



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

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ БИОПРОДУКТИВНОСТИ EPIC НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Рассматриваются результаты применения модели биопродуктивности EPIC для оценки урожайности пшеницы в разрезе административных районов с использованием данных сети метеостанций Росгидромета. Валидация модели проводилась по наземным подспутниковым измерениям на базе полей тестового хозяйства с использованием стационарной метеостанции, спектрофотометра и измерителя листового индекса. Точность моделирования сравнивалась с урожайностью отдельных полей, районов и областей.

121

The results of applying bio productivity model EPIC wheat yields by administrative areas using data network of weather stations Roshydromet. Validation of model was carried out sub-satellite measurements on the basis of test fields with use stationary meteorological station, spectrophotometer and LAI measuring instrument. Modeling accuracy compared to the yield of individual fields, areas and regions.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космические снимки, подспутниковые эксперименты, продуктивность, влажность почвы, листовой индекс, моделирование.

Key words: remote sensing, space images, sub-satellite experiments, crop productivity, soil moisture, LAI, modeling.

В настоящее время развиваются два основных направления исследований в области мониторинга растительных покровов: математическое моделирование процессов роста и развития растений и изучение спектрально — отражательных характеристик для дистанционного определения биофизических параметров растений, которые можно контролировать инструментально в подспутниковых наблюдениях [1 — 5].

Модель EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) была разработана для изучения эффектов продуктивности почвы. Она представляет собой имитационную модель, которая может быть использована для изучения эффектов развития растений в зависимости от имеющихся почвенных и водных ресурсов, погодных условий. Расчет по модели производится с шагом в один день и позволяет контролировать моделируемые параметры растительности ежедневно, параллельно с проведением натурных измерений. Имея рассчитанные значения параметров растительности на каждый день, можно сравнивать их с реальными, полученными на этот же день методами дистанционного зондирования, в частности листовым индексом LAI [6]. Модель EPIC была модифицирована ввиду неполноты на уровне региона измеряемых на метеостанциях Росгидромета параметров почвы и атмосферы [6 — 8].



Тестирование модели показало, что существенными параметрами для роста модели яровой пшеницы являются сроки сева, начальная влажность и гидрологические параметры почвы [8–9]. В то же время такие агрофизические параметры, как процент гумуса, кислотность, мехсостав для условий Западной Сибири при доступных метеоданных за 1970–2007 гг. служат лимитирующим фактором второго порядка.

По результатам тестирования модели определены необходимые значения коэффициентов модельного описания роста пшеницы сортов Алтайская-50 и Саратовская-29. Сравнение результатов моделирования и выборочного измерения массы зерна на тестовых полях с бункерной урожайностью показало наличие больших потерь зерна, относительная величина которых возрастает с уменьшением урожайности. В таблице представлены модельные, статистические и фактические данные по урожайности яровой пшеницы по одному из самых засушливых регионов Кулундинской степи. Моделирование проведено для различных дат сева на основе метеоданных за период с мая по сентябрь.

**Модельные и фактические урожайности яровой пшеницы (ц/га)
в Ключевском районе Алтайского края**

Дата сева	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
29.04	5,4	8,6	9,9	9,5	7,6	11,1	6,5	13,2	12,8
04.05	5,4	8,7	9,9	9,6	7,6	10,4	6,5	12,8	12,8
09.05	5,9	8,8	9,8	9,7	7,7	10,4	6,4	13,1	12,9
14.05	5,8	8,7	9,8	9,7	7,7	9,6	6,4	14,2	13,1
19.05	5,9	8,6	10,2	10,2	7,7	9,3	5,7	14	13,6
24.05	5,9	8,7	10,4	10,8	7,7	6,9	5,6	12	14,1
29.05	5,9	9	10,4	8,9	8,2	7,2	4,8	10,2	13,6
03.06	5,9	10,3	10,4	9,2	7,6	7,2	4,7	9,8	13,9
08.06	9,1	10,3	9,5	10,4	9,3	7,3	4	9,2	12,4
Средняя фактическая урожайность	6,6	9,1	11,6	8,7	6,8	8	4,2	10,8	16
Минимальная и максимальная фактическая урожайность	–	–	–	–	4–8	6–10	3–8	4–12	8–30

При модельных расчетах использовались: 1) метеоданные Алтайского ЦГМС за 1994–1997 гг.; 2) метеоданные с метеостанции Campbell CM6 НИИ экологического мониторинга при Алтайском госуниверситете за 1998–2002 гг. [9].

Фактическая урожайность: 1) 1994–98 гг. в Ключевском районе по данным государственной статотчетности ГУСХ Алтайского края; 2) 1999–2002 гг. в СПК «Ключевский» по данным агронома хозяйства.

В рассматриваемый период аномально засушливыми годами были 1994, 1998 и 2000. В это время влажность почвы весной и летом была наиболее лимитирующим фактором при моделировании. В 2002 г. бы-



ло летнее переувлажнение и вариации фактической урожайности на полях с различной культурой агротехники достигали от 8 до 30 ц/га.

На рисунке 1 представлены для Мамонтовского района Алтайского края модельные значения влажности почвы, биомассы, LAI и фактические метеоданные, используемые при расчетах, а также спутниковая оценка LAI по сканеру МСУ-СК.

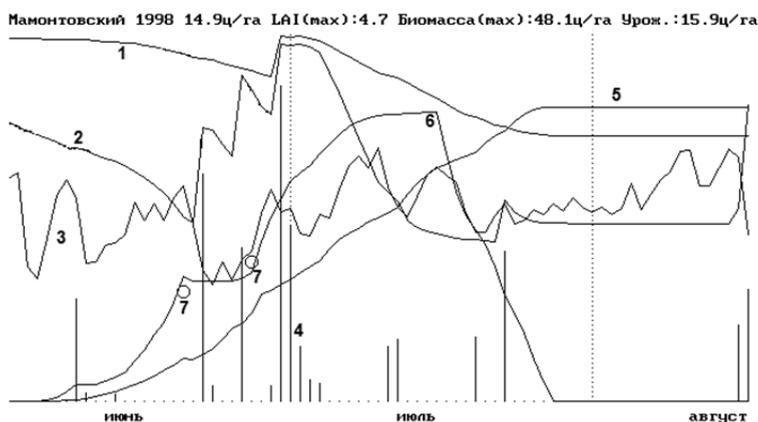


Рис. 1. Динамика модельного развития яровой пшеницы.

Метеоданные: 3 – температура воздуха; 4 – осадки, мм

EPIC: 1 – влажность почвы в слое 15–35 см; 2 – влажность почвы в слое 5–15 см;

5 – зеленая биомасса, ц/га; 6 – LAI. Спутниковая оценка LAI-7

Для тестирования модели на региональном уровне в наиболее благоприятном агроклиматическом регионе проводился подекадный расчет урожайности яровой пшеницы (ц/га) на основе метеоданных по 10 метеостанциям юга Тюменской области с 1 мая по 31 августа 2004 г. Расчет выполнен по модифицированной модели EPIC со сроками сева от 10 мая до 10 июня для следующих культур: яровая пшеница, овес, горох, ячмень. Применялись следующие ежедневные метеопараметры: среднесуточные значения скорости ветра и влажности воздуха, минимальная и максимальная температура воздуха, сумма осадков за сутки, суммарная солнечная радиация за сутки. Также использовались среднемесячные данные с сентября 2003 г. по апрель 2004 г. для прогнозирования весенних запасов влаги.

Кроме того, проведены расчеты для тестовых полей яровой пшеницы в семеноводческом хозяйстве СПК «Емуртлинское» с коррекцией модели EPIC по спутниковой оценке листового индекса. Урожайность составила 46 ц/га. В ходе наземного обследования тестовых полей выявлялись высота культур, сырая и сухая биомасса, масса зерна на квадратном метре. Контроль расчетных значений по модели осуществлялся с помощью наземных измерений. Геопривязка точек отбора снопов пшеницы определялась с помощью GPS Garmin с точностью 10 м. В пределах контуров полей и точек наземных измерений биометрических показателей посевов создавались SHP контуры на основе снимков



Landsat с разрешением 30 м. Контуры использовались для динамической коррекции модели EPIC до выхода вегетационного индекса на плато и насыщения на основе средних значений листового индекса LAI по данным MODIS.

Модель EPIC, используя минимальное число входных параметров, позволяет вычислять основные параметры растительности на каждый день, что позволяет сравнивать их с данными наземных измерений и результатами дистанционного зондирования. Дата начала уборки при расчетах определяется по двум критериям: по прекращению наращивания сухой биомассы растений и по падению листового индекса в ноль. Это эффект наглядно представлен на рисунке 1. На рисунках 2 и 3 даны основные результаты модельных расчетов для районов с метеостанциями и региона в целом.

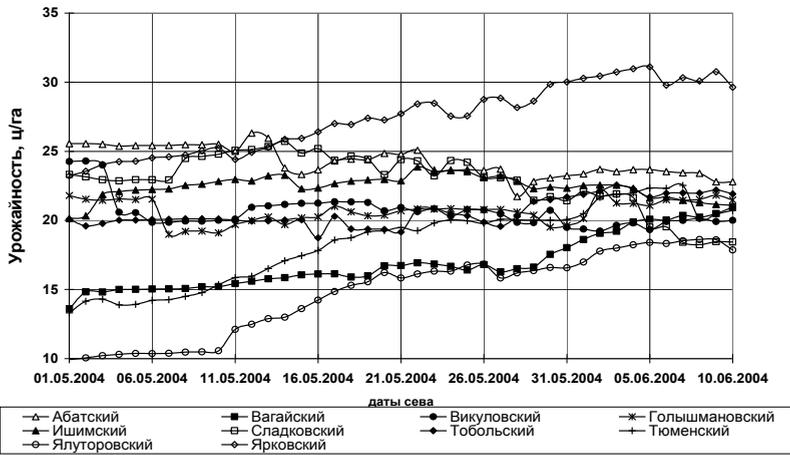


Рис. 2. Прогноз урожайности яровой пшеницы по районам Тюменской области на 31.08.2004 в зависимости от сроков сева

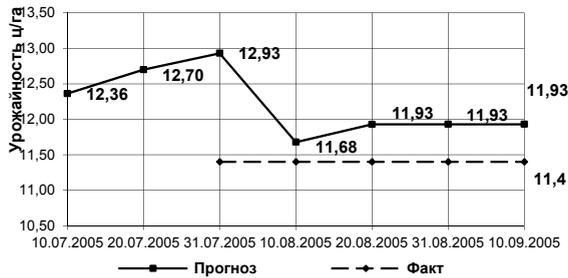


Рис. 3. Динамика прогнозируемой и фактической урожайности яровой пшеницы по Новосибирской области в 2005 г.

Использование методологии моделирования биопродуктивности по модели EPIC совместно с данными дистанционного зондирования



повышает точность прогноза урожайности за месяц до начала массовой уборки зерновых культур. Погрешность не превышает 2 ц/га.

Перспективно развитие технологии оценки урожайности с использованием оптических и радарных спутников *Sentinel*, запускаемых Европейским космическим агентством в 2014–2016 гг. со свободным режимом доступа к данным [10]. Необходимо проведение дополнительных подспутниковых калибровочных экспериментов и переобработка данных ERS-2\SAR [11] для установления связи коэффициента обратного рассеяния радара в диапазоне С (5,6 см) с листовым индексом посевов. Точность оценки влажности почвы по данным стабильно работающего спутника SMOS [12] сопоставима с точностью наземных измерений и метеостанций [9; 13] и является достаточной для регионального моделирования биопродуктивности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ по гранту 13-07-00419.

125

Список литературы

1. Евтюшкин А. В., Комаров С. А., Миронов В. Л. и др. Определение характеристик почвенно-растительного покрова по космическим изображениям в оптическом и ИК-диапазоне // Проблемы предотвращения деградации земель Западной Сибири и осуществление государственного контроля за их использованием и охраной : сб. науч. тр. Барнаул, 1997. С. 146–151.
2. Doraiswamy P., Akhmetov B., Stern A. et al. Modis Applications for Mapping Regional Crop Yields // Proceedings of IGARSS'. Toulouse, 2003. P. 2197–2199.
3. Dobretsov N. N., Pchelnikov D. V., Sladkih L. A. Crop forecasting system based on object-oriented monitoring concept // Zbornik Radova Konferencije MIT. Beograd, 2003. P. 117–120.
4. Евтюшкин А. В., Байкалова Т. В., Миронов В. Л., Юшаков В. Н. Определение биометрических характеристик лесных массивов по многовременным радиолокационным изображениям с использованием алгоритмов сегментации // География и природопользование Сибири. 2002. Вып. 5. С. 110–118.
5. Брыксин В. М., Евтюшкин А. В., Кочергин Г. А., Рычкова Н. В. Мониторинг зерновых культур на юге Западной Сибири по данным MODIS и ERS-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4, №2. С. 183–188.
6. Евтюшкин А. В., Брыксин В. М., Рычкова Н. В. Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности : пат. РФ №2379879 ; опубл. 27.01.2010. Бюл. №3.
7. Брыксин В. М., Евтюшкин А. В. Использование модели биопродуктивности EPIC и космоснимков MODIS для прогнозирования урожайности зерновых культур // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4, №2. С. 189–196.
8. Брыксин В. М., Евтюшкин А. В., Хворова Л. А. Разработка программного комплекса оценки урожайности зерновых культур с использованием математического моделирования и данных ДЗЗ // Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы : матер. Всероссийской конф. СПб., 2010. С. 76–79.



9. Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Рычкова Н.В. Прогнозирование урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и моделирования биопродуктивности // Известия Алтайского государственного университета. 2010. №1–2. С. 89–93.

10. Torres R. et al. GMES Sentinel-1 mission // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 120. P. 9–24.

11. Евтюшкин А.В., Филатов А.В. Брыксин В.М. Сопровождение архива ERS-2\SAR на территорию России // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнёва. 2013. №5(51). С. 46–48.

12. Бобров П.П., Миронов В.Л., Яценко А.С. Алгоритм восстановления влажности почв по радиояркостной температуре, измеренной спутником SMOS и его сравнение со штатным алгоритмом SMOS // Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55, №8–3. С. 145–148.

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

Об авторах

Аркадий Викторович Евтюшкин — канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: AYevtyushkin@kantiana.ru

Виталий Михайлович Брыксин — канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: VBryksin@kantiana.ru

Наталья Владиславовна Рычкова — канд. физ.-мат. наук, доц., Барнаульский юридический институт МВД.

E-mail: polkovnik@buimvd.ru

Любовь Анатольевна Хворова — канд. техн. наук, доц., Алтайский государственный университет, Барнаул.

E-mail: khvorovala@gmail.com

About the authors

Arkadi Yevtyushkin — PhD, Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: AYevtyushkin@kantiana.ru

Vitaliy Bryksin — PhD, Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: VBryksin@kantiana.ru

Natalya Rychkova — PhD, Ass. Prof., Barnaul Institute of Law.

E-mail: polkovnik@buimvd.ru

Dr Lubov Khvorova — PhD, Ass. Prof., Altai State University, Barnaul.

E-mail: khvorovala@gmail.com