

ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УРОЖАЙНОСТИ РАЗЛИЧНОЙ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТИ, ОСНОВАННЫХ НА ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

** Ю. С. Галахова, ** Г. В. Менжулин, *** Ф. Н. Коган*

** Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова*

*** Санкт-Петербургский государственный университет*

**** Национальное управление по океану и атмосфере США (US NOAA)*

Совершенствование методов прогнозирования урожайности остается одной из актуальнейших задач сельскохозяйственной науки. Новые выверенные приемы такого прогнозирования позволяют более эффективно использовать потенциал современного сельского хозяйства, а также своевременно разрабатывать и внедрять инновационные технологии повышения урожайности. Несмотря на то, что в последние годы в методики прогнозирования урожайности широко внедряются многофакторные имитационные модели продукционного процесса, достоверность и точность прогностических оценок оставляют желать лучшего. При разработке как имитационных моделей продуктивности, так и классических статистических схем продолжает использоваться в первую очередь приземная метеорологическая информация. При этом в качестве основных факторов, которые в наибольшей степени влияют на конечную урожайность, используются температура приземного воздуха и атмосферные осадки. В некоторых случаях для таких целей применяются комбинации климатических параметров, выраженные в виде индексов.

В последние двадцать лет прошедшего столетия были созданы первые спутниковые системы мониторинга состояния наземной растительности. Их развитие привело к тому, что в настоящее время стали доступными непрерывные ряды спутниковых наблюдений, превышающие 30 лет. Поскольку такая продолжительность рядов может считаться достаточной для построения надежных статистических моделей, встал вопрос об эффективности использования спутниковой информации для прогноза урожайности различной заблаговременности в конкретный вегетационный год. Несмотря на то, что к настоящему времени проведено большое количество исследований, привлекающих данные спутникового мониторинга, проблеме построения именно прогностических статистических методик уделяется недостаточное внимание.

Доклад, представленный на конференции, посвящен оценке эффективности использования данных спутникового зондирования для построения статистических прогностических моделей урожайности нового поколения, базирующихся на многовариантных методиках регрессионного анализа, свободных от априорных гипотез. Для построения подобных моделей необходимо, чтобы исходные ряды значений прогнозируемой характеристики и независимых переменных (предикторов) отвечали ряду требований. Очевидно, что главными из таких требований являются достоверность, продолжительность, непрерывность и однородность рядов. В настоящем исследовании были использованы данные о временной динамике за период 1982–2013 гг. четырех спутниковых индексов:

NDVI – нормированный дифференциальный вегетационный индекс;

BT – яркостная температура посева;

VCI – нормированный индекс состояния посева;

TCI – нормированный индекс термического режима посева.

Третий и четвертый из перечисленных индексов, хотя и являются производными от первых двух (они рассчитываются при нормировании их значений на амплитуду изменений в течение всего временного промежутка), могут быть использованы в качестве альтернативной пары возможных предикторов регрессионных моделей.

При выборе сельскохозяйственных культур как объекта исследования в первую очередь принимались во внимание такие показатели, как доступность, качество (отсутствие пробелов) и высокое пространственное разрешение данных по ее урожайности. В настоящем исследовании были использованы данные о валовом сборе, площадях возделывания и урожайности озимой и яровой пшеницы, а также других зерновых культур в:

1. областях Европейской территории России;
2. графствах штатов Канзас и Северная Дакота (США);
3. департаментах Франции (озимые и яровые зерновые культуры);
4. территориальных единицах Бельгии, Швеции, Дании, Польши.

Массивы данных, наиболее полно удовлетворяющие перечисленным выше требованиям, содержатся в архивах Национальной Статистической Службы Министерства Сельского Хозяйства США. В первую очередь это относится к высокому пространственному разрешению данных о производстве, площадям возделывания (а значит и урожайности) на малых по площади территориальных единицах в США. В качестве основного региона для проведения наиболее методически полных расчетов в данном исследовании был выбран штат Канзас, в котором расположено 104 графства размерами около 2500 кв.км. и который, согласно многолетней статистике, является крупнейшим производителем озимой пшеницы в США.

При анализе рядов урожайности и спутниковых вегетационных индексов для выбранных территориальных единиц было выявлено, что в них на временном промежутке с 1982 по 2013 гг. практически всегда присутствуют статистически значимые тренды. При выборе типа тренда, который должен быть «вычленен» из рядов как предиктантов, так и предикторов, необходимо принимать во внимание, что продолжительность рядов, доступных для построения регрессионных моделей, была ограничена 32-мя годам. В этой связи использование сложных трендов (со многими экстремумами) при анализе таких относительно непродолжительных рядов может привести к появлению неточностей в рядах аномалий, вызванных исключением из привлекаемых к расчетам данных не только длиннопериодной технологической, но межгодовой изменчивости.

Нельзя сказать, что к настоящему времени в исследованиях по прогнозированию урожайности разработаны универсальные приемы выделения из большого набора независимых переменных тех предикторов, включение которых в регрессионные модели однозначно привело бы к получению наиболее точных и статистически обоснованных моделей. Авторами с целью обоснова-

ния статистически достоверных алгоритмов выбора предикторов регрессионных моделей аномалий урожайности было разработано несколько методик такого выделения. Основная из них базируется на методе прямого перебора всех возможных регрессий, их селекции и окончательном выборе наиболее достоверных и точных моделей.

Основную группу методических компьютерных экспериментов составили прогностические регрессионные модели «вегетационные индексы – аномалии урожайности озимой пшеницы» различной заблаговременности для девяти графств штата Канзас, представляющих все его сельскохозяйственные округа. В группу методических экспериментов были включены также и несколько областей ЕТР и департаментов Франции. Компьютерные эксперименты показали, что наиболее точными и статистически достоверными оказались модели, построенные с помощью алгоритма прямого перебора предикторов, который был настроен на выбор шести (или большего количества) из 106 еженедельных значений спутниковых вегетационных индексов. Причем это оказалось справедливым для моделей, использующих в качестве предикторов как пару индексов VCI и TCU, так NDVI и VT.

В докладе приводятся примеры увеличения точности показателей статистической достоверности регрессионных моделей при изменении заблаговременности прогнозирования, а также обсуждаются методы дальнейшего усовершенствования прогностических статистических моделей аномалий урожайности, базирующихся на данных спутникового зондирования.

ГЛОБАЛЬНОЕ АНТРОПОГЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ, ПОТЕНЦИАЛ ПРОДУКТИВНОСТИ МЕЖДУНАРОДНОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВА РЕШЕНИЯ МИРОВОЙ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ

Г. В. Менжулин^{}, С. П. Савватеев^{*}, Ю. С. Галахова^{**}*

^{*} Санкт-Петербургский государственный университет

^{**} Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова

Оценка влияния современных изменений глобального климата на агроклиматический потенциал международного сельского хозяйства и мировую продовольственную проблему предполагает анализ главных факторов данной проблемы, в число которых должны быть включены: (1) оценка возможного роста народонаселения планеты в текущем столетии; (2) перспектива увеличения продукции мирового сельского хозяйства за счет освоения новых территорий; (3) возможность повышения урожайности за счет внедрения новых интенсивных агротехнологий; (4) прямое физиологическое воздействие повышенной концентрации углекислого газа на продуктивность сельскохозяйственных растений; (5) изменение урожайности, обусловленное сменой агроклиматического режима при глобальном потеплении.