 0,20          | Разреженная растительность                                |
| 0,21 – 0,30          | Угнетенное                                                |
| 0,31 – 0,40          | Очень плохое                                              |
| 0,41 – 0,55          | Удовлетворительное                                        |
| 0,56 – 0,70          | Хорошее                                                   |
| 0,71 – 1,00          | Очень хорошее                                             |

Обработка снимков низкого разрешения включала в себя получение оперативной информации о состоянии растительности и условиях произрастания сельскохозяйственных культур. Для этого были использованы данные спектрорадиометра MODIS, получаемые со спутника Terra (Aqua) дважды в сутки при условии, что количество облачности не превышало 30 % на момент пролета спутника над интересующей территорией. В момент загрузки данных в программный комплекс ScanEx Image Processor производился расчет *NDVI* и температуры подстилающей поверхности по специализированным алгоритмам. Информация для вычисления указанных характеристик бралась из соответствующих спектральных каналов снимка. При этом из расчетов *NDVI* и температуры подстилающей поверхности автоматически исключались пиксели изображения, соответствующие облачности и

водным объектам, маски которых были получены по параметрам, вычисленным для территории Пермского края.

После обработки ДДЗЗ низкого и высокого разрешения, содержащей процедуры настройки отображения каналов изображения, информация сохранялась в растровый формат \*.img и экспортировалась в базу геоданных по сельскохозяйственным угодьям ПНИИСХ и ПГСХА. Для получения карт состояния растительности и температуры подстилающей поверхности готовые изображения подгружались в проект ArcGIS 9.3, где последовательно выполнялись процедуры по отнесению значений к одному из классов состояний и попиксельному экспорту этих величин в формат базы геоданных. Средствами модуля Spatial Analyst программного комплекса ArcGIS 9.3 были рассчитаны значения индекса засухи и тенденции изменения во времени температуры подстилающей поверхности и состояния растительности на основе сравнения значений параметров за разные даты. Оценка состояния растительности производилась по следующей формуле:

$$\Delta NDVI = \frac{NDVI_2 - NDVI_1}{NDVI_2 + NDVI_1}.$$

Сравнение карт производилось средствами модуля Spatial Analyst программного комплекса ArcGIS. Изменение состояния растительности фиксировалось по соответствию разности значений  $NDVI$  следующим критериальным параметрам (табл. 2).

Таблица 2

### Изменение состояния растительности

| Значение разности $NDVI$ | Тенденция состояния растительности |
|--------------------------|------------------------------------|
| $-1,00 \div -0,60$       | Значительное ухудшение             |
| $-0,61 \div -0,20$       | Ухудшение                          |
| $-0,21 \div 0,20$        | Без изменения                      |
| $0,21 \div 0,60$         | Улучшение                          |
| $0,61 \div 1,00$         | Значительное улучшение             |

Выявление признаков засухи производилось с помощью индекса засухи. Засуха — явление, сопровождающееся повышенным фоном ночных и дневных значений температуры при отсутствии выпадения осадков. Индекс засухи ( $ID$ ) определяется как отношение суммы экстремальных (минимальной и максимальной, в качестве которых были взяты дневная ( $T_d$ ) и ночная ( $T_n$ )) суточных значений температуры к значениям  $NDVI$ :

$$ID = \frac{T_d + T_n}{NDVI}.$$

Чем выше значение индекса засухи, тем с большей вероятностью на исследуемой территории отмечается засуха. Значение индекса 1200–1400 свидетельствует о наступлении слабой засухи (растения угнетены, но жизнеспособны), 1401–1600 — средней и сильной засухи (растения существенно угнетены), более 1600 — катастрофической засухи (полная гибель растений) [8]. Расчет индекса засухи производился в программном комплексе ArcGIS с помощью модуля Spatial Analyst. Для расчета необходимо знать величину температуры подстилающей поверхности днем (максимальная температура), ночью (минимальная температура) и значение  $NDVI$  за данные сутки. Засуха не является быстроразвивающимся и быстропротекающим явлением, так как ее наступление происходит в результате накопления причин, вызывающих угнетение растений, поэтому отслеживать признаки начала засухи необходимо при благоприятных условиях ее развития за длительный промежуток времени.

Оперативный мониторинг состояния сельскохозяйственных культур, осуществляемый дистанционно, сопровождался синхронными измерениями фактических характеристик растительности (подспутниковые наблюдения), определенных на полях ПНИИСХ и ПГСХА. По данным подспутниковых наблюдений оценивалась дата сева, фаза развития сельскохозяйственных культур, количество и высота растений, урожайность зеленой массы, содержание и сбор сухого вещества, биологическая урожайность и т. д.

Далее была разработана технология идентификации посевов по ДДЗЗ. При этом произведено разделение сельскохозяйственных культур по видовому составу на основе различий пикселей кос-

моснимков в значениях спектральной яркости. Для идентификации (определения видового состава) посевов были выбраны разновременные мультиспектральные снимки высокого разрешения (спутники IRS, Landsat, Spot и QuickBird) за 2007–2009 гг. и данные полевых обследований за эти же годы. Предварительно эти изображения были приведены к геометрически единому виду. Дешифрирование снимков осуществлялось на основе *NDVI* и цветового синтеза разновременных снимков за три даты. При этом оценивалась динамика изменений объектов и выделялся тип сельскохозяйственных культур по их временному образу (рис. 1).

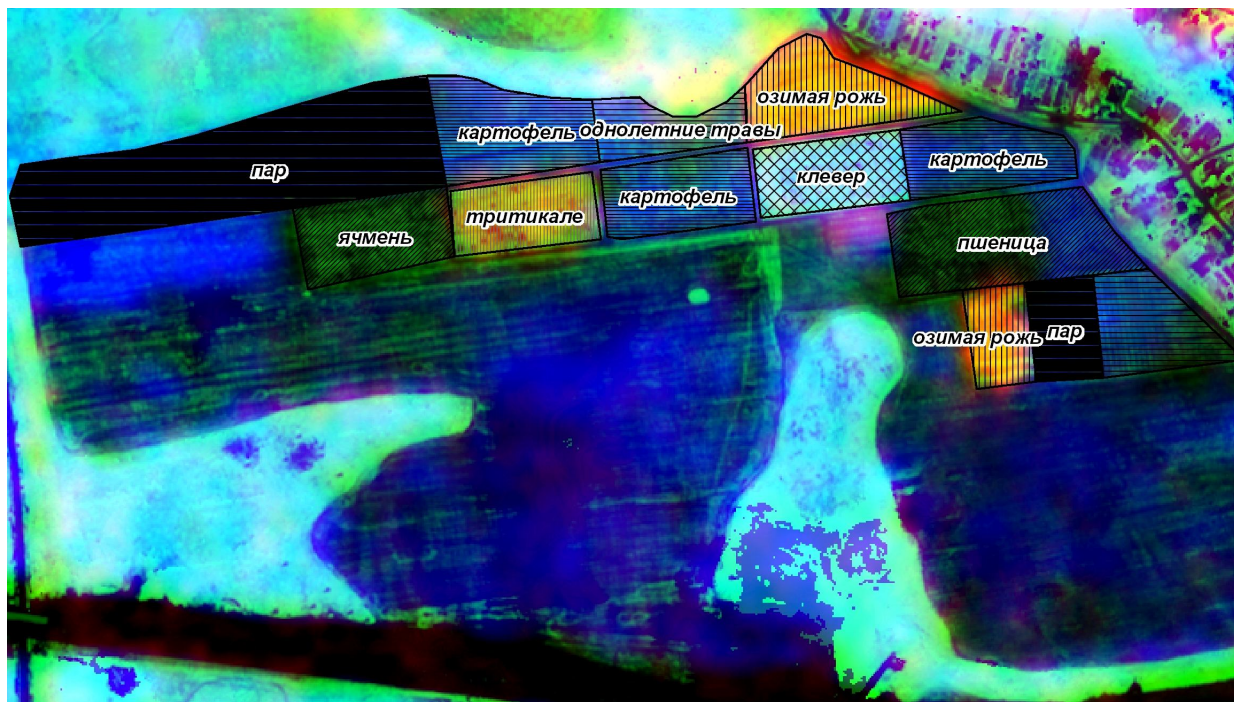


Рис. 1. Результаты идентификации сельскохозяйственных культур на полях Пермской государственной сельскохозяйственной академии по данным дистанционного зондирования Земли за 2009 г.

На полученном изображении выделяются основные типы сельскохозяйственных культур (многолетние травы, озимые и яровые зерновые культуры), пары. Это выделение основано на особенностях развития данных типов культур в течение вегетационного периода.

Для автоматизации расчета значений *NDVI* и фитомассы по космоснимкам и экспорта данных в эмпирическую модель была создана специальная модель «Стор Biomass» в среде ArcGIS 9.3. Модель включает процедуры пространственной обработки и операции картографической алгебры над растровыми данными. Выполняемые моделью действия относятся к техническим особенностям обработки растров по извлечению из них числовых значений с использованием векторной маски сельскохозяйственных полей. После обработки полученные значения преобразуются в табличный вид и экспортируются в эмпирическую модель биопродуктивности (DBF-формат).

Прогноз биологической продуктивности сельскохозяйственных культур, выраженной в единицах фитомассы и значениях урожайности, производился с помощью созданной авторами эмпирической модели биопродуктивности. В основе модели лежал весь объем имеющейся в распоряжении авторов информации (метеорологические параметры, данные полевых исследований, характеристики, получаемые при ДДЗЗ). При создании эмпирической физико-статистической модели биопродуктивности для прогноза урожайности озимых ( $y_{оз}$ ), яровых ( $y_{яр}$ ) культур и многолетних трав ( $y_{мн}$ ) были отобраны следующие параметры, отражающие совокупное влияние факторов внешней среды на урожайность сельскохозяйственных культур: дата сева, нормализованный разностный вегетационный индекс, запас влаги в почве, сумма осадков, сумма активных температур, даты перехода температуры через 5, 10°C, индекс засухи. При этом *NDVI* определялся на момент максимального значения фитомассы, суммы осадков и температуры рассчитывались от посева до даты с максимальным значением *NDVI* для яровых культур и многолетних трав, а для озимых культур от даты посева до даты

устойчивого перехода температуры через 0°C осенью и от 0°C до даты с максимальным значением *NDVI* в период летней вегетации. Для каждой пары приведенного параметра и биологической урожайности были рассчитаны коэффициенты парной корреляции и оценена теснота связи предиктора с предиктантом. В ходе анализа обнаружена наиболее устойчивая связь биологической урожайности с *NDVI*, суммой осадков и суммой активных температур. Поскольку коэффициенты множественной корреляции для сочетания параметров оказались значимыми, то эти параметры использовались для расчета уравнений множественной регрессии:

$$\begin{aligned}y_{оз} &= 16 \cdot 10^{-3} x_1 + 1,67 \cdot 10^{-4} x_2 + 4,25 x_3 + 0,237, \\y_{яр} &= 5 \cdot 10^{-4} x_1 + 2,11 \cdot 10^{-4} x_2 + 4,5 x_3 + 0,339, \\y_{ми} &= 2 \cdot 10^{-2} x_1 + 8,32 \cdot 10^{-4} x_2 + 5 x_3 + 5,87.\end{aligned}$$

Здесь  $x_1$  – сумма осадков (мм),  $x_2$  – сумма активных температур (°C),  $x_3$  – *NDVI*.

На завершающем этапе проведена апробация созданной технологии на полях ПГСХА и произведена оценка качества полученных результатов на независимом материале по данным полевых исследований за 2009 г.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим особенности вегетационного периода 2009 г., выявленные с помощью предложенной технологии [6; 7]. Вегетационный период длился со второй половины апреля до второй декады сентября. Оперативная оценка состояния развития сельскохозяйственных культур и условий вегетации, по данным дистанционного зондирования и синхронных подспутниковых наблюдений, производилась в течение 12 дней (оценивались состояние всходов озимых, яровых культур и трав, состояние растительности в фазе активного роста, максимального развития, созревания и сбора урожая). По ДДЗЗ была получена следующая оперативная тематическая картографическая информация: распределение температуры, состояние растений, прогностическая урожайность (на основных этапах развития сельскохозяйственных культур), признаки засухи.

По мере получения этой информации проводился ее анализ, выявление изменений и тенденций, которые включали в себя определение динамики процессов в течение сезона (изменение состояния культур, появления признаков засухи в разрезе хозяйства и районов). Для характеристики термических условий подстилающей поверхности были использованы значения яркостной температуры. Поскольку изменение термических условий существенно сказывается на вегетации сельскохозяйственных культур, особенно в фазах прорастания, цветения, начала формирования урожая, то в течение вегетации 2009 г. были оценены изменения температуры в три периода: 11 мая – 16 июня, 17 июня – 13 июля, 14 июля – 14 августа.

Максимальные значения температуры подстилающей поверхности в период вегетации изменялись в интервале от 25 до 41°C. При этом наибольшему прогреву подвергались открытые участки почвы. Анализ средних значений температуры подстилающей поверхности в исследуемый период позволил выявить резкое уменьшение температуры во второй декаде мая, связанное с установлением прохладной погоды, вызванной вторжением на территорию исследования холодной воздушной массы. Температура поверхности при этом достигла 18°C. С 19 мая происходит ежесуточное увеличение средней температуры до 25°C с локальными понижениями, связанными с влиянием холодной периферии циклонических вихрей, проходящих через Пермский край. Температура подстилающей поверхности достигает максимальных значений во второй половине июля, начиная снижаться к концу месяца. Так, например, в период с 11 мая по 16 июня происходит интенсивный прогрев подстилающей поверхности, особенно в северной и северо-восточной частях края, где положительное изменение температуры в отдельных районах составляет 30°C, тогда как по югу температура поверхности не изменилась, либо повышение составило 5 – 10°C. Это связано с тем, что во второй декаде мая южные районы уже достаточно прогреты, а на севере края в таежной зоне отмечаются еще отдельные участки поверхности, покрытые остаточным снежным покровом. В целом наибольшее изменение термических условий отмечается именно в этот период.

Состояние растительности, оцененное через *NDVI*, существенно изменяется в процессе вегетационного развития растений. Так, от момента начала вегетации сельскохозяйственные растения на-



капливают зеленую биомассу и, следовательно, величина индекса увеличивается; в конце июня – июле величина биомассы достигает максимума, после которого в процессе формирования урожая и уборки отмечаются уменьшение зеленой биомассы и снижение значений *NDVI*. Поскольку космическое изображение охватывает значительную территорию, то на карте распределения *NDVI* представлено не только состояние сельскохозяйственной растительности, но также лесов и необрабатываемых территорий. Для исключения лишней информации на карту *NDVI* накладывалась маска сельскохозяйственных полей территории исследования, по которой «вырезались» значения *NDVI*, относящиеся к полям.

Значения вегетационных индексов на полях исследуемого района оценивались по ряду параметров: средние значения, их отклонения и экстремальные значения. График временного хода максимальных и средних значений *NDVI* приведен на рис. 2.

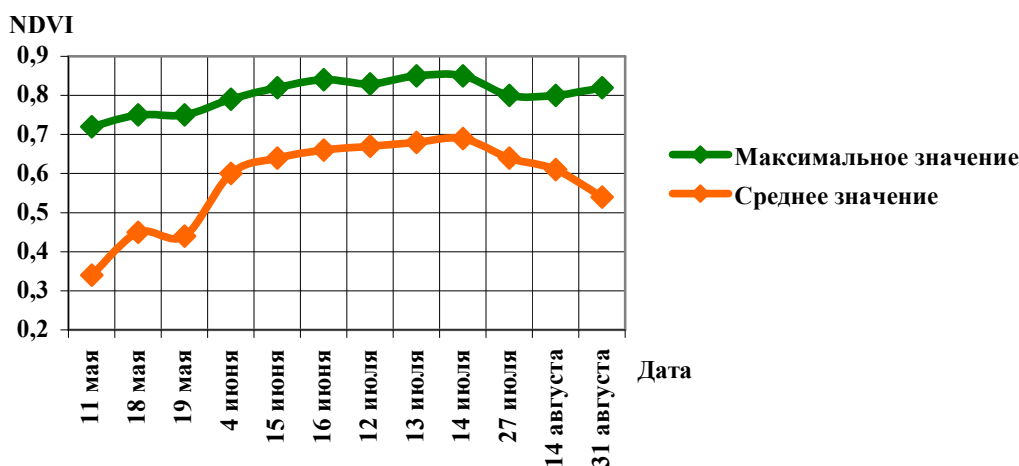


Рис. 2. Временной ход значений вегетационного индекса *NDVI*

График отображает процесс активного накопления биомассы сельскохозяйственной растительностью от начала вегетации до второй декады июля, когда достигается максимум значений. Наибольшие значения *NDVI* отмечаются в период с 10 июня по 27 июля. Абсолютного максимума *NDVI* достигает 13–14 июля (0,85), затем значения индекса начинают слабо понижаться. Среднее значение *NDVI* изменяется от 0,32 (11 мая) до 0,7 (14 июля). Таким образом, согласно данным, приведенным на рис. 2 и в табл. 1, посевы на территории исследования достигли удовлетворительного состояния во второй декаде мая и активно наращивали биомассу в конце мая – первой декаде июня, достигнув хорошего состояния к середине первой декады июня. После 14 июля рост и развитие сельскохозяйственной растительности прекратился, началось постепенное снижение вегетационного индекса.

Для оценки изменения в ходе *NDVI* в период роста и массового созревания зерновых культур была оценена тенденция состояния растительности на основе сравнения карт *NDVI* за периоды 11 мая – 16 июня, 17 июня – 13 июля, 14 июля – 14 августа 2009 г. В целом можно отметить, что с 11 мая по 16 июня 2009 г. на всей территории края происходит улучшение состояния растительности, связанное с наращиванием растительностью зеленой биомассы в ходе активного роста. За второй период в основном на всей территории края и в сельскохозяйственных районах сохраняются значения накопленной биомассы: изменения не произошло. Однако заметно, что в сельскохозяйственных районах отмечаются отдельные зоны, в которых произошло ухудшение состояния растительности, а также зоны, где состояние растительности улучшилось. Первые в основном соответствуют полям, на которых началась уборка зерновых культур и однолетних трав, вторые относятся к необрабатываемым территориям и полям, засеянным многолетними травами. В последний рассматриваемый период (14.07 – 14.08.2009 г.) состояние растительности в целом по Пермскому краю такое же, как и в предыдущий рассматриваемый период, то есть не изменилось. Однако увеличилась доля территории, на которой состояние растительности (в том числе, сельскохозяйственной) ухудшилось.

Для оценки факта наступления засухи было проведено исследование условий увлажнения за рассматриваемый сезон. Вегетационный период 2009 г. характеризовался достаточным увлажнением, количество выпавших осадков было в пределах нормы. При выборе бездождных периодов важно выявить не только интервалы времени, когда осадки отсутствовали, но и даты, когда выпадали слабые осадки, не способные удовлетворить потребность растительности в атмосферной влаге, а также случаи, когда выпадающие осадки отмечались в районах, где не развито сельскохозяйственное растениеводство. Таким образом, в течение 2009 г. были взяты три бездождных периода с высокой экстремальной температурой: вторая декада июня, первая половина июля и третья декада августа. Построение карты засух ни в один из периодов не выявило наступление засухи, как в исследуемых хозяйствах, так и на всей территории Пермского края.

Приведем результаты расчета прогностической урожайности по уравнениям множественной регрессии. Оценка оправдываемости прогноза производилась по каждому прогностическому уравнению, для чего были выбраны поля с многолетними травами, яровыми и озимыми зерновыми культурами (табл. 3). Оценка урожайности зеленой массы многолетних трав производилась по фактически полученным во время уборки значениям. Оценка биологической урожайности зерновых культур на полях производилась непосредственно перед уборкой с использованием структурной формулы урожая.

Таблица 3

### Биологическая урожайность сельскохозяйственных культур, т/га

| Тип культуры      |       |      |        |      |      |        |      |      |
|-------------------|-------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| многолетние травы |       |      | яровые |      |      | озимые |      |      |
| расчет            | факт  | P, % | расчет | факт | P, % | расчет | факт | P, % |
| 12,29             | 13,06 | 94,1 | 3,21   | 3,02 | 94,1 | 4,1    | 4,21 | 97,4 |
| 12,82             | 13,74 | 93,3 | 3,51   | 3,25 | 92,6 | 4,38   | 4,69 | 93,4 |
| 13,54             | 14,41 | 94,0 | 3,07   | 2,84 | 92,5 | 3,98   | 4,13 | 96,4 |

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что по травам и озимым культурам происходит занижение расчетных значений урожайности по сравнению с фактическими (на 6,2 и 4,3 % соответственно). По яровым культурам прогностическое значение урожайности выше фактического в среднем на 6,9 %.

### Заключение

Предложенная технология позволяет на основе данных дистанционного зондирования Земли и метеорологических параметров прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур с заблаговременностью 1–2 месяца до уборки с оправдываемостью прогноза 94 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтюшкин А.В. Методы оценки состояния почвенно-растительного и снежного покрова с применением космических и сканерных изображений: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Барнаул, 1997.
2. Изображения Земли из космоса: примеры применения. М.: ООО Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС», 2005. 100 с.
3. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 336 с.
4. Пьянков С.В., Русаков В.С., Связов Е.М., Некрасов И.Б., Онегов Д.В., Шпаков М.А., Тимофеев П.К., Смирнова А.А. Система космического мониторинга сельскохозяйственных угодий Пермского края на основе данных дистанционного зондирования. М.: ВНИИЦ, 2008. № 11583.
5. Пьянков С.В., Калинин Н.А., Связов Е.М., Смирнова А.А., Некрасов И.Б. Технология комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур // ИнтерКарто/ИнтерГИС 15. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. 29 июня – 5 июля 2009 г. Пермь: Международная картографическая ассоциация. 2009. Т. 1. С. 81-86.
6. Пьянков С.В., Калинин Н.А., Связов Е.М., Смирнова А.А., Некрасов И.Б. Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования Земли // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Биология. 2009. Вып. 10 (36). С. 147-153.

7. Связов Е.М., Смирнова А.А. Оценка условий вегетации сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования Земли // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2008. С. 126-133.
8. Щербенко Е.В., Шорохова М.А., Дронин Н.М., Скабелкин Ю.А. Обнаружение засухи по данным космических съемок // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. М.: Дата+, 2004. № 2. С. 8, 9.

Поступила в редакцию 08.10.10

*N.A. Kalinin, S.V. Pyankov, E.M. Sviyazov, A.A. Smirnova*

**Technology of the complex estimation of crop biomass according to the remote Earth sounding**

The article covers the description of technology for the complex estimation of crop biomass, which is based on the remotely sensed data allowing to trace the dynamics of agricultural crops' development, to define periods of their ripening and optimal periods of getting the crops in. The technology is realized in experimental fields of Perm Research Institute of Agriculture upon a platform of geographic information system ArcGIS 9.3.

*Keywords:* crop biomass, geographic database, satellite photographs, crops, bioproductivity, crop capacity, forecast.

Калинин Николай Александрович, доктор географических наук, профессор  
ГОУВПО «Пермский государственный университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15  
E-mail: kalinin@psu.ru

Пьянков Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент  
ГОУВПО «Пермский государственный университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15  
E-mail: psv@psu.ru

Связов Евгений Михайлович, кандидат географических наук, доцент  
ГОУВПО «Пермский государственный университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15  
E-mail: meteo@psu.ru

Смирнова Анна Александровна, кандидат географических наук, доцент  
ГОУВПО «Пермский государственный университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ГСП, ул. Букирева, 15  
E-mail: smirnova@psu.ru

Kalinin N.A., doctor of geography, professor  
Perm State University  
614990, Russia, Perm, Bukireva st., 15  
E-mail: kalinin@psu.ru

Pyankov S.V., candidate of technical science, associate professor  
Perm State University  
614990, Russia, Perm, Bukireva st., 15  
E-mail: psv@psu.ru

Sviyazov E.M., candidate of geography, associate professor  
Perm State University  
614990, Russia, Perm, Bukireva st., 15  
E-mail: meteo@psu.ru

Smirnova A.A., candidate of geography, associate professor  
Perm State University  
614990, Russia, Perm, Bukireva st., 15  
E-mail: smirnova@psu.ru