

УДК 631.6: 626.86

**ОПТИМИЗАЦИЯ АГРОПРОИЗВОДСТВА
НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ С УЧЕТОМ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ
ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ**

Н.К. Вахонин, кандидат технических наук
(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

В условиях рыночных отношений в производственной деятельности главной проблемой является принятие экономически обоснованных решений при его организации, планировании, проектировании, управлении. Особенно это актуально для сельскохозяйственного производства, осуществление которого сопряжено со значительными материало- и энергозатратами. В соответствии с этим выбор неоптимальных решений приводит к неоправданным издержкам, которые не могут быть компенсированы применением интенсивных технологий, техники и т.д.

Так как продуктивность сельскохозяйственных культур зависит от большого числа регулируемых и нерегулируемых показателей (является функцией, причем не аддитивной, многих переменных), то при оптимизации агросистем должны оцениваться альтернативы (вложение средств), определяющие их величину (водный, пищевой и др. режимы) и, соответственно, доходы. Одной из наиболее сильно влияющих на урожайность культур регулируемых характеристик является водный режим почвы. В сравнении с автоморфными почвами оптимизация растениеводства на избыточно увлажненных почвах является более общей задачей, так как помимо одинаковых для обоих случаев подсистем («почва» и «сельскохозяйственная растительность») на мелиорируемых землях дополнительно имеется тесно связанная с ними прямыми и обратными связями подсистема «мелиоративная сеть». В частном случае автоморфных почв (т.е. отсутствия необходимости регулирования водного режима) подсистема «мелиоративная сеть» и

соответствующие ей альтернативы отсутствуют, что уменьшает число возможных альтернатив и, соответственно, упрощает задачу.

Очевидно, что при оптимизации растениеводства в целом мелиорированные и автоморфные почвы (от отдельного хозяйства до республики) должны рассматриваться в качестве составляющих единой задачи (обеспечение получения суммарного объема необходимой растениеводческой продукции при минимальных затратах).

При первоначальном создании в условиях достаточных ресурсов и рынка сбыта сельскохозяйственной продукции мелиоративные системы проектировались на обеспечение максимальной продуктивности (дохода), т.е. на условие максимального технического совершенства, обеспечивающего оптимальный водный режим по условиям осушения, а на системах двустороннего действия – и осушения, и увлажнения. При этом активная природоизменяющая стратегия ориентировала на проектирование систем, обеспечивающих требуемые условия осушения во всех, в том числе в самых напряженных точках, находящихся в локальных понижениях рельефа со слабоводопроницаемыми почвами, что требовало больших затрат и вело к переосушению на остальной территории. Фактически, с учетом «коэффициентов запаса», в особенности на осушение, мелиоративные системы в большинстве случаев реализовывались универсальными для обеспечения условий всех, в том числе самых требовательных культур, что давало возможность свободы маневра в сельхозиспользовании в значительной мере независимо от водного режима, ориентируясь на хозяйственную специализацию конкретных хозяйств. При этом установленное нормативно при проектировании мелиоративных систем использование мелиорированных земель оставалось неизменным на всем протяжении осуществления на них сельскохозяйственного производства, так как посредством нормативно-планово осуществлявшихся эксплуатации и реконструкции на системах поддерживались первоначально запроектированные параметры и, соответственно, водный режим.

В условиях ограниченных ресурсов и связанной с этим недостаточной эксплуатации и практически прекратившейся реконст-

рукции в последнее десятилетие происходила ускоренная деградация мелиоративных систем. Учитывая, что 60 % систем построены более 20 лет назад, к настоящему времени в связи с заилением и зарастанием открытой осушительной, проводящей сети и водоприемников, заилением и разрушением линий закрытого дренажа, их параметры значительно изменились в сравнении с первоначально построенными. Разрушение же водоподпорных сооружений и выход из строя насосно-силового оборудования фактически приводит к изменению даже типа систем: от активно к пассивно-управляемым и далее к чисто осушительным.

Однако несоответствие сложившихся в настоящее время параметров систем параметрам, имевшим место при первоначальном строительстве, не является критерием необходимости реконструкции мелиоративных систем, а тем более их восстановления до первоначального уровня (что является капитальным ремонтом, а не реконструкцией, предполагающей перепроектирование структуры и параметров систем) [1].

Прежде всего, это связано с тем, что параметры систем при первоначальном строительстве были приняты с большими коэффициентами запаса даже в соответствии с прежними нормативами проектирования, что несколько замедлило проявление влияния процесса деградации мелиоративных систем. К тому же «коэффициенты запаса» на осушение в действительности оказались еще большими из-за того, что после создания систем и возрастания в связи с этим аккумулялирующей емкости почвы происходит снижение расчетных значений расходов и уровней критических периодов, принимавшихся при первоначальном проектировании. В частности, параметры конструктивно принимавшихся каналов, как правило, на 0,3÷0,7 м и более превышали глубины, требуемые по гидравлическому расчету. Поэтому при заилении на 30-50 см каналов 1,7÷2,5-метровой глубины с устоявшимися откосами во многих случаях их целесообразно не трогать.

Однако самым главным при оценке необходимости и вида трансформации является то, что в изменившихся экономических

условиях принципиально другой является сама концептуальная основа оптимизации решений на ранее мелиорированных землях: главной целью является не максимум урожая, а вектор целей: максимум доходов при минимуме затрат и максимизации охраны природы, т.е. производство ликвидных объемов продукции [1, 2]. При этом в различных конкретных задачах указанные цели могут модифицироваться и выступать в виде ограничений (вместо минимума затрат – ограничение на имеющиеся ресурсы, максимизация охраны природы – в форме ограничений на параметры по экологическим соображениям), в результате чего задачи, оставаясь многокритериальными, могут иметь вид безусловной и условной оптимизации различного типа.

В связи с вышеизложенным очевидно, что отнесение к нуждающимся в реконструкции всех систем на площади 600-700 тыс. га, на которых по инвентаризации концерна Белмелиоводхоза отмечено изменение параметров, является необоснованным и представляется значительно завышенным, в особенности, в части открытой проводящей и регулирующей сети.

При этом особое обоснование необходимости реконструкции требуется на малоплодородных землях, а тем более в хозяйствах, не отличающихся эффективным производством, где оно может мотивироваться только целями социального уровня.

Следует отметить, что для экономии средств реконструкцию целесообразно осуществлять не для системы вообще, а исключительно действительно износившихся и являющихся лимитирующими подсистем и элементов с минимальным вмешательством в находящиеся в исправном состоянии системы.

Очевидно, что наиболее эффективные, удовлетворяющие сформулированным выше целям решения по трансформации систем имеют место, если анализ на удовлетворение им и выбор альтернатив осуществляется согласованно во всех подсистемах: активных стратегий по реконструкции систем (варианты структуры и параметров в подсистеме МС) и адаптивных стратегий (альтернативные варианты структуры и интенсивности сельскохозяйственного использования в подсистемах МП и СХР), ориен-

тированных на водный режим, формируемый при нынешнем состоянии мелиоративной сети, а также имеющиеся производственно-финансовые условия хозяйства-землепользователя, возможные объемы реализации продукции при сложившемся паритете цен [1].

При этом анализ альтернативных вариантов должен осуществляться с учетом взаимосвязей, представленных на рис. 1.



Рис. 1. Взаимосвязь процессов, определяющих эффективность принимаемых решений

Следует отметить, что рассматриваемая задача оптимального распределения ресурсов может решаться для пространственных юнитов различного уровня крупности, начиная с непрерывно учитываемых точек (в действительности определение показателей и их регулирование все равно может реализоваться с некоторым пространственно-временным дискретом), примером чего является осуществляемое в западных странах так называемое «прецизионное» (точечное) земледелие.

В современных условиях агропроизводства на мелиорированных землях в Беларуси при оптимизации реконструкции и сельскохозяйственного использования реальным является принятие в качестве минимального дискрета отдельного поля севооборота. На мелиорированных землях оно обычно имеет естественно-физические границы – окаймляющие каналы проводящей и регу-

лирующей сети. Формально более обоснованным является выделение в качестве юнита не поля между каналами, а двух полуполей по обе стороны от каждого канала, представляющих собой одно поле регулирования водного режима. Однако при обычно имеющемся однотипном управлении водным режимом на соседних водотоках этим можно пренебрегать. Приняв в качестве отдельного объекта поле, моделирование водного режима и формирование урожая тем не менее необходимо осуществлять с дискретизацией пространственно-распределенных параметров, обеспечивающей необходимую точность расчетов, по результатам которых интегрированием по площади находится суммарный урожай (доход) для каждого поля в целом, на основании чего оптимизируется распределение средств между ними. При очень больших полях с резко различающимися свойствами при необходимости для оптимизации могут выделяться отдельные характерные участки.

Аналогичная задача имеет место при оптимизации систем все более общего иерархического уровня по административно-хозяйственному принципу: отдельное хозяйство – район – область – республика. В соответствии с этим оптимизация агросектора должна осуществляться посредством решения набора взаимосвязанных локальных и координирующих задач различного уровня общности на нескольких иерархических уровнях управления (усложнение задачи «по вертикали») при учете различного числа оптимизируемых компонент: только агропроизводство → агропроизводство + животноводство → то же + переработка и т.д. (усложнение по «горизонтали»).

Из вышеизложенного очевидно, что структура информационного обеспечения, создаваемая для системы оптимизации агропроизводства, должна обеспечивать учет пространственной распределенности характеристик, определяющих урожайность и экологическое состояние в задачах различного уровня общности.

Мелиорированные сельскохозяйственные объекты (МСХО) являются пространственно-распределенными системами во всех подсистемах: *мелиорируемая почва, сельскохозяйственная растительность, мелиоративная сеть, изменяемая окружающая сре-*

да, распределенность характеристик имеет площадной характер по всей рассматриваемой территории.

При этом распределенными по площади являются параметры объекта (рельеф, гидрогеологическое строение, тип почв, их водно-физические, агрохимические показатели и т.п.) и входные воздействия (осадки, температура и т.п.). Это порождает пространственную распределенность протекающих процессов, т.е. переменных состояния, характеризующих водный, пищевой, химический и др. режимы, в результате чего распределенными по площади оказываются выходные воздействия: урожайности сельскохозяйственных культур и показатели экологического состояния.

Для осуществления эффективного сельскохозяйственного производства при принятии решений вышеуказанная распределенность характеристик должна учитываться как при выборе активных стратегий – регулирования факторов не равномерно, а по зонам (расчет параметров МС в соответствии с распределенностью водно-физических характеристик полей, внесение удобрений в соответствии с недостатком данного элемента по каждому полю), так и адаптивных стратегий – размещения сельскохозяйственных культур в соответствии с имеющимся набором условий на каждом конкретном поле [1, 2].

Непосредственные значения показателей обычно известны только в ограниченном числе точек, в которых осуществляются измерения параметров и процессов или их численный расчет, число которых должно определяться необходимой точностью интерполяции (на практике обычно определяется эвристически и ограничено наличием средств на осуществление).

Места расположения точек выбираются либо равномерно, либо со сгущением в местах резкого изменения показателя. В общем случае точки непосредственных измерений представляют собой нерегулярный набор (нерегулярный grid). При расчете на модели значения показателя, в зависимости от используемого численного метода, получаются или в узлах прямоугольной сетки, или сети триангуляции, что соответствует растровому и TIN представлению в геоинформационных системах (ArcView, ArcInfo и др.).

Для эффективного использования в вышеуказанных задачах оптимизации различного уровня общности создаваемая структура информационного обеспечения по пространственно распределенным показателям должна удовлетворять главному требованию – основываться на хранении непосредственно первичных данных в точках измерений (изысканий, обследований, мониторинга).

При этом для моделей формирования водного режима и урожая на основе этих нерегулярных точек интерполяцией должны рассчитываться значения пространственно-распределенного показателя на регулярной сетке.

Так как вышеупомянутые характеристики представляют собой непрерывно распределенные поля, а измерения имеются лишь в ограниченном в пространстве числе точек, то в математическом отношении проблема представляет собой задачу восстановления поверхности по точечным значениям показателя. При этом, в связи с дискретным характером численных расчетов на компьютере, поверхность показателя определяется в дискретных узлах (ячейках) регулярной квадратной сетки – растровой матрицы или узла сети триангуляции с необходимым заданным шагом.

В зависимости от детальности моделей полученные регулярные наборы данных могут использоваться непосредственно или в зонированном виде.

Для задач более общего иерархического уровня информационная система должна обеспечивать агрегирование непрерывно пространственно распределенных данных до объектов с сосредоточенными параметрами любой необходимой крупности: полей севооборота – хозяйств – районов и т.п., для осуществления чего и необходимо хранение исходных данных точечных наблюдений.

Осуществление вышеуказанных процедур целесообразно реализовывать средствами геоинформационной системы. Поэтому хранение пространственно распределенных данных должно осуществляться в ГИС, интеграция которых со специальной базой данных временных рядов обеспечивает эффективную структуру информационного обеспечения для задач оптимизации агропроизводства [2].

Технически в ГИС хранение и обработка пространственных

данных реализуется следующим образом. Создается точечная тема точек осуществления наблюдения рассматриваемого показателя. Возможны случаи, когда измеряемый пространственно-распределенный параметр сразу агрегирован – параметры сосредоточены до линейного или площадного объекта. Тогда создается тема соответственно линейных или площадных объектов. Если точки наблюдений различных показателей не совпадают, то по каждому из них создается своя точечная тема. Векторный слой точек наблюдений может создаваться различными имеющимися в ГИС способами в зависимости от вида имеющейся по нему информации. При наличии таблицы координат X, Y точек осуществления измерений, полученных в результате наземной или GPS-съемки, он может быть создан в виде темы событий.

При часто используемом графическом представлении точек измерений (точки отбора проб по турам агрохимических и почвенных обследований, места расположения колодцев УГВ и т.п.) на планах и картах целесообразно создавать точечные слои путем векторизации, используя в качестве растровой подложки отсканированные планы и карты. Возможно также занесение в ГИС точек измерений, откладывая измеренные расстояния от уже имеющихся характерных объектов, используемых в качестве относительной системы координат (маршрутов). Наиболее удобна такая привязка относительно регулярной сети мелиоративных каналов.

В атрибутивной таблице темы создаются поля имен точек и видов наблюдаемых в них показателей. Осуществляется заполнение таблиц каждой темы соответствующими результатами замеров (расчетов) показателя. Так как это обычно большие объемы информации, то, если они уже были введены в других форматах, для исключения повторного ручного ввода целесообразна их конвертация в формат dbf-таблиц, которые могут быть связаны или объединены с таблицей точечной темы специальной процедурой ГИС. По результатам замеров атрибута в нерегулярных точках, используя соответствующую колонку таблицы одним из методов интерполяции, наиболее соответствующим обрабатываемому показателю (IDW, Splain,

Kriging, и т. д.) создается регулярный грид с необходимой частотой сетки. При этом из физических соображений могут быть назначены границы для точек, которые будут приниматься в расчет при интерполяции (к примеру, линии каналов при интерполировании отметок УГВ являются границами, определяющими для использования в расчетах только те колодцы, которые находятся на данном поле осушения). Точность интерполяции определяется густотой исходных точек измерений и резко снижается для площадей, для которых осуществляется экстраполяция. Аналогично интерполяция может быть построена, используя сеть триангуляции (TIN).

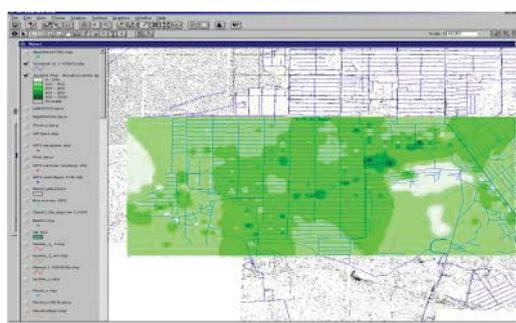
Используя полученную матрицу интерполированного показателя, можно средствами ГИС осуществить его зонирование с разбиением на классы, используя различные методы классификации (естественных границ, квантилей, стандартных отклонений, равных интервалов) с соответствующей их визуализацией. Для удобства совместного анализа интерполяцию различных показателей следует осуществлять для одного экстенда и с одним шагом сетки.

При необходимости результаты интерполяции могут быть также преобразованы и представлены в виде линейной темы: линий равного уровня (горизонталей, гидроизогипс и т.п.) или трехмерной поверхности.

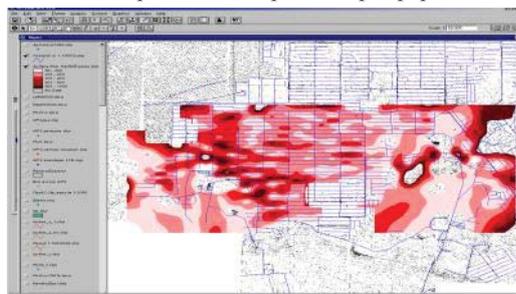
Для случая построения УГВ не в отметках, а в глубинах залегания кроме матрицы отметок УГВ необходимо построение матрицы рельефа поверхности земли, возможные способы увеличения точности получения которой, требуемой для данной задачи, приведены в [2]. Зоны с различными глубинами залегания УГВ (глубинами затопления при выходе воды на поверхность) определяются пересечением поверхности УГВ и поверхности земли и находятся путем вычитания матрицы УГВ и матрицы рельефа.

Вычитанием матриц одного показателя, но на разные временные моменты может быть определен баланс его изменения за данный промежуток времени.

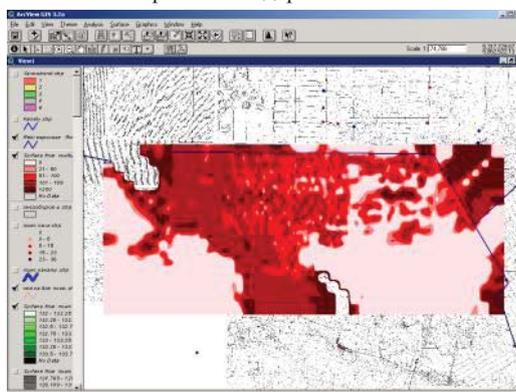
По исходному набору отметок поверхности в точках, помимо матрицы рельефа средствами ГИС легко получить и другие харак-



Зонирование содержания фосфора



Зонирование содержания калия



Зонирование мощности торфа

Рис. 2. Зонирование показателей, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур и экологию по полям севооборотов колхоза «Советский» (объект «Верховье Ясельды»)

теристики поверхности земли: матрицы уклонов, ориентации по сторонам света, освещенности по ячейкам выбранного размера, которые должны учитываться при определении урожайности культур и экологического состояния полей (возможность водной эрозии).

Наложением тем по различным показателям может быть осуществлено комплексное их зонирование либо в количественной шкале, либо с переклассификацией в шкалу наименований. В последнем случае, используя весовые коэффициенты различных показателей, может быть осуществлена их свертка к единому комплексному (однако условному) показателю продуктивности.

Наложение растровых слоев различных показателей на площадной слой полей севооборота позволяет определить для каждого из них агрегированные значения показателей, определяющих продуктивность и экологическое состояние.

Аналогичным образом агрегирование различных показателей может быть проведено до любого все большего уровня крупности пространственных объектов (хозяйство, район, область и т.д.), необходимых для решения задач оптимизации более общего уровня иерархии.

В соответствии с вышеизложенным, используя данные точечных замеров: агрохимических характеристик по турам агрохимических обследований, глубин залегания торфа по турам почвенных обследований и других характеристик, для колхоза «Советский» на мелиорированных землях верховья р. Ясельда средствами ГИС (модуль Spatial Analyst ArcView) осуществлено построение растровых слоев и зонирование различных, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур и экологию, показателей, некоторые из которых приведены на рис. 2. Результаты осуществленного комплексного зонирования являются основой для эффективного распределения ограниченных ресурсов между полями севооборота при выборе вариантов реконструкции и сельскохозяйственного использования.

Литература

1. Вахонин Н.К. Мониторинг как информационное обеспечение принятия экономико-экологически эффективных решений на мелиорированных

- землях. // Мелиорация переувлажненных земель. Сб. научных работ БелНИИМил. Т. XLVIII. – 2001. – С. 61-81.
2. Вахонин Н.К. Геореляционная организация данных результатов мониторинга водосборов для принятия решений на немелиорированных землях. //Современные проблемы сельскохозяйственной мелиорации: Докл. Межд.науч.-практ. конф. Минск, Беларусь, 29-30 мая 2001. – Мн.: БелНИИМил, 2001. – С. 41-50.

Резюме

Рассмотрена проблема создания системы принятия решений по агропроизводству на мелиорированных землях. Проведен анализ составляющих ее компонент: вида задачи оптимизации для согласованного выбора вариантов реконструкции и трансформации, вида и интенсивности сельскохозяйственного использования и структуры информационного обеспечения на основе баз данных и геоинформационных систем (ГИС). Представлена методика комплексного площадного зонирования параметров и процессов, определяющих урожайность и экологическое состояние мелиорированных водосборов, средствами ГИС для осуществления оптимизации с учетом распределенности параметров.

Ключевые слова: система принятия решений, оптимизация агропроизводства, база данных, геоинформационная система, зонирование пространственно-распределенных параметров.

Summary

Vakhonin N. Optimization agricultural production on improved lands with due account of spatial distribution of parameters and processes.

The problem of creation of the system of decision making on agricultural production on improved lands is considered. The analysis of its components: kind of a optimization problem for the agreed choice of versions of up-dating and transformation, kind and intensity of agricultural usage both structure of data support on the basis of databases and geo-information systems (GIS) is carried out. The procedure of area complex zonation of parameters and processes that define yielding capacity and ecological state of reclaimed watersheds by means GIS for implementation of optimization with due account of distribution of parameters is represented.

Key words: system of decision making, optimization of agricultural production, database, geo-information system, zonation of parameters distributed spatially.