

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»
Российский фонд фундаментальных исследований

МАТЕРИАЛЫ

Всероссийской научной конференции

с международным участием

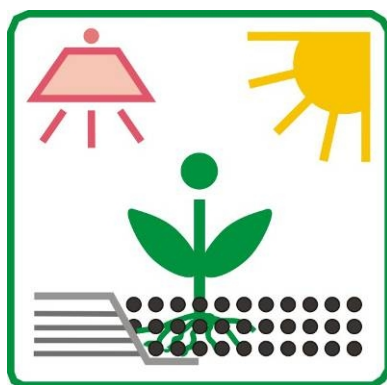
«АГРОЭКОСИСТЕМЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И

РЕГУЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ:

ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К ПРАКТИКЕ

ПРЕЦИЗИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ»

Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2016 г.



Санкт-Петербург
2016

УДК 631.95:51-76:631.588

ББК 41.4:28.08

А 26

Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления». Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2016 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 508 с.

Материалы даны в авторской редакции

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований*

Ответственные за выпуск:

Блохина С. Ю.

Агеенкова О. А.

Цивилев А. Ю.

11. Драгавцев В. А., Драгавцева И. А., Ефимова И. Л., Моринец А. С., Савин И. Ю. Управление взаимодействием «генотип – среда» – важнейший рычаг повышения урожаев с/х растений // Труды Кубанского Аграрного ун-та: материалы II ялтинской конференции «Пути повышения конкурентоспособности российских сортов и семян...» (5–12 сентября 2016 г.) (В печати).

12. Драгавцев В. А., Малецкий С. И. 2016. Пути «гены-признаки» неисповедимы // Биосфера. Т. 8. № 2. С. 143–150.

13. Дьяков А. Б., Драгавцев В. А. 1994. Разнонаправленность сдвигов количественного признака индивидуального организма под влиянием генетических и средовых причин в двумерных системах признаковых координат // Алгоритмы эколого-генетической инвентаризации генофонда и методы конструирования сортов с/х растений по урожайности, устойчивости и качеству / Под ред. В. А. Драгавцева. СПб.: ВИР. С. 22–47.

14. Драгавцев В. А. 2012. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и теория селекционных индексов // Экологическая генетика культурных растений: сб. докладов на Школе молодых ученых по экологической генетике. Краснодар, ВНИИ риса. С. 31–50.

15. Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость, влияние на урожай. Л.: Агрометеиздат, 1958.

ОТ ТРЕТЬЕГО К ЧЕТВЕРТОМУ ПОКОЛЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АГРОЭКОСИСТЕМ

А. Г. Топаж

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В настоящей статье анализируется текущее состояние и перспективы развития компьютерного имитационного моделирования продукционного процесса сельскохозяйственных посевов. Выводы автора базируются как на собственном опыте разработки и использования моделей, так и на анализе мировых тенденций.

В марте 2016 г. в Берлине прошел международный симпозиум «ICROPm-2016 – Crop Modelling for Agriculture and Food Security under Global Change». Несмотря на реализуемые в настоящее время проекты мирового (AgMIP) и европейского (MACSUR) масштаба, состоявшаяся конференция явилась, пожалуй, крупнейшей за 15 лет встречей специалистов в области компьютерного моделирования агроэкосистем и продукционного процесса сельскохозяйственных растений. На ней присутствовали представители всех сформировавшихся мировых школ и центров моделирования, в том числе основатели, стоявшие у истоков зарождения данного направления на Западе как самостоятельной научной дисциплины. Симпозиум послужил поводом и

предоставил площадку для обсуждения принципиальных вопросов о роли, месте и перспективах дальнейшего развития компьютерных моделей продуктивности посевов как в рамках теоретической сельскохозяйственной науки, так и практики современного растениеводства. Необходимость проведения подобной дискуссии появилась достаточно давно. Предыдущая попытка сформировать и сформулировать стратегию развития имитационных моделей для нужд земледелия была предпринята в конце 90-х гг. XX века. Ее результатом стала подборка дискуссионных статей, опубликованных в специальных выпусках журнала «Agronomy Journal» (Boot, Jones, 1996; Monteith, 1996; Passioura, 1996; Sinclair, Seligman, 1996; Hartkamp et al., 1999). Важно отметить, что в указанный период одним из основных участников обсуждений являлась советская школа компьютерного моделирования в агроэкологии (Poluektov, Topaj, 2001; Sirotenko, 2001; Denisov, 2001), в то время как в настоящее время отечественные исследователи утратили лидирующие позиции в данной области.

В то же время за прошедшие 15 лет произошли революционные изменения не только в сфере компьютерных технологий (то есть в техническом инструментарии моделирования), но и принципиально сменилась сама парадигма аграрного производства – сельское хозяйство неожиданно превратилось из традиционного занятия в одну из самых быстроразвивающихся и технологичных отраслей человеческой деятельности. Именно земледелие является на сегодняшний день сферой приложения самых наукоемких и прорывных технологий – космических, геоинформационных и биоинженерных. Безусловно, в подобных условиях многие тезисы и представления о путях развития и применения математических моделей, высказанные на рубеже XX–XXI вв., являются неактуальными и нуждаются в пересмотре. Попытки их переосмысления предпринимались в ряде программных публикаций (Affholder et al., 2012), однако именно глобальный форум, состоявшийся в Берлине, поспособствовал тому, что имеющиеся вопросы оказались четко обозначенными. Более того, в некоторых программных докладах были

предложены конкретные варианты ответа на них. В настоящем сообщении, не претендующем на полноту изложения проблемы, представлено краткое описание обозначенного на совещании видения принципиального вектора развития компьютерных моделей агроэкосистем.

Большинство авторов, предпринимая экскурс в историю вопроса, выделяет три поколения компьютерных моделей посевов (рис.). Модели первого поколения, разрабатывавшиеся в «докомпьютерную» эпоху, представляли собой качественные математические описания отдельных процессов физической, химической или биологической природы, протекающих в системе «почва – растение – атмосфера». Речь о создании комплексной модели агроэкосистемы или продукционного процесса в то время не шла, так как отсутствовала принципиальная возможность ее численного расчета и, соответственно, исследования и верификации. Данная возможность возникла с появлением и распространением сравнительно мощных электронно-вычислительных машин, и второе поколение моделей представляло собой уже настоящие имитационные алгоритмы, отражающие полный жизненный цикл сельскохозяйственного посева конкретной культуры в течение одного вегетационного сезона и оформленные в виде законченной компьютерной программы. К середине 90-х гг. XX века появилось большое количество конкурирующих моделей подобного вида как на Западе (WOFOST, SOYGRO, CERES), так и в России (школы Р. А. Полуэктова, О. Д. Сиротенко, Ю. К. Росса, А. Н. Полевого и др.). Принципиальной отличительной чертой моделей второго поколения являлась их сравнительно узкая направленность – как правило, исполняемый модуль программы представлял собой модель одной конкретной культуры, а ее разовый расчет производился для одного конкретного варианта погодных и почвенных условий, строго заданной технологии и т.п., определяемых набором входных данных модели.

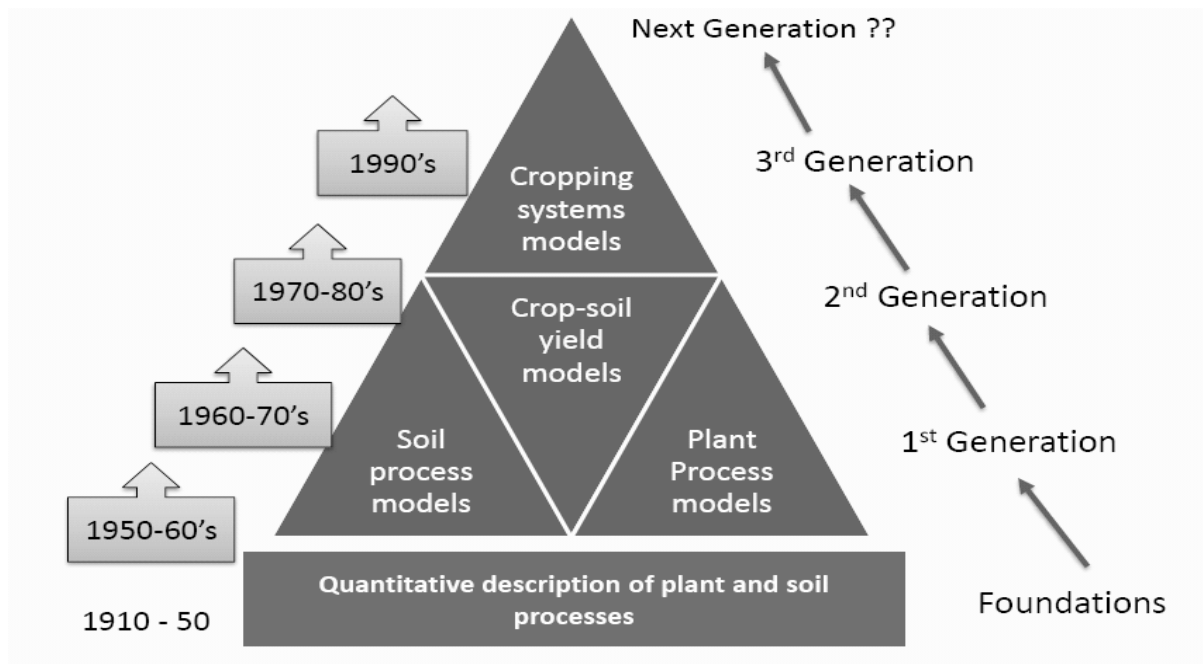


Рис. Три поколения математических моделей продукционного процесса посевов по Б. Китингу (Keating et al., 2003)

Переход от второго к третьему поколению моделей продуктивности осуществлялся по принципу «от моделей посева – к моделям системы земледелия». При этом в полном соответствии с учением классиков политэкономии произошла характерная для любой зрелой отрасли монополизация рынка и «концентрация капитала». Большое количество частных изолированных моделей конкретных культур от множества независимых разработчиков сменилось сравнительно небольшим числом мощных и универсальных модельных комплексов от ведущих мировых школ моделирования, таких как DSSAT (США), STICS (Франция), APSIM (Австралия). Представители третьего поколения характеризуются следующими отличительными чертами:

- ✓ Наличие в программном решении помимо самой имитационной модели (то есть алгоритма бизнес-логики динамики изменения состояния агроэкосистемы) специализированной оболочки и современной инфраструктуры для проведения с ней многофакторных и поливариантных компьютерных экспериментов (идентификация, анализ чувствительности, модификация и пересборка компонентной структуры без перекомпиляции программного кода и т.д.).

- ✓ Универсальный характер модели, то есть использование единого качественного алгоритма для описания продукционного процесса любых культур в любых почвенно-климатических условиях. При этом переход от одного варианта расчета (культура – погода – почва – технология) к другому обеспечивается исключительно посредством выбора конкретного набора входных данных.
- ✓ Вытекающая из указанных особенностей возможность непрерывного расчета модели в течение нескольких последовательных сезонов вегетации с учетом смены культур согласно имитируемой схеме хозяйственного севооборота.

Следует также отметить, что развитие и становление моделей третьего поколения происходило параллельно и в некоторой степени обуславливалось сменой традиционных представлений о сфере их приоритетного использования. Модели первого поколения имели исключительно научную направленность и использовались учеными-разработчиками для понимания характерных черт и сущности изучаемых процессов. Основной идеей при создании моделей второго поколения было получение инструмента поддержки оперативных решений в практической агрономии. Следует признать, что она не была реализована в полной мере: и в России, и на Западе потенциальные конечные пользователи (фермеры) не слишком заинтересованы в том, чтобы приобрести новую лицензионную версию модели посева и установить ее на персональный компьютер. Дискуссия о причинах подобного положения выходит далеко за рамки настоящей статьи. Основные прецеденты использования комплексных моделей третьего поколения связаны с решением задач стратегического характера, требующих проведения большого количества расчетов в крупном пространственном и/или временном масштабе. К таким задачам относятся, например, оценка влияния климатических изменений на продуктивность и устойчивость агроландшафтов, среднесрочное и долгосрочное планирование в землепользовании и землеустройстве, оценка эффективности альтернативных схем севооборота и новых систем земледелия (смешанные посевы). Можно

констатировать, что динамические модели продуктивности, не пользующиеся спросом на рынке инструментов оперативного управления и поддержки тактических решений, нашли применение в стратегическом анализе и планировании, вытеснив оттуда традиционные упрощенные регрессионно-статистические подходы (Баденко и др., 2015).

Комплекс «APEX-AGROTOOL», разработанный в лаборатории математического моделирования Агрофизического НИИ, в настоящее время безусловно является менее «раскрученным» и узнаваемым продуктом по сравнению с указанными выше мировыми брендами имитационного моделирования в агроэкологии. Он известен только в странах бывшего СССР. Вместе с тем, по своим характеристикам актуальная версия разработанного в АФИ решения может быть отнесена к развитой модельной системе третьего поколения и использована для решения характерных задач стратегического планирования в растениеводстве. Это подтверждается примерами ее успешного применения в таких проектах как:

- анализ влияния климатических изменений на продуктивность локальных агроэкосистем (Полуэктов и др., 2012);
- сравнительный анализ в многолетнем разрезе эффективности мероприятий, направленных на поддержание плодородия и продуктивности сельскохозяйственного агроландшафта с учетом альтернативных схем севооборота (Топаж и др., 2015), в том числе в рамках ограничений и технологий системы органического земледелия;
- формирование и апробация стратегии проактивного управления продукционным процессом сельскохозяйственных посевов.

Однако практически все аналитики подчеркивают, что эпоха третьего поколения моделей подходит к логическому концу. На смену ей приходит новое, четвертое поколение динамических моделей агроэкосистемы. Востребованность будущих решений зависит от способности разработчиков

угадать верное направления развития. В частности, на берлинской конференции были озвучены следующие принципиальные моменты:

- Полноправным источником входной информации для динамических модельных расчетов должны стать данные дистанционного зондирования. Иначе говоря, такие традиционно внутренние (рассчитываемые) переменные модели, как листовой индекс, коэффициент проективного покрытия и даже степень обеспеченности растений азотным питанием, прямо или косвенно определяемые по вегетационным оптическим индексам, в скором будущем должны стать такими же обычными и обязательными входными данными для модели, как метеорологические параметры (температура или осадки). Это в корне меняет устоявшуюся парадигму имитационного моделирования в агроэкологии, перенося «центр тяжести» с совершенствования алгоритмов эволюционного оператора на процедуры динамической ассимиляции данных
- Процесс унификации интерфейсов компонентной модели и форматов входных и выходных данных должен достигнуть естественного завершения. Даже если в результате не будет создана единая, общепринятая в мировом масштабе система моделирования, то, по крайней мере, все оставшиеся на рынке модели будут приведены к единому стандарту информационного обеспечения. В настоящее время активно проводятся исследования по выработке подобных стандартов (White et al., 2013).
- Неизбежной оказывается теснейшая интеграция усилий специалистов в области компьютерного моделирования и исследователей в области создания новых сортов и линий растений (селекционеров и генных инженеров). Абсолютно новым и перспективным применением математических моделей физиологии растений становится создание и «экологическое сортоиспытание» в виртуальном информационном пространстве любых новых культур и сортов с заранее заданными

произвольными свойствами (Hoogenboom et al., 2004). Виртуальные компьютерные конструкции уже получили собственное название – «идеотипы» (по аналогии с фенотипами и генотипами реально существующих организмов). Быстрый и недорогостоящий анализ подобных «идеотипов» в режиме многофакторного компьютерного эксперимента может стать первым этапом любой селекционной работы, по результатам которой будет сформулировано «техническое задание» на получение конкретных характеристик реальных сортов и гибридов.

Многие ученые, выступавшие на берлинском конгрессе, обратили внимание тот факт, что компьютерное имитационное моделирование агроэкосистем после периода определенного регресса и идеологического кризиса обретает в последние годы своеобразное «второе дыхание». Это подтверждается, в частности, тем, что среди значительного количества участников симпозиума большинство составляли молодые исследователи со всех континентов. Новые задачи и перспективы развития уже вызвали заметный всплеск интереса к динамическим моделям продуктивности во всем мире. Вполне очевидно, что в скором времени данная тенденция неизбежно проявится и в России.

Список литературы

1. Баденко В. Л., Гарманов В. В., Иванов Д. А., Савченко А. Н., Топаж А. Г. 2015. Перспективы использования динамических моделей агроэкосистем в задачах средне- и долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства и землеустройства // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. № 1–2. С. 72–76.
2. Полуэктов Р. А., Топаж А. Г., Якушев В. П., Медведев С. А. 2012. Использование динамической модели агроэкосистемы для оценки влияния климатических изменений на продуктивность посевов (теория и реализация) // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. № 2. С. 7–12.
3. Топаж А. Г., Медведев С. А., Захарова Е. Т., Хлавинка П. 2015. Использование среды поливариантного анализа динамических моделей агроэкосистемы «АРЕХ» для среднесрочного планирования в агроэкологии // Системный анализ и моделирование экологических и экономических систем (САМЭС-2015). Ростов-на-Дону. С. 642–655.
4. Affholder F., Tittonell P., Corbeels M., Roux S., Motisi N., Tixier P., Wery J. 2012. Ad Hoc Modeling in Agronomy: What Have We Learned in the Last 15 Years? // Agronomy Journal, 104:735–748.
5. Boote K. J., Jones J. W., Pickering N. B. 1996. Potential uses and limitations of crop models // Agronomy Journal, 88:704–716.
6. Denisov V. V. 2001. Development of the Crop Simulation System DIASPORA // Agronomy Journal, 93:660–666.

7. Hartkamp A. D., White J. W., Hoogenboom G. 1999. Interfacing geographic information systems with agronomic modeling: A review // *Agronomy Journal*, 91:761–772.
8. Hoogenboom G., White J. W., Messina C. D. 2004. From genome to crop: Integration through simulation modeling // *Field Crops Research*, 90:145–163.
9. Keating B. A., Carberry P. S., Hammer G. L., Probert M. E., Robertson M. J., Holzworth D., Huth N. I., Hargreaves J. N. G., Meinke H., Hochman Z., McLean G., Verburg K., Snow V., Dimes J. P., Silburn M., Wang E., Brown S., Bristow K. L., Asseng S., Chapman S., McCown R. L., Freebairn D. M., Smith C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation // *European Journal of Agronomy*, 18:267–288.
10. Monteith J. L. 1996. The quest for balance in crop modelling // *Agronomy Journal*, 88:695–697.
11. Passioura J. B. 1996. Simulation models: Science, snake oil, education, or engineering? // *Agronomy Journal*, 88:690–694.
12. Poluektov R. A., Topaj A. G. 2001. Crop modeling: Nostalgia about present or reminiscence about future // *Agronomy Journal*, 93:653–659.
13. Sinclair T. M., Seligman N. G. 1996. Crop modelling: From infancy to maturity // *Agronomy Journal*, 88:698–704.
14. Sirotenko O. D. 2001. Crop modeling // *Agronomy Journal*, 93:650–653.
15. White J. W., Hunt L. A., Boote K. J., Jones J. W., Koo J., Kim S., Porter C. H., Wilkens P. W., Hoogenboom G. 2013. Integrated Description of Agricultural Field Experiments and Production: the ICASA Version 2.0 Data Standards // *Computers and Electronics in Agriculture*, 96:1–12.

НАУКОЕМКОЕ ПРОИЗВОДСТВО РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ: ОСНОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Г. Г. Панова, О. Р. Удалова, И. Н. Черноусов, Е. В. Канаш, А. А. Кочетов,
А. В. Александров, Л. М. Аникина

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

Создание высокопродуктивного агрофитоценоза в регулируемых условиях растениеводства защищенного грунта, функционирующего на основе бесперебойного снабжения растений питанием и энергией и обеспечивающего получение растительной продукции с заданными качественными и функциональными характеристиками невозможно без знаний физиологических особенностей роста и развития, продукционного и адаптационного потенциала выращиваемой культуры, контроля и оптимизации среды обитания растений,

ISBN 978-5-905200-32-8



Материалы Всероссийской научной конференции
(с международным участием)
**«Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от
теоретической модели к практике прецизионного управления»**
Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2016 г.

Редактор: О. А. Агеенкова

Технический редактор: А. Ю. Цивилев

Подписано в печать 23.11.2016.

Подготовлено к печати в ФГБНУ АФИ
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14.