



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007125088/12, 02.07.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.07.2007

(43) Дата публикации заявки: 10.01.2009

(45) Опубликовано: 27.01.2010 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: WILLIAMS J.R. The Erosion - Productivity Impact Calculator (EPIC). Technical Reference. US Department of Agriculture. 1997;.
БРЫКСИН В.М., ЕВТЮШКИНА А.В.
«Оценка урожайности зерновых культур на основе данных дистанционного зондирования и модели биопродуктивности // ГЕО-Сибирь-2005, т.5. Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные (см. прод.)

Адрес для переписки:

630128, г.Новосибирск, ул. Демакова, 18,
кв.24, Л.М. Кривопуцкой

(72) Автор(ы):

Евтюшкин Аркадий Викторович (RU),
Брыксин Виталий Михайлович (RU),
Рычкова Наталья Владиславовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Учреждение Ханты-Мансийского автономного округа-Югры "Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий" (RU),
Департамент инвестиций, науки и технологий Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (RU)

(54) СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства. В способе рассчитывают параметры культуры, используя модель биопродуктивности EPIC и ежедневные метеорологические данные. Для расчета параметров культуры модифицируют блок входных данных по солнечной радиации в модели EPIC путем использования ежедневно определяемых данных метеостанций и данных дистанционного зондирования, по которым вычисляют нормализованный вегетационный и листовой индексы. При этом листовой индекс LAI вычисляют по спутниковому изображению для изучаемой территории. Затем осуществляют коррекцию листового индекса LAI по космическим снимкам или

данным наземных наблюдений на определенные даты развития растений до достижения листового индекса LAI максимального значения. Максимальную температуру почвы определяют по суммарной коротковолновой солнечной радиации, а минимальную - по эффективному излучению атмосферы. Осуществляют оценку приходящей к посеву коротковолновой радиации по влажности воздуха, измеряемой на метеостанциях. По регрессионным уравнениям рассчитывают параметры растений: биомассу, листовой индекс, высоту растений, вес корня и по этим параметрам биопродуктивности осуществляют мониторинг состояния зерновых культур во времени от момента посева до сбора. Способ позволяет оценивать

урожайность и определять сроки сбора зерновых культур. 12 ил.

(56) (продолжение):

методы зондирования Земли: Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25-29 апреля, 2005. - Новосибирск.: СГГА, 2005, с.218-223. ЛОСЕВ А.П., ЖУРИНА Л.Л. Агрометеорология. - М.: Колос, 2001, с.6-8, главы 14-16.

RU 2379879 C2

RU 2379879 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007125088/12, 02.07.2007**

(24) Effective date for property rights:
02.07.2007

(43) Application published: **10.01.2009**

(45) Date of publication: **27.01.2010 Bull. 3**

Mail address:
**630128, g.Novosibirsk, ul. Demakova, 18, kv.24,
L.M. Krivoputskoj**

(72) Inventor(s):

**Evtjushkin Arkadij Viktorovich (RU),
Bryksin Vitalij Mikhajlovich (RU),
Rychkova Natal'ja Vladislavovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Uchrezhdenie Khanty-Mansijskogo avtonomnogo
okruga-Jugry "Jugorskij nauchno-
issledovatel'skij institut informatsionnykh
tekhnologij" (RU),
Departament investitsij, nauki i tekhnologij
Khanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga-Jugry
(RU)**

(54) METHOD OF FORECAST OF YIELD OF GRAIN CROPS ON BASE OF DATA OF SPACE MONITORING AND BIO-PRODUCTIVITY MODELLING

(57) Abstract:

FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: according to the method parametres of cereals are calculated on base of model of bio-productivity EPIC and on base of daily meteorological data. The block of input data on solar radiation in the EPIC model is modified for calculation of parametres of the crop by means of utilisation of daily evaluated data of weather stations and data of remote sensing, on base of which there are calculated standard vegetation and leaf indices. Also leaf index LAI is calculated by means of satellite image of studied territory. Further leaf index LAI is corrected according to space photos or to data of earth observations on specified dates of

plant growth till leaf index LAI reaches maximum. Maximal temperature of soil is determined by summary short-wave solar radiation, while minimal temperature is determined by effective atmosphere radiation. Short-wave radiation emitted to crops is assessed by air humidity measured at weather stations. The following parametres of plants are calculated with regressive equations: bio-mass, leaf index, plant height, and root weight; monitoring of grain crops condition in the period from sowing to harvesting is performed by these parametres of bio-productivity.

EFFECT: assessment of yield and terms of grain crops harvesting.

12 dwg, 3 ex

Изобретение относится к области сельского хозяйства, а именно к способам прогнозирования развития сельскохозяйственных культур на основе космического мониторинга и моделирования биопродуктивности.

В настоящее время предметом особого внимания в изучении и оценке агроклиматических ресурсов и агроклиматического потенциала территорий становятся различные имитационные модели биопродуктивности. Известны способы оценки потенциальной продуктивности на основе различных моделей биопродуктивности [1, 2].

Согласно способу [1] используют для оценки биомассы различных типов растительности, в том числе лесных массивов, на обширных площадях обработку изображений космических снимков. При этом последовательно преобразуют участки изображения в цифровые матрицы зависимости яркости от пространственных координат. Вычисляют числовые характеристики матриц. Осуществляют попиксельное совмещение матриц, элементы которых составлены из зональных отношений яркости спектрозонального изображения и матриц радиолокационного изображения тех же участков, затем осуществляют векторизацию элементов и получают результирующие матрицы. Дополнительно вычисляют автокорреляционные функции результирующих матриц, а запас биомассы рассчитывают по регрессионной зависимости.

Способ позволяет детально разделять пространственную структуру характерных типов растительности и позволяет оперативно оценить продуктивность биомассы.

Однако этот способ не обеспечивает мониторинга процесса созревания во времени и оценку урожайности растительности, что обусловлено быстрым изменением различных параметров сельскохозяйственных культур, как относительно лесных покровов, так и других типов растительности.

Известен способ оценки потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур [2], в котором при прогнозировании урожая и оценке качества зерна используют измерения различных параметров состояния почвы, посевов, метеорологических данных. Выводят различные экспериментальные зависимости оценки по указанным параметрам урожайности зерновых культур и сравнивают полученные данные с фактической урожайностью. Корректируют модель на основе набора фактических данных по различным регионам и годам.

Недостатком способа [2] является необходимость определения большого количества параметров состояния почвы, посевов и метеорологических данных, что существенно увеличивает объем работ и значительно удорожает работы по оценке урожайности зерновых культур.

Наиболее близким способом (прототипом) к заявляемому является метод моделирования биопродуктивности зерновых культур на основе модели ЕРІС [3], в котором рассчитывают урожайность различных сельскохозяйственных зерновых культур (пшеница, овес, ячмень и др.). Модель позволяет рассчитывать основные параметры культуры: полную биомассу, массу корневой части, листовой индекс, высоту растения. Для осуществления расчета урожайности в указанном методе моделирования биопродуктивности необходимо вводить 12 параметров по характеристикам роста и развития конкретной культуры, 6 метеорологических параметров и 9 почвенных параметров, характеризующих состояние почвы.

Детальный анализ модели выявил существенные недостатки метода при применении в России. Основным недостатком этого метода является большое число метеорологических и почвенных характеристик, которые удорожают метод и которые

не измеряются в России.

Практически оперативную оценку и мониторинг биопродуктивности зерновых культур с высокой точностью можно осуществлять, используя космические сканерные изображения среднего разрешения и 6 основных метеорологических характеристик, которые измеряются на российских метеостанциях, а именно: максимальная и минимальная температура воздуха, приходящая солнечная радиация, количество осадков, относительная влажность и скорость ветра.

Техническим результатом настоящего изобретения является способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности, используют космические сканерные изображения среднего разрешения и ежедневно определяемые данные метеостанций, обрабатывают космические изображения сканера MODIS для расчета параметров растений: биомассы, листового индекса, высоты растений и веса корня, затем по этим параметрам осуществляют мониторинг состояния зерновых культур во времени от момента посева до уборки, дают заблаговременную оценку урожайности и определяют сроки сбора в интересах органов государственной власти и сельхозпроизводителей.

При этом вычисляют нормализованный вегетационный и листовой индексы, осуществляют коррекцию листового индекса LAI по космическим снимкам или данным наземных наблюдений на определенные даты развития растений, определяют максимальную температуру почвы через суммарную коротковолновую солнечную радиацию, а минимальную - через эффективное излучение атмосферы, осуществляют оценку приходящей к посеву коротковолновой радиации через влажность воздуха, измеряемую на метеостанциях, по многолетним экспериментальным данным получают регрессионные уравнения.

Методика обработки космических изображений сканера MODIS путем вычисления нормализованного вегетационного индекса NDVI и использования определяемых ежедневно 6-ти метеорологических характеристик позволяет во времени от начала посева до сбора зерновых культур (до фазы желтой спелости) с помощью определения параметров биопродуктивности контролировать состояние и прогнозировать урожайность зерновых культур за один месяц до начала сбора на территориях Западной Сибири и Урала.

Технический результат достигается тем, что в способе прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности, заключающийся в том, что согласно прототипу, используя модель биопродуктивности ЕРІС и ежедневные метеорологические данные, рассчитывают основные параметры культуры, отличающийся тем, что для расчета параметров культуры модифицируют в модели ЕРІС блок входных данных по солнечной радиации, заменяя экспериментально измеренные значения приходящей коротковолновой фотосинтетически активной солнечной радиации на расчетные. При этом расчет производится через относительную влажность воздуха, ежедневно измеряемую на всех метеостанциях Росгидромета. Далее путем использования ежедневно определяемых данных метеостанций и данных дистанционного зондирования вычисляют нормализованный вегетационный и листовой индексы, заменяя листовой индекс на день расчета по ЕРІС на листовой, вычисленный для изучаемой территории по спутниковому изображению, осуществляют коррекцию листового индекса LAI по космическим снимкам или данным наземных наблюдений на определенные даты развития растений. Далее определяют максимальную

температуру почвы через суммарную коротковолновую солнечную радиацию, а минимальную - через эффективное излучение атмосферы, осуществляют оценку приходящей к посеву коротковолновой радиации через влажность воздуха, измеряемую на метеостанциях. Затем по регрессионным уравнениям, полученным по

5 многолетним экспериментальным данным, на базе вычисленных параметров по модифицированной модели биопродуктивности культур рассчитывают параметры растений: биомассу, листовой индекс, высоту растений, вес корня и по этим параметрам биопродуктивности осуществляют мониторинг состояния зерновых культур во времени от момента посева до сбора, дают заблаговременную оценку урожайности и определяют сроки сбора зерновых культур.

Суть способа.

Полноценный мониторинг состояния сельскохозяйственных культур, оценки урожайности и сроков сбора для достижения практически значимых результатов требует сбора большого объема данных для построения моделей биопродуктивности. Это достаточно сложный и дорогостоящий процесс, поскольку значения исходных параметров контроля изменяются не только в пространстве, но и во времени. Поэтому актуальным является вопрос применения данных дистанционного зондирования для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур во времени и применение этих данных в качестве дополнительных характеристик в имитационной модели биопродуктивности. Использование данных дистанционного зондирования позволяет повысить точность измерения биометрических показателей и дает возможность провести интерполирование значений этих показателей на территории, не охваченной наземными измерениями.

Использование EPIC, которая является непрерывной имитационной моделью и по которой вычисляют основные параметры сельскохозяйственной культуры (биомассу, листовой индекс, высоту растения и вес корневой системы) на каждый день, позволяет

30 сравнивать их с данными наземных измерений и дистанционного зондирования и в случае необходимости вносить корректировки в процесс моделирования.

По орбитальным изображениям радиометра MODIS, установленного на спутниках TERRA и AQUA, функционирующих на солнечносинхронной орбите с 1999 года, вычисляется нормализованный вегетационный индекс (NDVI) по алгоритму MOD

35 13 (разработка NASA), позволяющий уменьшить влияние условий съемки в разное время суток:

$$NDVI = (L2 - L1) / (L2 + L1),$$

где L1 и L2 - яркости 1 и 2 каналов сканера MODIS.

Значение NDVI хорошо коррелирует с такими характеристиками растительного покрова, как индекс площади листьев (LAI), коэффициент вегетационного покрытия и зеленая биомасса (чистая первичная продуктивность). С увеличением значений перечисленных параметров растут и значения NDVI, но зависимость эта линейна только в определенном интервале. Уже при содержании хлорофилла выше 3-5 мг/см² и листовом индексе выше 4-5 наблюдается эффект насыщения NDVI.

Безразмерный вегетационный индекс LAI линейно связан с биомассой зеленой растительности. Листовой индекс определяется как отношение площади листьев растений к площади земли, занимаемой растениями. Пересчет значений индекса NDVI в значения листового индекса LAI проводится с использованием кусочно-линейной зависимости, предложенной авторами алгоритма MOD 15 (разработка NASA) для обработки изображений радиометра MODIS [4].

По космоснимкам сканера MODIS на основе алгоритмов MOD 13 и MOD 15

рассчитываются вегетационный индекс NDVI и листовой индекс LAI, который используется для корректировки расчетов модели EPIC.

У большинства культур листовой индекс (LAI) первоначально равен нулю или очень маленький. Он увеличивается экспоненциально в течение раннего роста растения. У многих культур LAI уменьшается после достижения максимума и становится равным нулю при достижении физиологической зрелости. Кроме того, прирост LAI уменьшается в период стрессов.

Листовой индекс LAI рассчитывают как функцию суммы эффективных температур, стрессов и стадий развития культуры. От появления до начала увядания листьев LAI оценивается по формуле:

$$LAI_j = LAI_{j-1} + \Delta LAI,$$

j - день прогноза, j-1 - предыдущий день.

В модели EPIC фенологическое развитие культуры основывается на сумме эффективных температур. Потенциальное ежедневное изменение в сухой биомассе (ΔB_p) зависит от листового индекса (LAI) и солнечной радиации (RA):

$$\Delta B_p = 0.0005 \cdot BE \cdot RA \cdot (1 - e^{-0.65 \cdot LAI}),$$

где BE - коэффициент преобразования энергии к биомассе.

Реальное ежедневное приращение биомассы корректируется коэффициентом стресса (REG), который определяется как минимальная величина из водного, температурного и азотного стрессов.

Урожайность (YLD) рассчитывают пропорционально итоговой сухой биомассе (BIOM):

$$YLD = HI \cdot \max(BIOM),$$

где HI - индекс урожайности.

Выполненные исследования показали, что накапливаются ошибки расчета биомассы при вычислении по модели EPIC только на основе метеорологических параметров. Это объясняется следующими факторами: недостаточная точность самой модели, неопределенность многих, в том числе метеорологических, параметров, поскольку в России недостаточная густота сети метеостанций.

Таким образом, отличительным признаком предлагаемого способа от прототипа и других известных способов является замена листового индекса на день расчета по модели на листовой индекс LAI, вычисленный для данной территории по спутниковому изображению. Дальнейший расчет листового индекса после дня коррекции выполняют с использованием ежедневных метеорологических параметров. Корректировку по спутниковым изображениям проводят 3-4 раза за вегетационный период до достижения LAI максимального значения.

Так как приходящая солнечная радиация не измеряется на большинстве метеостанций Росгидромета, измерения выполняют на 1-2 метеостанциях в границах субъекта федерации (область, край). Блок радиации в модели EPIC позволяет теоретически рассчитать только максимальную суммарную приходящую радиацию при отсутствии облачности. Поэтому произведена замена блока радиации в исходной модели EPIC.

Для расчета суточного хода приходящей солнечной радиации (Q_0) предлагается воспользоваться формулой, используемой в модели радиационного режима АФИ РАСХН:

$$Q_0 = \frac{S_0 \sinh_s}{1 + f \cdot \cos \text{ech}_s},$$

где $S_0 = 1,98 \text{ кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ - солнечная постоянная, f - коэффициент, зависящий от географической зоны и времени года, h_s - высота Солнца.

Суммарная интенсивность радиации на уровне земли зависит от высоты Солнца, прозрачности атмосферы, степени облачности, продолжительности солнечного сияния. Так как в предоставляемых Росгидрометом данных отсутствуют данные по

приходящей солнечной радиации, то нами предлагается использовать расчет

приходящей солнечной радиации (Q) через относительную влажность воздуха:

$$Q = -1.318 \cdot \omega - Q_0 + 0.922 \cdot \omega + 1.357 \cdot Q_0 + 1.012, \text{ для мая,}$$

$$Q = -1.448 \cdot \omega - Q_0 - 0.035 \cdot \omega + 1.682 \cdot Q_0 + 0.077, \text{ для июня-августа,}$$

где ω - относительная влажность воздуха. При расчете предполагается, что даже при наличии сплошной облачности определенный процент радиации достигает поверхности почвы. В связи с этим другим отличительным признаком предлагаемого способа от известных ранее является модификация блока входных данных по солнечной радиации в модели ЕРИС, замена экспериментально измеренных значений приходящей коротковолновой фотосинтетически активной солнечной радиации на расчетные, при этом расчет производится через относительную влажность воздуха, ежедневно измеряемую на всех метеостанциях Росгидромета.

В ходе анализа блока температурного стресса модели ЕРИС было выявлено, что он неадекватно реагирует на изменение температуры почвы (заморозки и перегревание) [3]. Поэтому был разработан блок расчета температуры почвы, зависящей от минимального числа параметров.

Поверхность почвы днем нагревается прямой солнечной радиацией, а ночью поверхность охлаждается в результате эффективного излучения (разность восходящего и нисходящего потоков длинноволновой радиации на уровне земли). Причем минимальная температура воздуха наблюдается перед восходом Солнца, а максимальная температура отмечается через 2-3 часа после полудня.

По экспериментальным данным была установлена зависимость между максимальной температурой почвы, максимальной температурой воздуха и суммарной приходящей солнечной радиацией, наблюдаемыми в течение дня, которую используют для расчетов:

$$T_{p, \max} = 1.2784 \cdot T_{v, \max} + 0.4499 \cdot Q + 0.4744,$$

где $T_{p, \max}$ - максимальная температура на поверхности почвы, $T_{v, \max}$ - максимальная температура воздуха. Погрешность вычислений составляет 10.75%.

В ночное время наблюдается взаимосвязь между минимальной температурой почвы и эффективным излучением. Исходя из этой взаимосвязи было получено соотношение, которое используют для расчетов минимальной температуры почвы:

$$T_{p, \min} = 0.8024 \cdot T_{v, \min} + 1.4789 \cdot E + 4.6385,$$

где $T_{p, \min}$ - минимальная температура на поверхности почвы, $T_{v, \min}$ - минимальная температура воздуха, E - эффективное излучение. Для расчета эффективного излучения использована двухпотоковая модель длинноволновой радиации [5]. Погрешность вычислений составляет 9.76%.

На фиг.1 и 2 приведены примеры динамики расчетной и экспериментальной суммарной солнечной радиации, а на фиг.3 и 4 - изменения максимальной расчетной и экспериментальной температуры почвы за вегетационный период для метеостанции Барнаул, которые характеризуют степень отличия расчетных и экспериментальных данных.

Следующим отличительным признаком предлагаемого способа от известных ранее

и прототипа является модификация блока теплового режима почвы в модели EPIC. Расчет максимальной температуры почвы проводится через суммарную коротковолновую солнечную радиацию, а минимальной - через эффективное излучение атмосферы.

Таким образом, на основании метеоданных и космического мониторинга по модифицированной модели рассчитывают основные параметры культуры (биомассу, листовой индекс, вес корня, высоту растений) и прогнозируют сроки биологического созревания зерновых культур и оптимальные сроки начала уборки. Прогноз урожайности для различных зерновых культур выдается за месяц до начала уборки с точностью до 1 ц/га.

Способ осуществляют следующим образом.

Определяют районы осуществления мониторинга с учетом полосы захвата (600-3000 км) определенного спутника сканерами среднего разрешения (30-250 м).

Определяют расположение и количество метеостанций Росгидромета в указанных регионах. По архивным космоснимкам за предыдущие годы определяют в различных агроклиматических зонах региона тестовые поля достаточной площади и конфигурации для расчета на период вегетации зерновых культур в текущий год вегетационного и листового индексов. Выполняются ежедневные расчеты биопродуктивности яровых зерновых культур по модифицированной методике EPIC с корректировкой расчетных значений листового индекса (LAI) на основе спутниковой оценки вегетационного индекса. Корректировка по спутниковым изображениям проводится 3-4 раза за вегетационный период до достижения LAI максимального значения с учетом разреженной облачности над наблюдаемой территорией. На основании расчетов по модифицированной модели прогнозируются биологическая урожайность культур и оптимальные сроки начала уборки в разрезе районов или субъекта Федерации. В отдельных случаях используются метеоданные с портативных автоматических метеостанций, устанавливаемых в зерносеющих хозяйствах.

Пример 1. Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности был использован для прогнозирования урожайности яровой пшеницы по Алтайскому краю в 1994-1998 гг. При этом использовались ежедневные метеорологические данные, предоставляемые Алтайским ЦГМС в период с 1 мая по 31 августа, и данные обработки изображений сканера МСУ-СК со спутника РЕСУРС-О. Результаты расчетов по модели в сравнении со статистическими данными отчетности представлены на фиг.5а и 5б. Тренды статистической и расчетной урожайности для некоторых районов Алтайского края за период с 1994 по 1998 гг. представлены на фиг.6.

Пример 2. Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности был использован для прогнозирования урожайности яровой пшеницы по Тюменской области в 2004 году. При этом использовались ежедневные метеоданные, предоставляемые Тюменским ЦГМС в период с 1 мая по 31 августа, и данные обработки изображений сканера MODIS со спутника TERRA. Результаты прогноза урожайности яровой пшеницы по районам юга Тюменской области в зависимости от сроков сева представлены на фиг.7. Результаты расчетов урожайности по модели и статистические данные отчетности в ходе уборки яровой пшеницы для всех зерносеющих районов юга Тюменской области представлены на фиг.8.

Пример 3. Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе

данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности был использован для прогнозирования урожайности и сроков созревания яровой пшеницы по Новосибирской области и Алтайскому краю в 2005 году. При этом использовались ежедневные метеоданные, предоставляемые Новосибирским ЦГМС в период с 1 мая по 31 августа, и данные обработки изображений сканера MODIS со спутников TERRA и AQUA. Динамика изменения биомассы, листового индекса и массы корня растений по результатам расчетов только по модели и с корректировкой листового индекса по космическим снимкам представлены на фиг.9а и 9б. Динамика прогнозируемой урожайности в вегетационный период в зависимости от фактических метеоусловий представлена на фиг.10, где видно, что колебания в расчетных значениях биологической урожайности яровой пшеницы становятся минимальными в конце июля. Это подтверждает возможность прогноза урожайности яровой пшеницы за месяц до начала уборки на юге Западной Сибири.

Таким образом, представленные примеры применения способа прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности подтверждают возможность расчета основных параметров биопродуктивности культур (биомассы, листового индекса, веса корня, высоты растений) и прогнозирования сроков биологического созревания зерновых культур и оптимальных сроков начала уборки, а также возможность прогноза урожайности для различных зерновых культур за месяц до начала уборки с точностью до 1 ц/га.

Перечень графических иллюстраций применения предлагаемого способа.

Фиг.1. Изменение расчетной и экспериментальной суммарной солнечной радиации Q (Мдж/(м²·сутки) за июнь 2003 г. (г.Барнаул).

Фиг.2. Изменение расчетной и экспериментальной суммарной солнечной радиации Q (Мдж/(м²·сутки) за вегетационный период 2004 г. (г.Барнаул).

Фиг.3. Динамика расчетной и экспериментальной максимальной температуры почвы (С°) за вегетационный период 2003 г. (метеостанция г.Барнаула).

Фиг.4. Динамика расчетной и экспериментальной минимальной температуры почвы (С°) за вегетационный период 2003 г. (метеостанция г.Барнаула).

Фиг.5а. Динамика статистической и расчетной урожайности по районам Алтайского края за 1998 г. без коррекции.

Фиг.5б. Динамика статистической и расчетной урожайности по районам Алтайского края за 1998 г. с коррекцией по данным сканера МСУ-СК.

Фиг.6. Тренды статистической и расчетной урожайности для некоторых районов Алтайского края.

Фиг.7. Прогноз урожайности в зависимости от сроков сева по результатам расчетов по модифицированной модели биопродуктивности.

Фиг.8. Сравнение прогнозируемой по модифицированной модели биопродуктивности и фактической урожайности во время уборки.

Фиг.9а. Результаты расчетов по модифицированной модели ЕРІС для Павловского района Алтайского края в 2005 году без корректировки (урожайность 14.06 ц/га).

Фиг.9б. Результаты расчетов по модифицированной модели ЕРІС для Павловского района Алтайского края в 2005 году с корректировкой листового индекса по данным сканера MODIS (урожайность 13.26 ц/га).

Фиг.10. Результаты расчетов по модифицированной модели биопродуктивности. Динамика прогнозируемой урожайности в вегетационный период в зависимости от фактических метеоусловий.

Литература

1. Патент РФ №2155472, Кл. 7 A01G 23/00, опубл. 10.09.2000. Бюл. №4. Способ оценки биомассы растительности.

2. Патент РФ №2294091, Кл. 7 A01G 7/00, опубл. 27.02.2007. Бюл. №6. Способ оценки потенциальной продуктивности сельскохозяйственных растений, преимущественно коллекционных сортов яровых зерновых колосовых культур, при возделывании в условиях резко континентального климата.

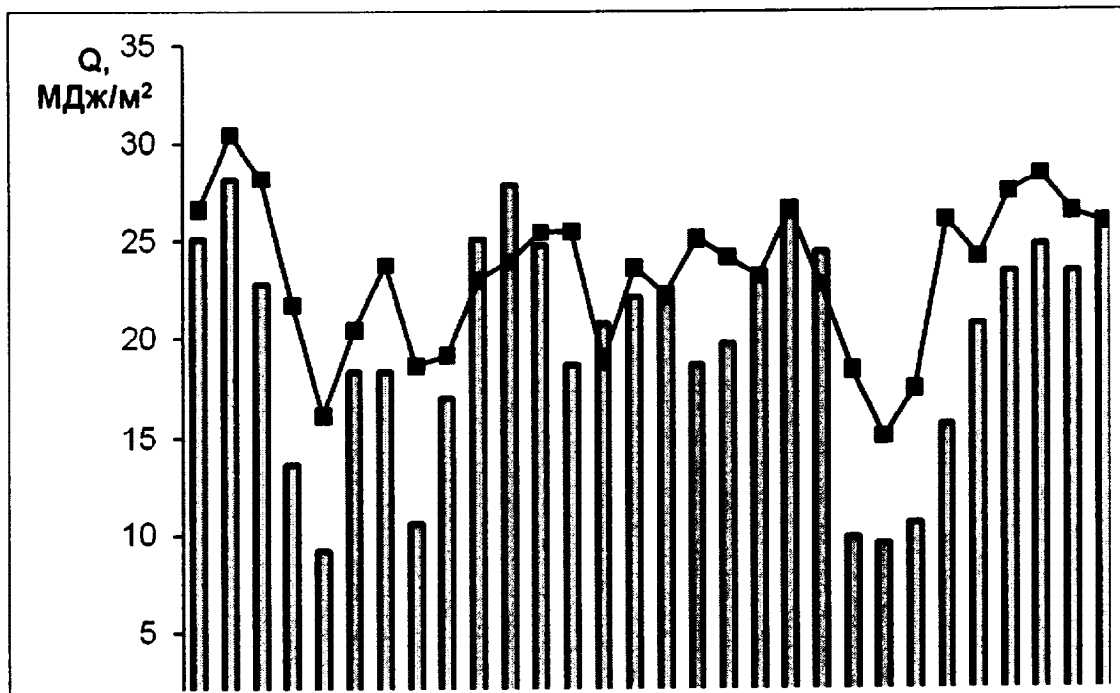
3. Williams J.R. The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC). Technical Reference. US Department of Agriculture. 1997.

4. Y.Knyazikhin, J.Glassy, J.L.Privette, Y.Tian, A.Lotsch, Y.Zhang, Y.Wang, J.T.Morissette, P.Votava, R.B.Myneni, R.R.Nemani, S.W.Running, MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD 15) Algorithm Theoretical Basis Document, <http://eospsso.gsfc.nasa.gov/atbd/modistables.html>, 1999.

5. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984.

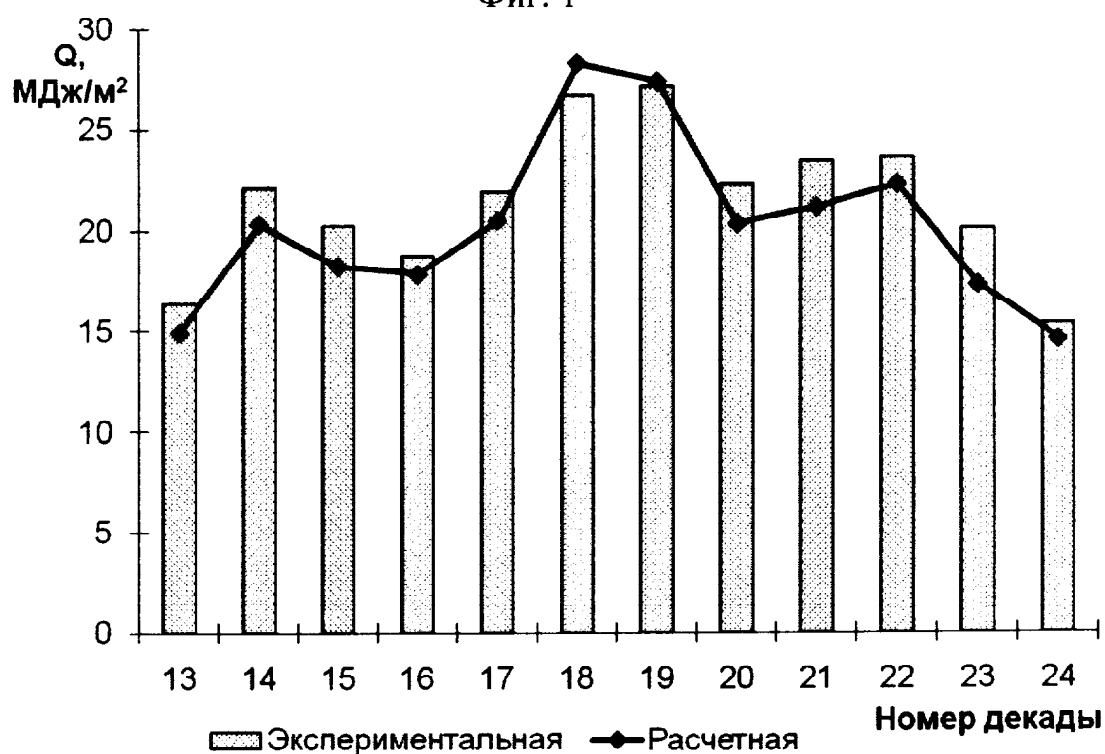
Формула изобретения

Способ прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности, в котором рассчитывают параметры культуры, используя модель биопродуктивности EPIC и ежедневные метеорологические данные, отличающийся тем, что для расчета параметров культуры модифицируют блок входных данных по солнечной радиации в модели EPIC путем использования ежедневно определяемых данных метеостанций и данных дистанционного зондирования, по которым вычисляют нормализованный вегетационный и листовой индексы, при этом листовой индекс LAI вычисляют по спутниковому изображению для изучаемой территории, затем осуществляют коррекцию листового индекса LAI по космическим снимкам или данным наземных наблюдений на определенные даты развития растений до достижения листового индекса LAI максимального значения, определяют максимальную температуру почвы по суммарной коротковолновой солнечной радиации, а минимальную - по эффективному излучению атмосферы, осуществляют оценку приходящей к посеву коротковолновой радиации по влажности воздуха, измеряемой на метеостанциях, а затем по регрессионным уравнениям, полученным по многолетним экспериментальным данным, на базе вычисленных параметров по модифицированной модели биопродуктивности культур рассчитывают параметры растений: биомассу, листовой индекс, высоту растений, вес корня, и по этим параметрам биопродуктивности осуществляют мониторинг состояния зерновых культур во времени от момента посева до сбора, в результате чего заблаговременно оценивают урожайность и определяют сроки сбора зерновых культур.



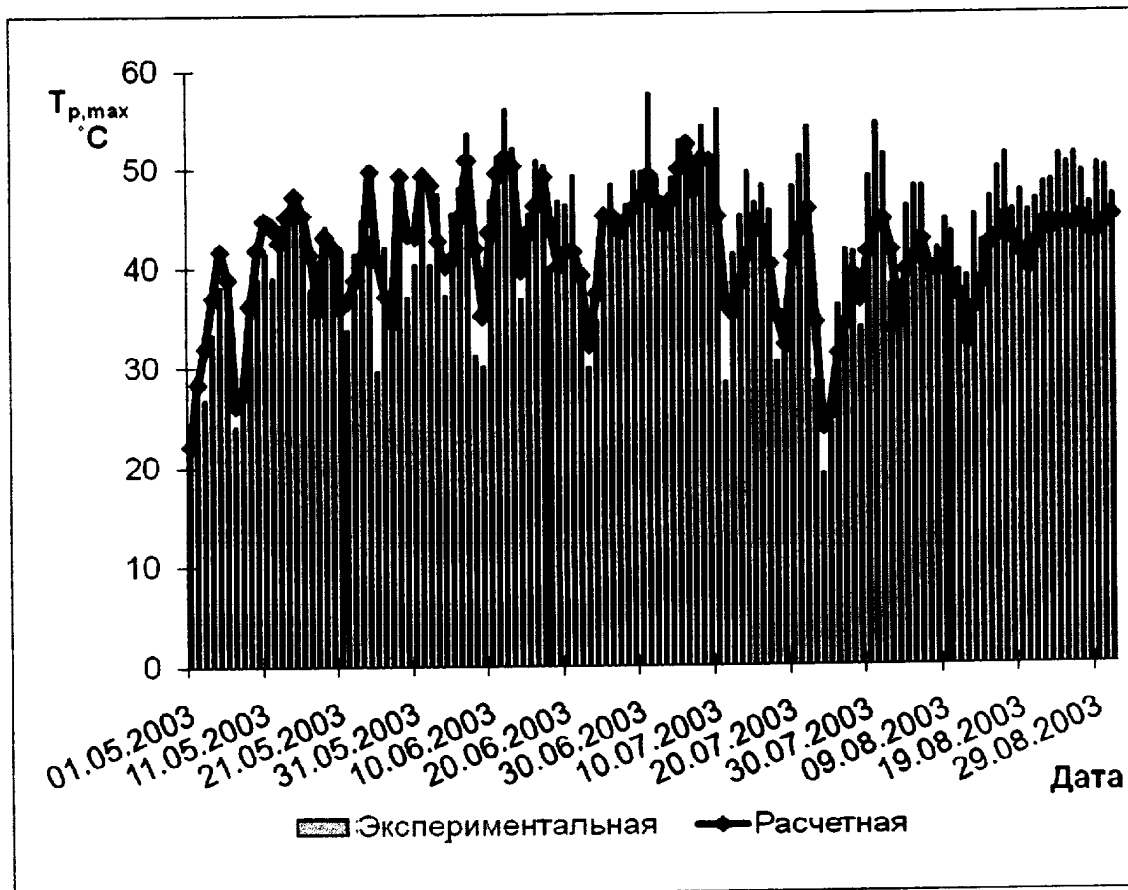
Изменение расчетной и экспериментальной суммарной солнечной радиации Q (Мдж/(м²·сутки)) за июнь 2003 г (г. Барнаул).

Фиг. 1



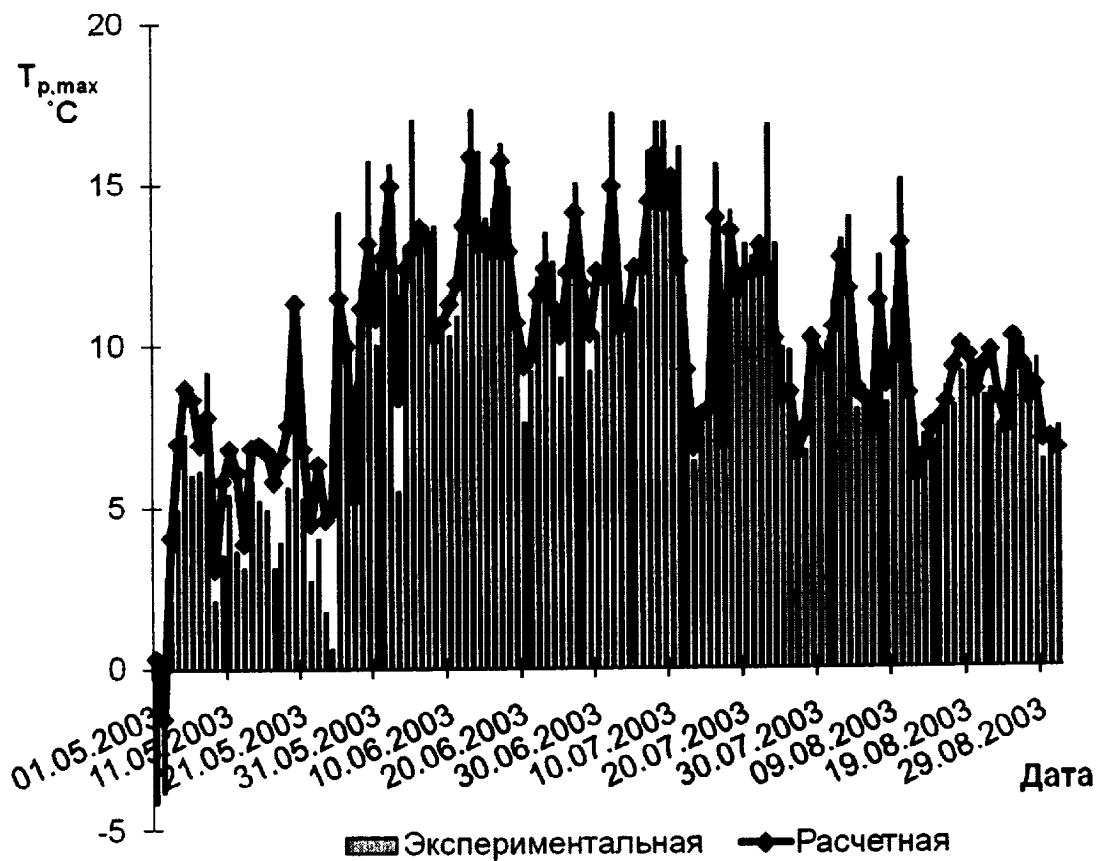
Изменение расчетной и экспериментальной суммарной солнечной радиации Q (Мдж/(м²·сутки)) за вегетационный период 2004 г. (г. Барнаул).

Фиг. 2



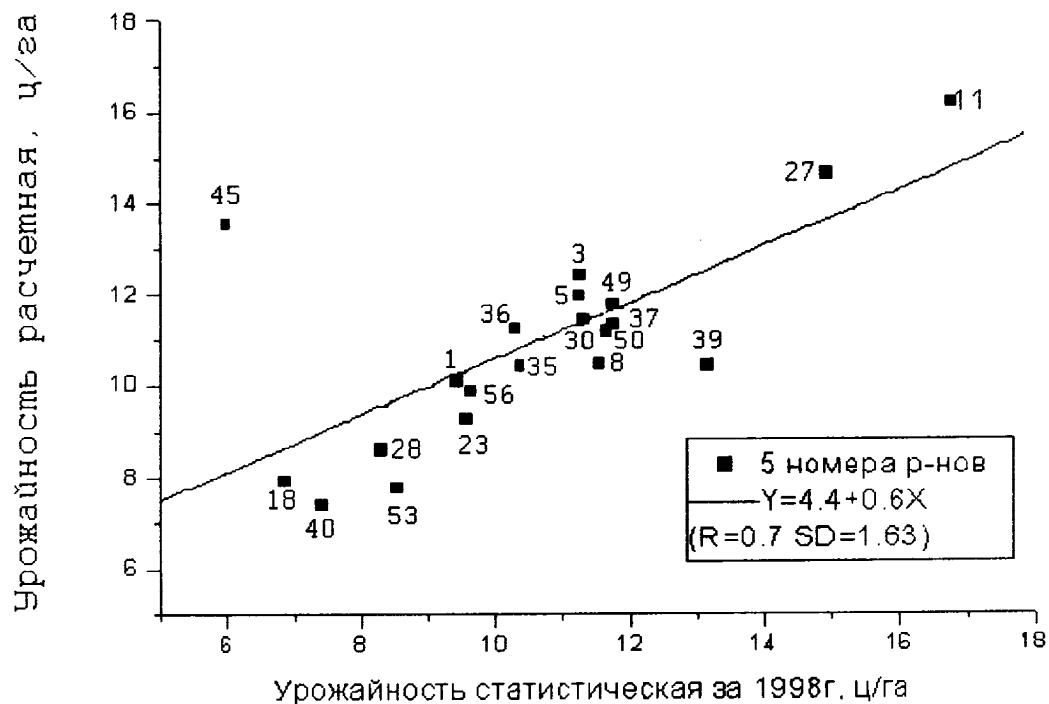
Изменение расчетной и экспериментальной максимальной температуры почвы (C^0) за вегетационный период 2003 г. (метеостанция г. Барнаула).

Фиг. 3



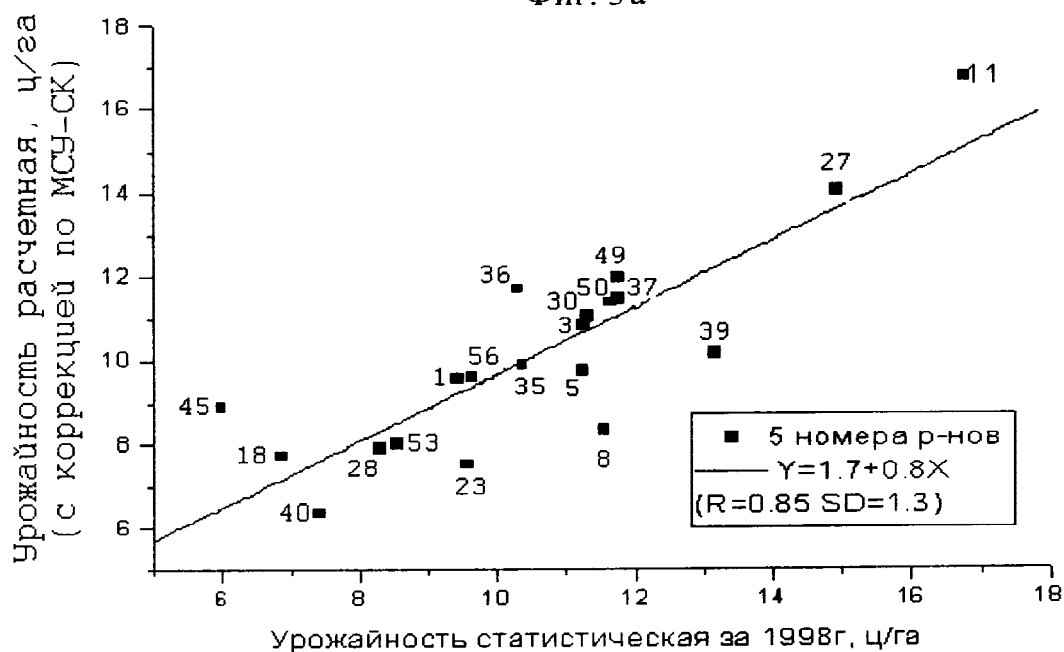
Изменение расчетной и экспериментальной
минимальной температуры почвы (C^0)
за вегетационный период 2003 г.
(метеостанция г. Барнаула).

Фиг. 4



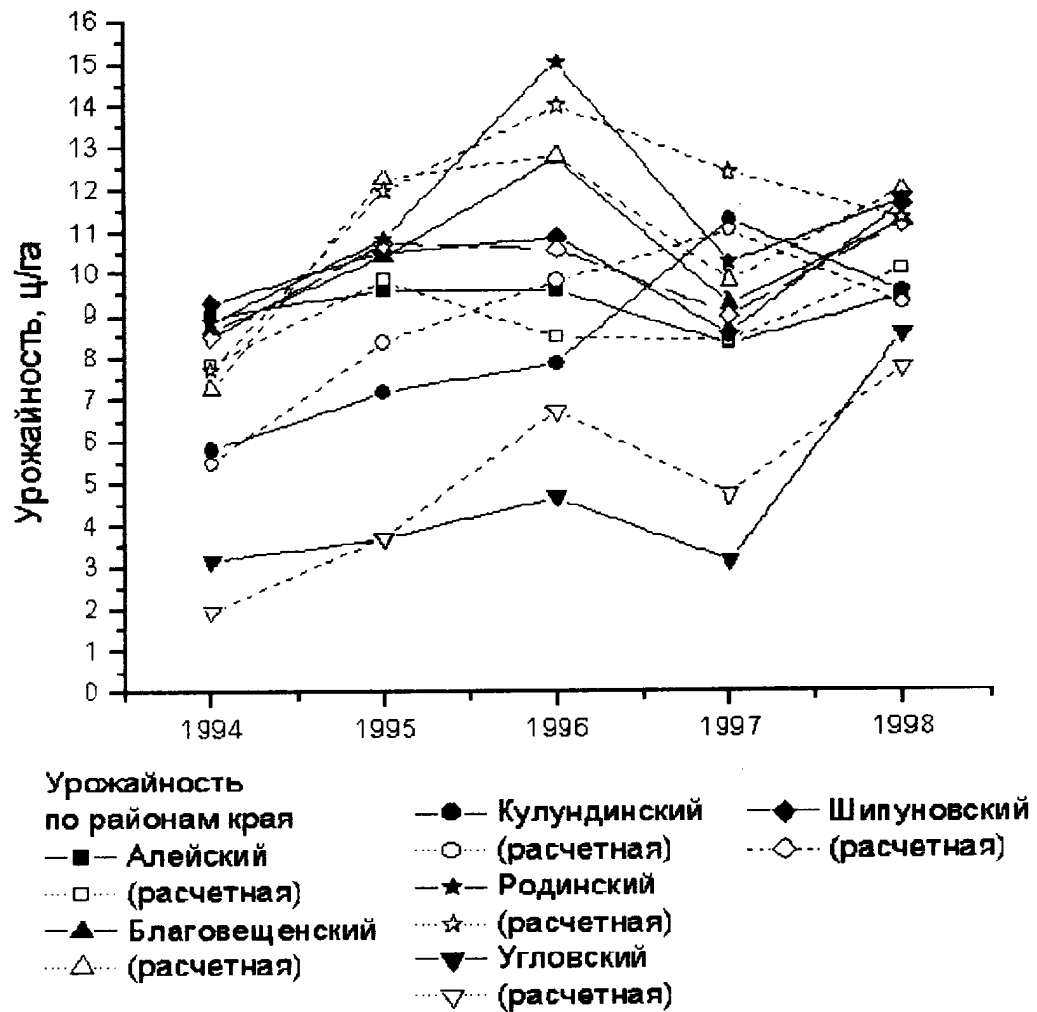
Динамика статистической и расчетной урожайности по районам Алтайского края за 1998г. без коррекции.

Фиг. 5а



Динамика статистической и расчетной урожайности по районам Алтайского края за 1998г с коррекцией по данным сканера МСУ-СК.

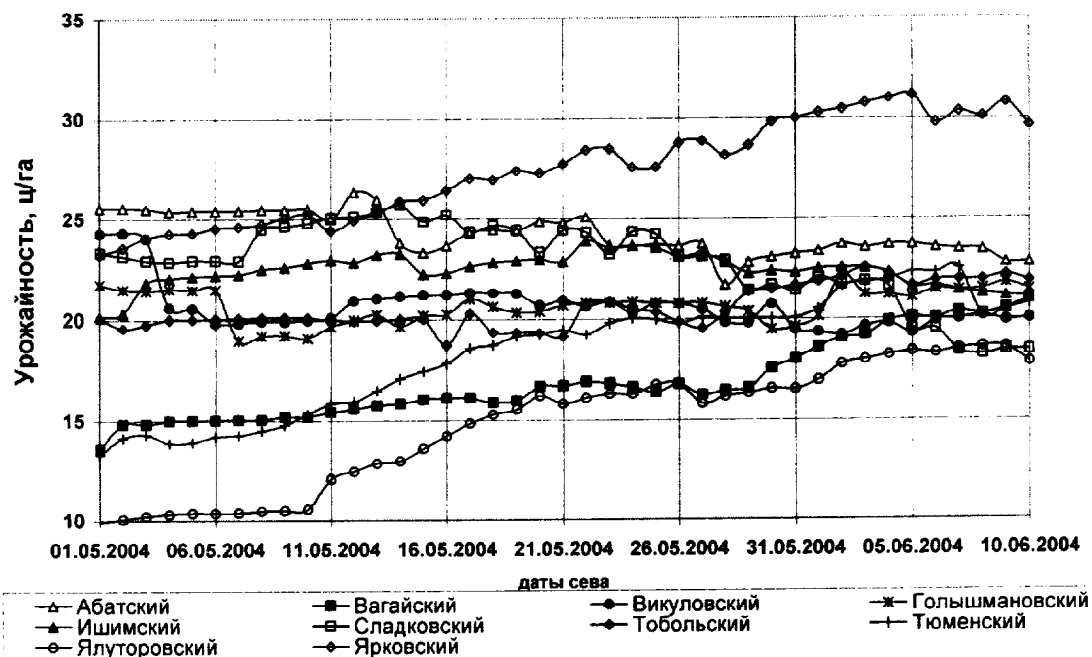
Фиг. 5б



Тренды статистической и расчетной урожайности для некоторых районов Алтайского края.

Фиг. 6

Прогноз урожайности яровой пшеницы по районам Тюменской области на 31 августа 2004 в зависимости от сроков сева



Прогноз урожайности в зависимости от сроков сева по результатам расчетов по модифицированной модели биопродуктивности.

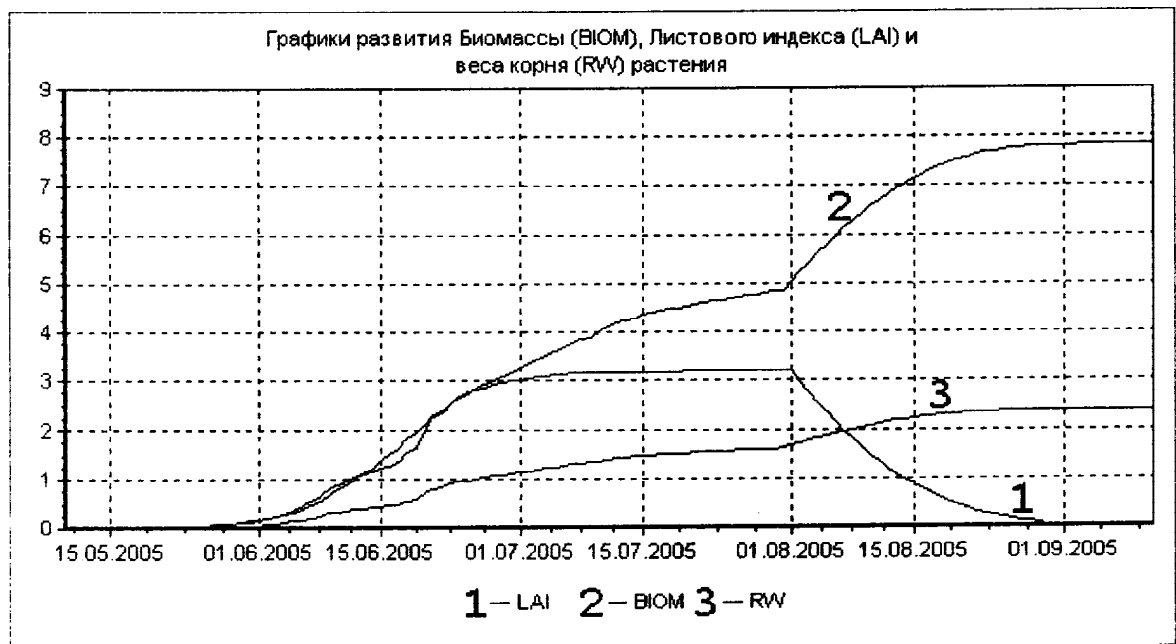
Фиг. 7

Динамика прогнозируемой и фактической урожайности яровой пшеницы по Тюменской области в 2004 г



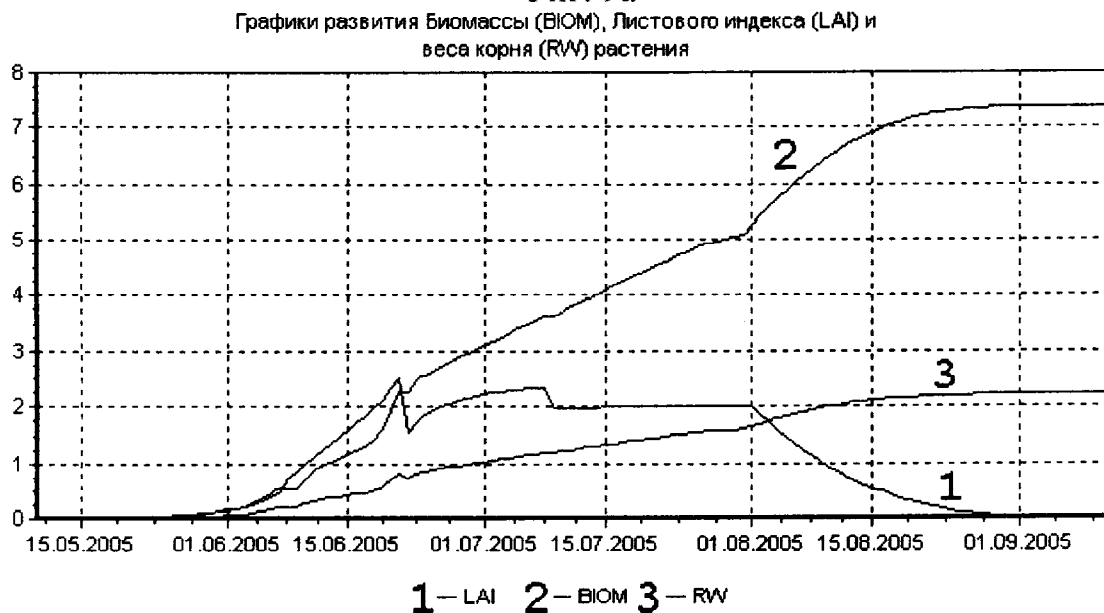
Сравнение прогнозируемой по модифицированной модели биопродуктивности и фактической урожайности во время уборки.

Фиг. 8



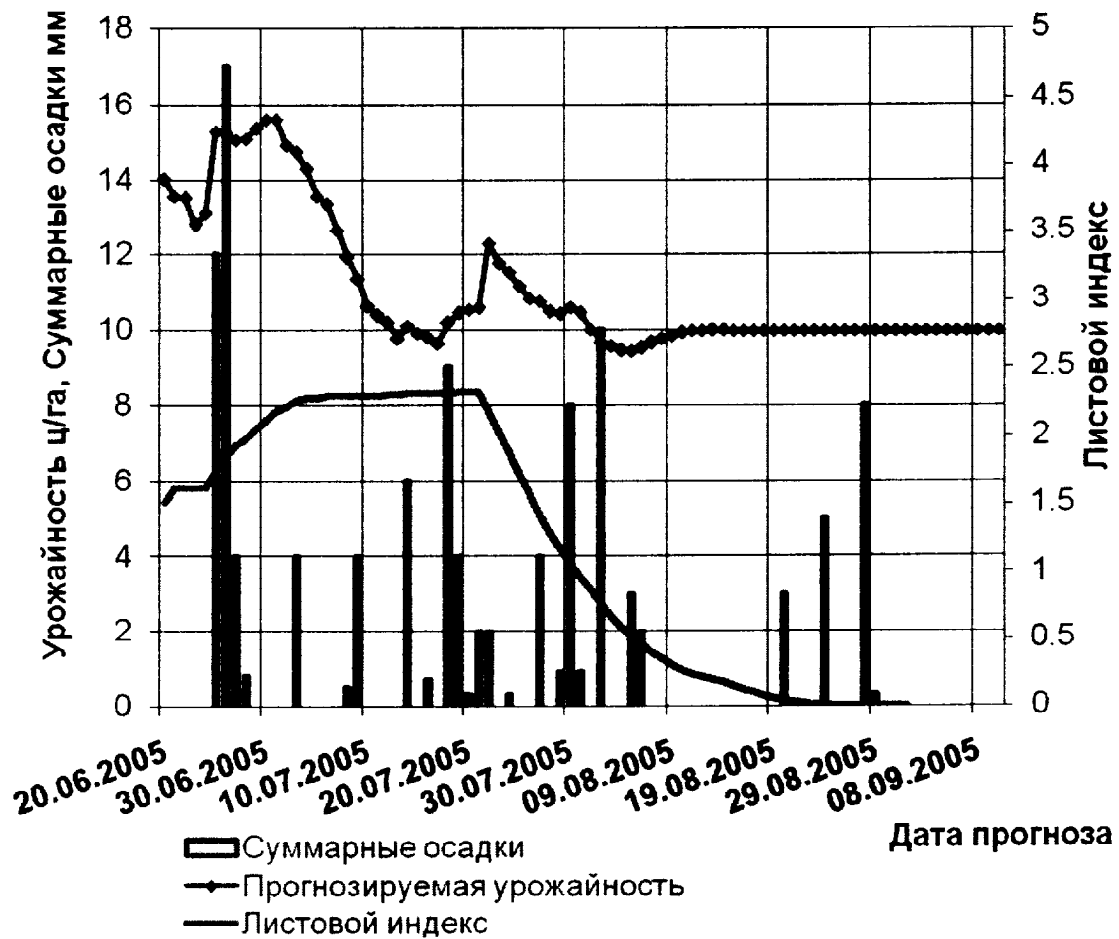
Результаты расчетов по модифицированной модели EPIC для Павловского района Алтайского края в 2005 году без корректировки (урожайность 14.06 ц/га)

Фиг. 9а



Результаты расчетов по модифицированной модели EPIC для Павловского района Алтайского края в 2005 году с корректировкой листового индекса по данным сканера MODIS (урожайность 13.26 ц/га).

Фиг. 9б



Результаты расчетов по модифицированной модели биопродуктивности. Динамика прогнозируемой урожайности в вегетационный период в зависимости от фактических метеоусловий.

Фиг. 10