

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ AGROTOOL

В. Л. Баденко, Г. В. Баденко, В. В. Терлеев, Н. К. Латышев

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Политехническая ул., д.29, Санкт-Петербург, 195251

E-mail: vbadenko@gmail.com

Поступила в редакцию 25 августа 2010 г., принята к печати 30 августа 2011 г.

В работе предложен и программно реализован метод информационного сопряжения динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных растений и пространственно распределенной базы данных. Представлены результаты апробации на примере системы имитационного моделирования Agrotool, интегрированной с геоинформационной системой сельхозпредприятия.

Ключевые слова: геоинформационная система, моделирование продукционного процесса растений, система информационно-аналитической поддержки.

ВВЕДЕНИЕ

Не вызывает сомнения, что рациональное использование ресурсов агроландшафта требует адекватной информационно-аналитической поддержки (Якушев, Якушев, 2008). Примеры существующих разработок, как правило, реализованы в виде программных комплексов в среде географических информационных систем (ГИС) (Баденко и др., 2009). Однако в базовом программном обеспечении ГИС опция разработки каких-либо агротехнологий не предусмотрена (Баденко, Слинчук, 2004). В качестве одного из способов решения данной проблемы может быть предложена интеграция ГИС и динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных растений. Следует отметить, что в настоящее время в качестве синонимов широко используются термины «интеграция моделей с ГИС», а также «интеграция моделей в ГИС» или «в среду ГИС». При этом подразумевается установление некой связи между моделями и средой ГИС. Терминологические особенности связаны с тем, что тематика интеграции моделей и ГИС относительно нова.

В работе предложен метод интеграции динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных культур и ГИС. Разработано специализированное программное обеспечение, дающее возможность интеграции ГИС и системы имитационного моделирования Agrotool (Полуэктов и др. 2006). Представлены результаты апробации

на примере ГИС Меньковской опытной станции Агрофизического института.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом изучения является сельскохозяйственное поле, которое рассматривается как антропогенная экосистема, в которой осуществляется аграрное производство. Процессы и явления в агроэкосистеме, представляющие собой совокупность превращений минеральных компонентов в растительную биомассу, называют продукционным процессом растений (Полуэктов и др. 2000). Следует отметить, что информационно-аналитические системы, используемые для поддержки агротехнологий, с одной стороны, требуют использования ГИС-технологий, а с другой стороны, – математических моделей, которые описывают состояние и развитие процессов, протекающих на сельскохозяйственном поле и, в первую очередь, – продукционного процесса растений. В этой связи наиболее удобной является классификация моделей по возможному способу их интеграции (или организации связи) с ГИС. Классификацию предлагается проводить следующим образом: полностью интегрированные с ГИС; связанные через входные/выходные параметры; слабо ассоциированные с ГИС (Баденко, Осипов, 1998).

Будем считать, что база данных ГИС состоит из объектов, рассматриваемых как тройка: $O = \{id, pos, att\}$. Тем самым подчеркивается, что объекты имеют пространственную – *pos* – и атрибутивную – *att* – составляющие, что является главной отличии-

тельной чертой ГИС-технологий. Эти две составляющиеся, при использовании георегиональной схемы организации базы данных, связываются через идентификатор *id* (Королев, 1998). В этом случае моделируемые объекты будем представлять как набор:

$$O_1=\{id_1, pos_1, att_1\}, O_2=\{id_2, pos_2, att_2\}, \dots, O_N=\{id_N, pos_N, att_N\}. \quad (1)$$

Следовательно, в самом общем виде интеграцию модели и ГИС можно рассматривать как процесс комбинирования входного набора объектов O_i для получения нового объекта O_{NEW} :

$$O_{NEW} = f(O_1, O_2, \dots, O_N), \quad (2)$$

где f - функция, которая описана моделью, интегрированной в ГИС-среду.

Рассмотрим возможные метод построения новых объектов O_{NEW} , а также их характеристику. Для новых объектов следует определить, как будут формироваться пространственные – *pos* – и атрибутивные – *att* – составляющие исходных объектов. Методологию интеграции моделей и ГИС следует согласовывать с основными этапами «жизненного цикла» информационно-аналитических систем, создаваемых в ГИС-среде (Арефьев и др., 2010). Модели, которые предполагается интегрировать с ГИС, должны быть выбраны уже на первом этапе «жизненного цикла» – этапе анализа требований пользователя. Поэтому методология предусматривает предварительный анализ информации об объектах $O=\{id, pos, att\}$, которые представляют изучаемую агроэкосистему, и предположений модели, интегрируемой с ГИС (Якушев и др., 1999). При этом рассматриваются свойства и особенности модели и объектов $O=\{id, pos, att\}$ для согласования структуры базы данных ГИС со спецификациями входных и выходных данных модели, интегрируемой с ГИС. Также необходимо принимать во внимание те исходные (физические, химические, экологические и др.) предпосылки, на которых основана формулировка модели, например, ограничения на диапазон значений для параметров модели и другие. Процесс подобного сравнительного анализа должен включать следующие процедуры:

- согласование структуры и состава имеющейся в базе данных ГИС информации об агроэкосистеме со спецификациями входных данных, необходимых для выполнения расчетов по модели, а также выходных данных модели;
- адаптация и согласование структуры и состава объектов $O=\{id, pos, att\}$ с входными и выходными данными модели;
- выбор метода интеграции модели в ГИС-среду.

Целью сравнительного анализа объектов $O=\{id, pos, att\}$ и требований к данным интегрируемых с ГИС моделей является, в первую очередь, определение соответствия состава $\{att\}$ в базе данных ГИС тем данным, которые необходимы для работы модели, а также соответствия требований модели к свойствам объектов $O=\{id, pos, att\}$. При этом следует учитывать, что многие модели, которые успешно применяются на практике при обосновании агротехнологий, имеют структуру, для которой характерно использование уравнений с одной локальной пространственной координатой, чаще всего – вертикальной. Другие координаты, например широта и долгота местности, а также ее высота над уровнем моря, используются как параметры. Такие модели будем называть точечными. Для подобных моделей обычным объектом исследования является определенный участок территории, например – сельскохозяйственное поле. Успешное использование для данных объектов подобных упрощенных моделей связано с тем, что размеры расчетной области (в общей 3-х мерной постановке) по горизонтальной координате (например, x) могут быть порядка нескольких сотен метров, а по вертикальной (z) – около одного метра. Следовательно, относительные размеры расчетной области будут $z/x \ll 0,01$. Поэтому применяются физически обоснованные упрощения формулировки задачи. Например, это может быть предположение о независимости решения от горизонтальных координат.

Таким образом, при интеграции в среду ГИС точечных моделей построение объектов O_{NEW} из (2) предлагается проводить в два этапа. Сначала формируется графическая часть объектов, а потом для данных объектов вычисляются атрибуты в результате модели-

рования. Для согласования структуры моделей и ГИС в общем случае перед использованием модели в ГИС-среде необходима трансформация существующих (исходных) объектов $O_I = \{id, pos, att\}$ для исследуемой территории в объекты $O_M = \{id, pos, att\}$, необходимые для работы модели:

$$O_I = \{id, pos, att\} \rightarrow O_M = \{id, pos, att\}. \quad (3)$$

В данном случае в правой части (2) аргументом является только один объект - O_M . Трансформация (3) заключается в том, чтобы вся изучаемая территория была разделена на однородные в некотором смысле области (участки) - $O_M = \{id, pos, att\}$. В нашем случае создание O_M определяется как особенностями конкретной модели, так и масштабом исследования. Требования к O_M определяются тем, что применение модели обосновано при условии, что O_M - объекты моделирования - являются однородными. Поэтому главный принцип, на котором должно основываться включение моделей в ГИС, следует сформулировать так: набор объектов из базы данных ГИС, описывающий свойства территории, должен быть преобразован в соответствующую пространственно-однородную структуру. В процессе преобразования необходимо принимать во внимание то, что при расчетах по точечным моделям O_M интерпретируются как изолированные друг от друга участки, а внутри O_M нет зон, где могли бы быть пограничные влияния.

Кроме специфических для области исследования способов дифференциации территории для построения объектов $O_M = \{id, pos, att\}$ могут быть использованы различные операции оверлея в ГИС (Арефьев и др., 2010). При реализации данного способа построения O_M для каждого фактора строятся соответствующие площадные объекты (ареалы) с одинаковыми значениями из $\{att\}$. Используя в ГИС операцию оверлея подобных площадных объектов, характеризующих однородность территории, можно получить представление дифференциации территории на однородные участки в виде объектов $O_M = \{id, pos, att\}$ при любом наборе факторов - элементов $\{att\}$, необходимых для проведения вычислений по модели. Также следует учитывать, что часть значений параметров, необходимых для работы модели,

может быть получена на основе графической части базы данных ГИС - $\{pos\}$ (экспозиция склонов, наклон поверхности и т.п.), а часть - на основе атрибутивной - $\{att\}$ (физические свойства почвы и т.п.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим применение предложенных методов для интеграции ГИС и системы имитационного моделирования Agrotool, объединяющей семейство динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Данная система разрабатывается более 30 лет и успешно применяется для описания фенологического развития растений и прогнозирования величины урожая (Полуэктов и др., 2006). Для интеграции уже готовых моделей, которые имели вид DLL-библиотек, и ГИС на основе метода, изложенного выше, формируются объекты моделирования. Входящие в Agrotool модели являются точечными, поэтому необходима трансформация (3), что соответствует общей идеологии современных технологий земледелия, которая предполагает разделение поля на квазиоднородные участки - единицы управления - и адаптацию агротехнологий для каждого из таких участков (Баденко и др., 2009). В монографии Полуэктова и соавторов (2006) алгоритмическая реализация модели продукционного процесса растений рассматривается как рекуррентный пошаговый пересчет вектора состояния динамических характеристик агроэкосистемы. Если $x(k)$ - вектор переменных состояния системы на k -м шаге, то модель эквивалентна определению эволюционного оператора f :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= f(x(k), a, w(k), u(k)) \\ x(0) &= x_0, \quad k = 0, 1, \dots, T-1, \end{aligned} \quad (4)$$

где k - номер шага счета, $x(k)$, $x(k+1)$ - векторы состояния модели на двух соседних шагах, a - вектор статических параметров модели, $w(k)$ - вектор неконтролируемых внешних воздействий (погода), $u(k)$ - вектор управляющих воздействий (агротехника), x_0 - начальное условие. Здесь T - время окончания процесса моделирования, обычно совпадающее с днем уборки урожая. Расчет по модели производится путем многократного применения оператора f к вектору начального состояния и наблюдения эволюции агроэкосистемы во времени. Для работы моде-

ли необходимо задать значения вектора параметров a , которые обычно варьируют по площади сельскохозяйственного поля (агроэкосистемы) и определяют границы объектов моделирования $O_M = \{id, pos, att\}$, являющихся единицами управления агротехнологий. Согласно изложенному выше методу, значения вектора параметров a извлекаются из пространственной базы данных ГИС, куда также помещаются результаты расчетов по модели для дальнейшего анализа и использования при совершенствовании агротехнологий.

Предлагаемый авторами метод использования ГИС для обоснования и информационно-аналитической поддержки адаптивно-ландшафтных систем земледелия предполагает следующую последовательность: решение информационно-справочных задач, осуществление пространственного анализа, моделирование в ГИС-среде, а также принятие решений (Баденко и др., 2004.). На первом этапе осуществляется построение пространственной базы данных ГИС, в том числе с использованием данных дистанционного зондирования (Сурин и др., 2007). Для сельскохозяйственных полей эта база данных достаточно полно отражает вариабельность почвенных характеристик. В базе данных ГИС выделяются $O_M = \{id, pos, att\}$ - однородные относительно $\{att\}$ участки сельскохозяйственного поля. Следует отметить, что для определения агрохимических показате-

лей отбор образцов обычно производится из пахотного горизонта почвы и является менее трудоемким процессом по сравнению с определением гидрофизических характеристик почвенных образцов, отбираемых из всего почвенного профиля до глубины 1 м и более (Баденко и др., 2011). Поэтому в ГИС-среду также интегрируется комплекс программ Агрогидрология (Полуэктов, Терлеев, 2005), а также специальные алгоритмы пространственного анализа, что позволяет определять гидрофизические показатели с требуемой дискретностью по глубине почвенного профиля и площади сельскохозяйственного поля.

На рисунке представлен диалог при запуске Agrotool в среде MapInfo, а также структура базы данных ГИС. Пользователь выбирает точку для расчета, затем на основе анализа графической и атрибутивной составляющих существующих объектов (отчет отбора образцов) вычисляет параметры, необходимые для работы Agrotool (показаны на рисунке в окне «Информация»). В результате реализации представленного метода интеграции ГИС и системы имитационного моделирования Agrotool создан инструмент для проведения экспериментов с моделями, который позволяет подбирать эффективные агротехнологии, адаптированные, в частности, к вариабельности как агрохимических, так и агрофизических показателей сельскохозяйственного поля.

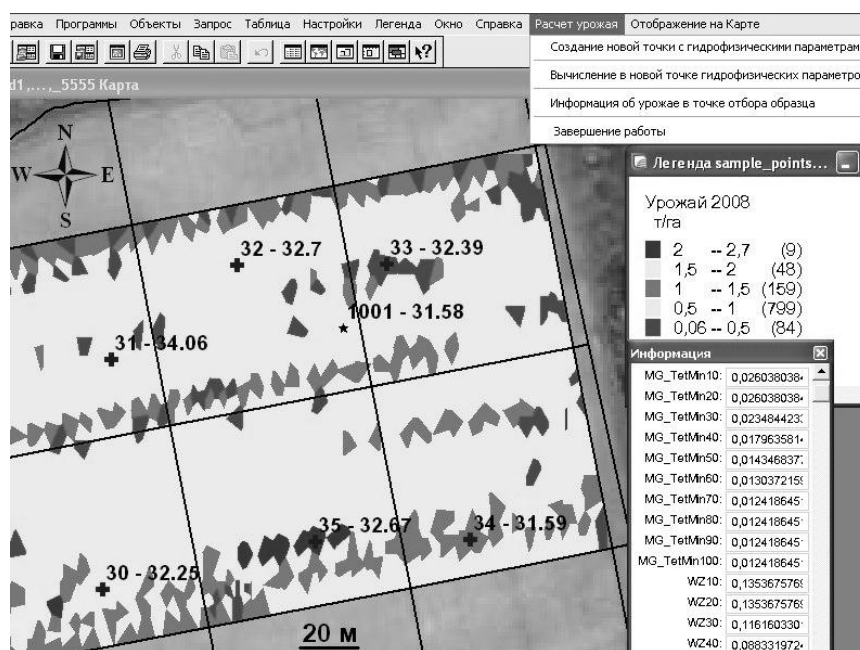


Рис. Диалог при запуске Agrotool в среде MapInfo и структура базы данных ГИС.

ВЫВОДЫ

В динамических моделях продукционного процесса агроэкосистем аккумулируются знания о росте и развитии сельскохозяйственных растений. Однако существуют определенные затруднения при включении подобных моделей в информационно-аналитические системы для поддержки агро-технологических решений. Данные затруднения связаны с неоднородностью условий роста и развития растений на сельскохозяйственном поле, что требует создания пространственно-распределенной базы данных и использования полученной информации при моделировании. Решение соответствующих научно-технических задач следует искать, в том числе, на основе интеграции моделей и технологий ГИС.

Результаты апробации метода интеграции ГИС и моделей продукционного процесса сельскохозяйственных культур позволяют сделать обоснованные выводы о его преимуществах и ясных перспективах практиче-

ского использования для земледелия. Перспективы практического использования Agrootool определяются возможностью интеграции с информационно-аналитическими системами через ГИС-среду, что позволяет эффективно обосновать агротехнические мероприятия и достоверно оценивать сроки их проведения. Кроме того, интеграция ГИС и комплекса программ Агрогидрология позволяет получать в базе данных ГИС количественные оценки агрофизических показателей. Данные показатели имеют большое практическое значение для разработки соответствующей агротехнологии. К их числу относятся, например: влажность «физически спелой» почвы (при которой механическая обработка почвы максимально эффективна); величина доступной влаги; пористость почвы; коэффициент фильтрации; а также поток почвенной влаги в грунтовые воды с учетом содержания в ней растворенных веществ, в том числе – агрохимикатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арефьев Н.В., Баденко В. Л., Латышев Н. К. 2010. Геоэкологические подходы к разработке информационно-аналитических систем для гидромелиоративного строительства и природообустройства. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 4: 205-211.
- Баденко В. Л., Осипов Г. К. 1998. Моделирование природно-аграрных систем. Научно-технические ведомости СПбГТУ. 4(14):32-35.
- Баденко В. Л., Слинчук С. Г. 2004. Геоинформационные технологии для точного земледелия: опыт внедрения на Северо-Западе России. ArcReview. 2(29): 5-6.
- Баденко В. Л., Латышев Н. К., Слинчук С. Г. 2009. Особенности геоинформационного обеспечения технологий точного земледелия. Информация и космос. 4: 53-58.
- Баденко В. Л., Терлеев В. В., Латышев Н. К., Крылова И. Ю., Муравьева Л. С. 2011. Агрофизические исследования почвы для технологий точного земледелия: постановка задачи и метод. Плодородие. 1: 29-31.
- Королев Ю. К. 1998. Модели данных геоинформационных систем. Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2(14): 70-73.
- Полуэктов Р. А., Терлеев В. В. 2005. Моделирование водоудерживающей способности почвы с использованием агрогидрологических характеристик. Метеорология и гидрология. 12:98-103.
- Полуэктов Р. А., Опарина И. В., Топаж А. Г., Миршель В. 2000. Адаптируемость динамических моделей агро-экосистем к различным почвенно-климатическим условиям. Математическое моделирование. 11: 3–16.
- Полуэктов Р. А., Смоляр Э. И., Терлеев В. В., Топаж А. Г. 2006. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд. СПбГУ, Санкт-Петербург.
- Сурина В. Г., Баденко В. Л., Слинчук С. Г. 2007. Исследование возможностей использования наземных спектрофотометрических измерений для развития агрономических технологий. Исследование Земли из космоса. 2: 89-96
- Якушев В. П., Куртнер Д. А., Арефьев Н. В., Баденко В. Л., Химин Н. М., Прокофьева Т. И., Швецова Л. К. 1999. Применение геоинформационных систем в агрофизике. Доклады РАСХН. 2: 52-54.
- Якушев В. П., Якушев В. В. 2008. Математические модели и методы реализации информационно-технологических приемов в точном земледелии. Доклады РАСХН. 4: 56-59.