

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<sup>\*</sup>, С. П. Савватеев<sup>\*</sup>, Ю. С. Галахова<sup>\*\*</sup>*

<sup>\*</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>\*\*</sup> 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.

Ответ на вопрос о росте народонаселения планеты в ближайшие десятилетия можно получить из анализа соответствующих разработок, проведенных специалистами ООН. Наиболее достоверные из таких оценок свидетельствуют о том, что к середине столетия население планеты вырастет до 8,3–10, млрд. человек.

Рассматривая перспективу экстенсивного развития мирового сельского хозяйства в ближайшие 40–50 лет, следует упомянуть о двух аспектах данной проблемы. Первый из них – возможность расширения сельскохозяйственных площадей за счет освоения новых земель. Развитие мирового сельского хозяйства показало, что такая перспектива мало реальна. Это следует из анализа временной динамики площадей, используемых для производства главных продовольственных культур, в основных географических регионах и в целом в мире. Несмотря на то, что в некоторых странах и регионах посевные площади в последние десятилетия заметно изменились, в целом в мире после 1980 года их суммарная площадь осталась почти прежней. Другими словами, практически весь прирост производства главных продовольственных культур в мире обеспечивался исключительно благодаря повышению их урожайности за счет факторов агротехники. Средняя величина данного прироста составила 150%, хотя в целом для продовольственных культур в последние десятилетия он практически был сбалансирован увеличением народонаселения.

На вторую часть вопроса о перспективах использования новых земель, агроклиматический режим которых может измениться в благоприятную сторону при ожидаемой смене климата, можно ответить, обратившись к выводам, сделанных при анализе сценариев изменений климата в будущем. Одним из важных в агроклиматическом плане является вывод о том, что глобальное потепление наиболее существенно проявится в термическом режиме регионов высоких широт, в особенности в холодный период года. Данный вывод имеет непосредственное отношение к такому важному для сельского хозяйства северных и умеренных регионов показателю, как продолжительность теплого периода года. Увеличение теплого периода года и повышение температуры в зимний сезон могут иметь существенное значение для внедрения в сельское хозяйство культур с удлиненным периодом вегетации. Данный феномен имеет прямое отношение к возможности расширения сельскохозяйственных территорий северных районов. Однако, принимая во внимание оценки рентабельности освоения новых северных территорий с малопродуктивными почвами, следует подчеркнуть, что такая перспектива неопределенна.

Следующий вопрос, имеющий важнейшее значение для решения мировой продовольственной проблемы, – это оценка возможности роста урожайности сельскохозяйственных культур за счет внедрения новых интенсивных агротехнологий. Для получения ответа на вопрос о том, какой уровень урожайности продовольственных культур необходимо будет обеспечить к середине настоящего столетия, можно в первом приближении исходить из необходимости сохранения как минимум современного мирового уровня производства продовольствия на душу населения. Принимая во внимание ранее сделанный вывод о неизменности посевных площадей, используемых в мировом сельском хозяйстве

ве, можно установить, что средняя по главным продовольственным культурам в мире производительность одного гектара, составляющая в настоящее время около 30 центнеров, должна будет возрасти в полтора раза в случае роста населения до 8,3 миллиардов и в два раза – в случае его роста до 10 миллиардов человек.

Имеющиеся оценки показывают, что возможность обеспечения продовольствием населения планеты только за счет агротехники (если прогноз его численности к середине настоящего столетия оправдается) вызывает определенные сомнения. Это очевидно из сравнения данных о современной урожайности главных продовольственных культур в наиболее развитых в сельскохозяйственном отношении странах мира.

Углекислый газ является одним из главнейших факторов жизнедеятельности растений. Наряду с фотосинтетически активной радиацией он является первичным субстратом фотосинтеза, и, в соответствии с законами биологической кинетики, рост его концентрации не может не вызвать увеличения потенциальной продуктивности растений. Современные физиологические исследования связывают кинетические эффекты первичных реакций фотосинтеза с закономерностями фотосинтетического метаболизма двух основных групп растений  $C_3$  и  $C_4$ .

Анализ подавляющего большинства современных экспериментов указывает на повышение хозяйственных урожаев  $C_3$  типа культур, выращиваемых на повышенном фоне  $CO_2$ . Так, в атмосфере с удвоенным содержанием углекислого газа урожайность  $C_3$ -растений возрастала в среднем на 33%. Помимо благоприятного влияния на потенциальную продуктивность рост концентрации углекислого газа может существенно изменить и другие физиологические функции растений. Среди них наиболее важной для сельскохозяйственной практики является транспирация. Растения  $C_3$ , выращенные на повышенном фоне концентрации углекислого газа в воздухе, проявляют большую засухоустойчивость.

Очевидно, что оценки возможных в будущем изменений урожаев сельскохозяйственных культур можно получить, опираясь на сценарии изменений региональных климатов, определяемых глобальным потеплением. В последние десятилетия для указанной цели широко применяются модели общей циркуляции атмосферы и океана. С их помощью проведено большое количество численных экспериментов по обоснованию сценариев изменений климата при глобальном потеплении. Отмечая большое значение результатов данных исследований для развития физической климатологии, нельзя не отметить, что в силу чрезвычайной сложности климатической системы прогресс в решении задачи предсказания изменений климатических условий оказался более медленным, чем это представлялось ранее.

Разработанные к настоящему времени в агрометеорологии динамические прогностические модели урожайности сельскохозяйственных культур довольно требовательны к исходной климатологической информации. Сложная структура таких моделей отражает многофакторность продукционного процесса растений. В конечном итоге это сводится к тому, что из имеющихся климатических

сценариев нельзя получить того объема исходной информации, который требуется для расчетов влияния изменений климата на урожайность по моделям, используемым при краткосрочном агрометеорологическом прогнозировании.

Анализ динамики урожаев сельскохозяйственных культур за относительно продолжительные периоды в разных регионах показывает, что изменения урожайности вызываются тремя главными факторами: пространственной неоднородностью агроклиматического потенциала территорий, совершенствованием агротехнологий и, наконец, сменой погодных условий из года в год. Изменения урожайности, происходящие под воздействием первых двух факторов, в силу их понятной территориальной вариабельности и относительно плавной временной зависимости можно рассматривать как детерминистические. По сравнению с ними нерегулярные межгодовые изменения урожаев следует исследовать как стохастический процесс.

В заключении следует указать на главные выводы из имеющихся расчетов изменений агроклиматических показателей в будущем. Первый из них состоит в том, что развивающееся антропогенное глобальное потепление в целом должно благоприятно повлиять на агроклиматический потенциал большинства сельскохозяйственных регионов мира. Второй вывод, который и ранее подтверждался расчетами применительно к отдельным сельскохозяйственным регионам Северного полушария, состоит в том, что глобальное потепление, приводящее в целом к росту осадков, наиболее благоприятным образом повлияет на агроклиматический режим регионов, которые в настоящее время характеризуются недостаточным увлажнением. Это обстоятельство является весьма важным для обоснования интенсивного развития зернового производства на больших площадях, ныне мало пригодных для сельского хозяйства засушливых регионов. И, наконец, следует упомянуть о том, что главной причиной неопределенности в выводах о потенциале продуктивности мирового производства продовольствия (в особенности сельского хозяйства отдельных регионов) в настоящее время остается непредсказуемость межгодовой изменчивости погодноклиматических факторов, которая все еще не поддается научному анализу.

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

*Л. Ю. Новикова*

ГНУ ВНИИР им. Н. И. Вавилова Россельхозакадемии

Актуальной задачей современного растениеводства является его адаптация к наблюдающимся изменениям климата, оптимизация видовой и сортовой структуры регионального растениеводства (Гордеев и др., 2008). Для прогнозирования хозяйственно ценных признаков сельскохозяйственных культур необходима количественная оценка их реакции на происходящие изменения. Целью