



УДК 588.85

**А.В. Евтюшкин,
В.М. Брыксин,
Н.В. Рычкова**

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОКРОВОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ПОДСПУТНИКОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космические снимки, подспутниковые эксперименты, математическое моделирование, урожайность, листовой индекс, вегетационный индекс, биомасса, яровая пшеница, каталог, поисковая система, спектрофотометр.

Задачей использования данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) является сбор информации о состоянии сельскохозяйственных угодий, что позволяет получать оперативную и полную информацию о состоянии культур регулярно в течение всего периода вегетации растений как в масштабах субъектов РФ, так и в разрезе отдельных хозяйств. Для повышения точности необходимо синхронно со съемками со спутников проводить на тестовых участках наземные измерения биометрических параметров зерновых культур, таких как высота, биомасса зеленая и сухая, листовой индекс. Также актуальным является вопрос применения данных ДЗЗ для мониторинга состояния культур во времени и коррекции имитационной модели биопродуктивности EPIC [1].

Тестирование модели биопродуктивности. Полевые измерения спектральных и биометрических характеристик посевов яровой пшеницы проводились на тестовых полях Ключевского района Алтайского края [2]. Еженедельно производились измерения листового индекса с помощью

прибора LAI-2000 на уровне грунта и спектрального коэффициента отражения в 16 каналах мультиспектральным радиометром MSR-16 с высоты 2,1 м. После измерений пшеница срезалась с площадки размером 1×1 м и определялись средняя высота растений, сырая и сухая биомасса. Время полевых измерений согласовывалось с пролетом спутников Ресурс-01 и TERRA над заданной территорией. Метеоданные поступали с метеостанции Campbell CM6, установленной в 10 км от тестовых полей Кулундинской опытной станции РАСХН. Автоматически с интервалом осреднения 15 мин. выполнялись измерения температуры воздуха и почвы, осадков, влажности воздуха и почвы, скорости ветра, солнечной радиации.

На модельной делянке посевов яровой пшеницы, расположенной рядом с метеостанцией CM6, проводились 14-часовые измерения потока фотосинтетически активной солнечной радиации прибором LI-191SA с интервалом интегрирования 1 мин. синхронно с измерениями спектральных коэффициентов яркости радиометром MSR-16 с интервалом измерений от 15 до 60 с. Спектрофотометр имеет 16 каналов в диапазоне от 0,46 до 1,65 мкм с шириной каналов от 6,7 до 230 нм. Также выполнялись измерения пиранометром LI-200SZ с интервалом осреднения 15 мин. [3].

На рисунке 1 приведен пример расчета основных биометрических параметров пшеницы на основе модели EPIC для тестового поля. На графике также нанесены полевые измерения сухой биомассы надземной части и регрессионная оценка по данным сканера МСУ-СК, установленного на спутнике Ресурс-01. Модельная урожайность в течение 1998-2002 гг. на полях, находящихся в радиусе до 20 км от метеостанции СМ6, совпадала с реальной с точностью 2 ц/га. Вариации урожайности существенно зависят от сроков сева и выпадения локальных осадков над отдельными полями.

Также проведено моделирование урожайности для 20 районов Алтайского края по метеоданным за 1994-1998 гг., измеренных на метеостанциях Росгидромета. После проведения моделирования с коррекцией листового индекса по данным сканера МСУ-СК коэффициент корреляции возрастает с 0.7 до 0.85, а отклонение уменьшается с 1,65 до 1,3 ц/га (рис. 2). Таким образом, использование ДЗЗ повышает точность прогноза урожайности зерновых.

На основе метеоданных и данных о фактической урожайности за 1985-2005 гг., предоставленных ЗапСИБРЦПОД в рамках научного сотрудничества, были проведены корректировка и настройка модели биопродуктивности EPIC для Новосибирской области и Алтайского края. Поскольку в Западной Сибири имеется недостаточная густота сети метеостанций, в модели EPIC проводилась коррекция листового индекса с использованием зависимости LAI от NDVI по данным сканера

TERRA/MODIS [4]. Также установлено, что колебания в расчетных значениях биологической урожайности яровой пшеницы становятся минимальными в конце июля. Это подтверждает возможность прогноза урожайности яровой пшеницы на юге Западной Сибири за месяц до начала уборки с использованием модифицированной модели EPIC.

Подспутниковые измерения. На рисунке 3 представлены измеренные на трех площадках средняя высота растений (H), сырая (M_d) и сухая (M_w) биомассы. На рисунке 4 представлены измеренные значения листового индекса (LAI) и рассчитанные по измерениям MSR-16 значения нормализованного вегетационного индекса (NDVI). Листовой индекс является безразмерной величиной и определяется как отношение суммарной площади листьев растений к площади почвы, на которой растут растения. Из рисунка 3 следует, что наблюдается резкое возрастание листового индекса до начала июля, а затем плавный спад до конца июля. Это связано с биологической особенностью пшеницы, произрастающей в сухостепной зоне. При образовании колоса вся биомасса начинает скапливаться в зерне и на листья уходит меньше энергии.

Для исключения влияния неоднородностей распределения посевов, связанных со структурой почвенных выделов и микро-рельефа, для планирования расположения тестовых площадок на пропашных полях использовались космоснимки за предыдущие годы [5].

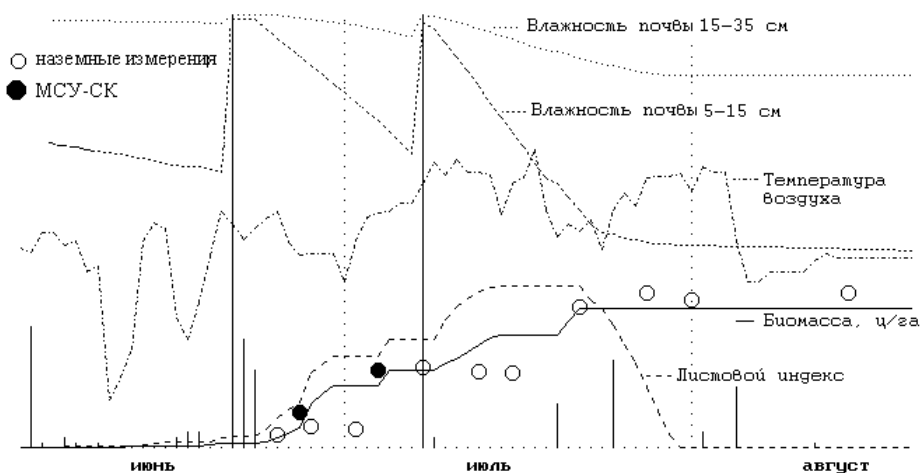


Рис. 1. Моделирование развития яровой пшеницы сорта Алтайская-50 на тестовом поле. Дата сева 29.05.1999 г.

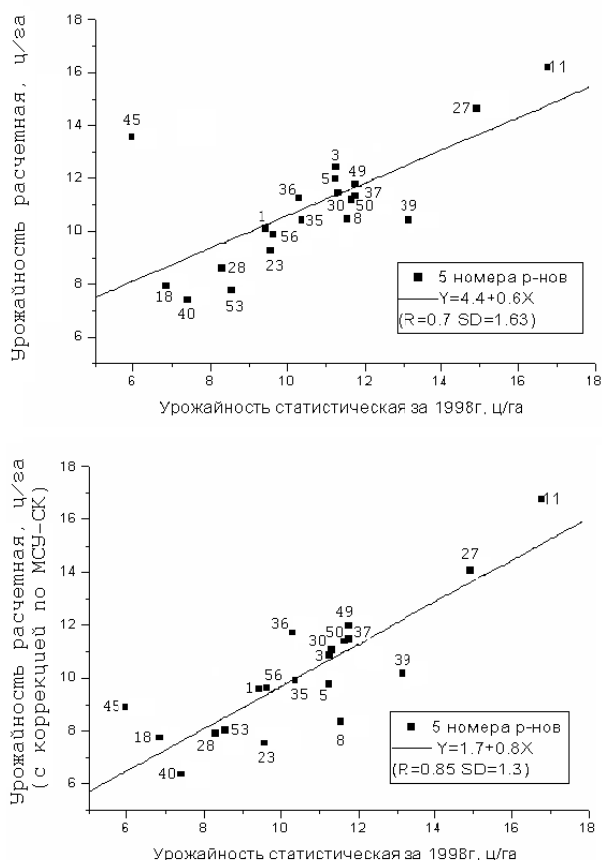


Рис. 2. Сравнение статистических и расчетных урожайностей по районам Алтайского края за 1998 г. без коррекции и с коррекцией по данным сканера МСУ-СК

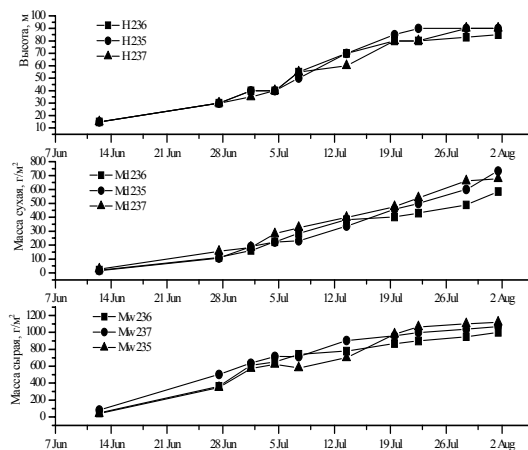


Рис. 3. Биометрические параметры яровой пшеницы в вегетационный период, измеренные на разных тестовых площадках

Листовой индекс, измеренный инструментально прибором LAI-2000, хорошо коррелирует с вегетационным индексом. При построении уравнений связи между данными индексами коэффициент корреляции составил 0,98-0,99 для различных тестовых площадок как в засушливые, так

и во влажные годы полевых наблюдений [3].

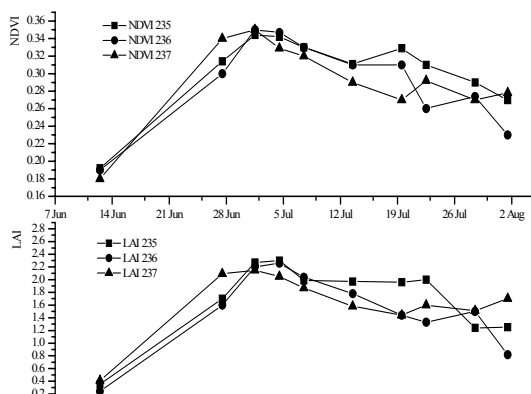


Рис. 4. Ход NDVI и LAI в течение вегетационного периода для разных тестовых площадок

Ранее было показано, что наибольшая корреляция индекса NDVI, рассчитанного по космическим снимкам за разные даты в период с июня по август, с фактической урожайностью по данным отчетности, наблюдается в период достижения растениями максимума вегетационного индекса [2, 3].

Из рисунков 3 и 4 следует, что для дистанционного определения биомассы и высоты пшеницы необходимо строить два разных регрессионных уравнения. Для первого уравнения необходимо брать даты от всходов и до достижения максимума NDVI, а второго – от точки перегиба до выхода параметров на плато, когда они уже перестают возрастать, т.е. пшеница достигла молочной спелости.

По данным полевых измерений 1999 г. для первого временного интервала (13.06-5.07) уравнения связи биомассы сухой и зеленой, а также высоты, с вегетационным индексом представлены в виде линейной зависимости:

$$M_d = 860 \cdot NDVI - 127.4 \quad (R = 0,99)$$

$$M_w = 2980 \cdot NDVI - 45 \quad (R = 0,98)$$

$$H = 107 \cdot NDVI - 4.4 \quad (R = 0,98);$$

для второго интервала (5/07-2/08):

$$M_d = -5470 \cdot NDVI + 2080 \quad (R = 0,91)$$

$$M_w = -5670 \cdot NDVI + 2574 \quad (R = 0,87)$$

$$H = -739 \cdot NDVI + 287 \quad (R = 0,9).$$

По данным уравнениям можно оценить биометрические параметры пшеницы, если дистанционно измерен вегетационный индекс полевым спектрофотометром. В ходе подспутниковых экспериментов также установлено, что измерения полевым спектрофотометром возможно проводить и при наличии сплошной облачности, что

особенно актуально во влажные годы, когда использование космоснимков крайне ограничено [3].

Заключение

Применение модели продуктивности растений EPIC в сочетании с космическими снимками позволяет достоверно оценивать урожайность основных зерновых культур на региональном уровне [7]. Подспутниковые эксперименты показали, что использование дистанционных измерений спектрофотометром или спектрональных космоснимков позволяет повысить точность моделирования биометрических показателей растений и дает возможность провести интерполирование значений этих показателей на территории, не охваченной наземными измерениями.

Тестирование модифицированной модели биопродуктивности с контрольными полевыми измерениями в 1998-2008 гг. в Алтайском крае, Тюменской и Новосибирской областях показало, что использование математических моделей развития растений совместно с данными ДЗЗ позволяет прогнозировать урожайность яровой пшеницы в разрезе каждого поля с точностью 1-2 ц/га [2, 4, 6, 7].

Разработанная авторами технология [7] и программное обеспечение внедрены в ЗапСИБРЦПОД и используются при проведении НИР по прогнозированию урожайности зерновых культур на территории Новосибирской области [6]. Применение данной методики перспективно для оценки урожайности и валовых сборов в интересах органов государственной власти, банковских структур, предоставляющих кредиты и страховых компаний, возмещающих ущерб сельхозпроизводителям в связи с потерями урожая в результате неблагоприятных погодных условий [7].

Библиографический список

1. Priya S. Modeling Agroecosystem: Perspective from Spatial-EPIC / S. Priya, R. Shibasaki // Proceedings of IGARSS 1999 Symposium. Gamburg. Germany. – P. 832-834.
2. Евтюшкин А.В. Использование данных дистанционного зондирования для

распознавания зерновых культур и коррекции моделей биопродуктивности / А.В. Евтюшкин, В.Н. Юшаков, Н.В. Рычкова // Известия Алтайского государственного университета. – 2002. – № 1. – С. 63-67.

3. Евтюшкин А.В. Подспутниковые измерения при мониторинге развития зерновых культур / А.В. Евтюшкин, Н.В. Рычкова // Материалы III научно-практической конференции «Обратные задачи и информационные технологии рационального природопользования» (25-27 апреля 2006 г., Ханты-Мансийск). – Екатеринбург: Средне-Уральское книжное изд-во, 2006. – С. 191-196.

4. Брыксин В.М. Использование модели биопродуктивности EPIC и космоснимков MODIS для прогнозирования урожайности зерновых культур / В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – Т. 4. – № 2. – С. 189-196.

5. Mironov V.L. Integrated experiment to soil moisture content in the Altai test area / V.L. Mironov, S.A. Komarov, A.V. Yevtyushkin, N.V. Rychkova // Earth Observation and remote sensing. – 2000. – № 16 (2). – P. 301-312.

6. Пчельников Д.В. Построение системы прогнозирования урожайности зерновых культур для территории Новосибирской области на основе архитектуры объектно-ориентированных систем мониторинга / Д.В. Пчельников, Н.Н. Добрецов, Л.А. Сладких // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т. 18. – № 12. – С. 234-238.

7. Пат. 2379879 Российская Федерация, МПК A01G 7/00. Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности / А.В. Евтюшкин, В.М. Брыксин, Н.В. Рычкова; заявитель и патентообладатель Учреждение ХМАО-Югры «Югорский НИИ информационных технологий», Департамент инвестиций, науки и технологий ХМАО-Югры (RU). – № 2007125088/12; заявл. 02.07.2007 г.; опубл. 27.01.2010 г., бюл. № 3.

