

МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 626.8:303.63

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МЕЛИОРАЦИИ

Н.К. Вахонин, кандидат технических наук
РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: мелиоративный мониторинг, мелиоративный сельскохозяйственный объект, жизненный цикл системы, информационное обеспечение, база данных, геоинформационная система

Введение

В существующем множестве дефиниций понятия мониторинг [1,2 и др.], как правило, совпадает то, что он определяется как непрерывное, продолжительное отслеживание во времени состояния рассматриваемых объектов и процессов. По другим составляющим термина определения зачастую расходятся: иногда в мониторинг включают помимо наблюдений оценку состояния, а также прогноз развития и даже принятие управленческих решений, что, очевидно, не логично.

Для рассмотрения этого, прежде всего, отметим, что изученность систем любой природы подразделяется на три уровня: констатация состояния, прогноз развития, оптимизация системы. При этом, в конечном итоге, утилитарное (абсолютно необходимое для практики) значение имеет третий уровень, обеспечивающий возможность выбора оптимальных решений в соответствующей предметной области. С точки зрения информационных технологий этот уровень реализуется в форме систем поддержки принятия решений, включающих ряд последовательно осуществляемых процедур: сбор информации (контроль), оценка (констатация) состояния, прогноз функционирования, причем многовариантный, и выбор оптимального варианта рассматриваемой системы (ее типа, вида, структуры, параметров, управлений). Т.е. принятие решений включает в себя и элементы с более низких уровней изученности систем в качестве составляющих.

Автоматизация всех этих процедур достигается на основе компьютерных программ поддержки принятия решений. Система поддержки принятия решений включает имитационно-оптимизационные модели (включая модели оценки и прогноза) и их информационное обеспечение. Исходя из системных соображений, мониторинг может быть определен как подсистема информационного обеспечения принятия решения в рассматриваемой предметной области. В соответствии с этим мониторинг является составной частью этой, более общей, системы поддержки принятия решений в любой предметной

области, в том числе мелиорации, а не наоборот, как в некоторых определениях, когда в понятие мониторинга необоснованно включают в качестве составляющих и принятие решений, являющееся в действительности наиболее общим понятием.

Таким образом, мониторинг предназначен для (целью его осуществления является) информационного обеспечения принятия решений (и его составляющих – контроля, оценки и прогноза) в рассматриваемых объектах (системах).

Подсистемы мониторинга и их классификация

Являясь подсистемой в системе принятия решений, мониторинг сам может рассматриваться как система, включающая подсистемы сбора, передачи и хранения информации, возможно с ее предварительной обработкой (препроцессинг) – преобразованием данных для непосредственного использования в моделях принятия решений (к примеру, пересчет значений глубины уровней грунтовых вод, измеренных от верха наблюдательных колодцев в абсолютные отметки для использования в моделях фильтрации воды или пересчет в глубины от поверхности земли, для использования в моделях урожая и т.п.).

Системы сбора информации можно классифицировать по различным признакам:

а) по принципам фиксации:

- наблюдения (визуальные оценки);
- приборные измерения;

б) по способам фиксации результатов измерения подразделяемые на:

- ручные измерения;
- самопишущие на физические носители (самописцы уровней воды, плювиографы и т. д. с записью на бумажную ленту и т.п.);
- самопишущие на электронные носители (как правило аналого-цифровые устройства, включающие датчик измерения определенного показателя и устройство преобразования сигнала в двоичную форму);

в) по принципу измерения:

- прямое измерение фиксируемой величины;
- косвенное (опосредованное) измерение – с перерасчетом измеренной величины в интересующую, либо по теоретическим зависимостям, либо (в большинстве случаев) по предварительным тарировкам.

Косвенные измерения могут быть разделены на подварианты:

- нахождение искомой характеристики по измерению показателя, относящегося к одному и тому же процессу (к примеру, измерение уровней воды, по которым рассчитывается ее расход);
- нахождение искомой характеристики по измерению характеристики процесса другой физической природы (к примеру, определение влажности почвы по ее тепло- или электропроводности и т.п.).

При этом наиболее универсальной характеристикой являются изображения объ-

ектов: панхромные, спектрзональные снимки в видимом и других диапазонах длин волн, полученные в результате аэрокосмосъемки. По ним, используя предварительно идентифицированные (тарировочные) зависимости искомой величины с яркостью пикселей изображения (при условии, если связь между ними имеется и надежно получена), определяется искомая характеристика.

Такой тип мониторинга представляет собой бесконтактное измерение (дистанционное зондирование), в отличие от большинства наземных методов мониторинга, являющихся контактными.

Контактные методы можно подразделить на:

- методы разрушающего контроля;
- неразрушающего контроля.

Мониторинг может быть также подразделен на:

- дискретный (периодические измерения);
- непрерывный (самописцы) во времени;
- с дискретной фиксацией в пространстве (точки измерения уровней, влажности и т.п.);
- с непрерывной (площадной) фиксацией (аэрокосмоснимки).

Способ передачи измеренных данных и ввода в систему хранения зависит от типа их фиксации при измерении. При бумажной фиксации неизбежен ручной ввод (или распознавание отсканированных таблиц) данных. При электронной фиксации снятие информации может осуществляться либо периодически посредством копирования с измерительного устройства на магнитный носитель (в настоящее время на Пружанском стационаре таким образом один раз в месяц снимается информация со станции автоматической записи гидрометеорологических показателей «SEBA»), либо полностью в автоматическом режиме, используя для сбора информации с датчиков беспроводную технологию bluetooth, с передачей данных в головную информационную систему с помощью сети телекоммуникаций (модемы, мобильная связь, Интернет). Технически последний вариант является наиболее совершенным и удобным. Однако в конечном итоге выбор способа передачи данных определяется требуемой оперативностью поступления информации. В мелиорации в режиме реального времени поступление информации о текущем состоянии регулируемых показателей необходимо только при решении задач оперативного управления водным режимом на осушительно-увлажнительных (оросительных) системах, а также тепловым и пищевым режимами. В остальных случаях оперативность поступления информации не критична и автоматизация ее сбора может выбираться исключительно из экономических показателей минимума затрат на осуществление. При любых формах передачи информации в электронном виде необходимы конверторы для автоматического ее перевода из формата записи контролера измерительного прибора в формат системы хранения данных мониторинга, что исключает необходимость их ручного ввода.

Бумажные варианты хранения информации абсолютно неприемлемы для проведения многовариантных расчетов, необходимых для принятия эффективных решений. Компьютерное хранение данных может реализовываться в форме электронных таблиц и баз данных (БД). При больших объемах данных, сложной их структуре, что свойственно данным мониторинга больших систем, эффективное хранение и использование данных может быть реализовано только в виде БД.

Наблюдаемые при мониторинге характеристики типизируются на вид, структуру, переменные процессы (входные, выходные воздействия, переменные состояния), параметры систем, распределенные в пространстве.

При этом наблюдаемые показатели могут иметь различную шкалу измерений: номинальную (бинарную), качественно и количественно измеримую.

Из вышеизложенного ясны типы данных, хранение которых должна обеспечивать система хранения результатов мониторинга: числовые, строковые, растровые изображения и, очевидно, даты, на которые произведены наблюдения. При этом следует отметить, что, так как компьютер является дискретным устройством, то даже непрерывно зафиксированные величины могут быть сохранены только в дискретных пространственно-временных точках (с заданным шагом по времени и пространству).

Особенности мониторинга для обеспечения принятия решений на различных этапах жизненного цикла мелиоративных объектов

Все вышеизложенное относится к мониторингу в любых предметных областях, в том числе и в мелиорации, относящейся к сложным агро-природно-техническим системам. Предметом мелиоративного мониторинга являются мелиорированные сельскохозяйственные объекты (МСХО). Он включает наблюдения во всех тесно взаимосвязанных единой системой целей и взаимодействий подсистемах МСХО: мелиоративная сеть – мелиорированная почва – сельскохозяйственная растительность – изменяемая окружающая среда, а также в оказывающей на них входные воздействия внешней среде (природа и экономика). Только при совместном рассмотрении такой функционально полной системы возможно обоснованное принятие решений. При этом для принятия решений экономико-экологически обоснованный состав осуществляемых мониторинговых наблюдений должен позволять проследить эффективность мелиоративных систем по удовлетворению одновременно целям максимума экономической эффективности (максимум доходов, минимум затрат) и минимума негативного влияния на окружающую среду [3].

Эффективность МСХО зависит от его состояния как сложного объекта в трехмерном пространстве, в котором протекают во времени естественно-природные процессы и осуществляются управляющие воздействия (регулирование водного режима, внесение удобрений и т.д.). Она зависит от набора показателей, подразделяющихся в зависимости от характерных времен протекания на переменные: неуправляемые входные (погодно-климатические) воздействия $\xi(t)$ и цены $C(t)$, управления $U(t)$, переменные со-

стояния (водный, химический, тепловой и т.п. режимы), выходные воздействия $y(t)$ (формируемый урожай и экологическое состояние), а также параметры (геометрические, физические, биологические) и структура (топология) системы (наиболее стабильная характеристика), фактически также переменные, однако изменяющиеся со значительно большими (порядка годы) характерными временами протекания. Параметры подразделяются на регулируемые P (размеры каналов и дренажа, дозы удобрений) и нерегулируемые N (рельеф, водно-физические, тепловые, гидрохимические, механические параметры почв, шероховатость русел и т. п.).

При этом состояние процессов характеризуется двумя переменными: типа уровня и типа потока. Как правило, измерение переменной типа потока более сложно и требует больших затрат. В связи с этим при возможности и достаточной точности их желательно вычислять, используя измеренные переменные типа уровня.

Указанные выше показатели характеризуют все основные процессы, на которые воздействует мелиоративная система: изменение динамики воды в русловой сети и в грунте и связанное с этим изменение остальных составляющих водного баланса: поверхностного стока, испарения, напорного питания, а также изменение концентрации элементов питания в почве, химизма грунтовых и русловых вод, теплового режима почв и приземного слоя атмосферы, которые в совокупности влияют на более медленно протекающие процессы динамики почв.

В результате этих изменений в косной материи происходят изменения в биоте – растительности, прежде всего формирование урожаев сельскохозяйственных культур, и в животном мире, а также имеет место непосредственное воздействие на людей – изменение количества и качества воды при ее водозаборе на питьевые нужды.

Наличие данных по всем перечисленным выше показателям с необходимой пространственной и временной частотой и продолжительностью наблюдений, обеспечивающей статистическую надежность данных, представляет собой исчерпывающее информационное обеспечение любых задач принятия экономико-экологически обоснованных решений на мелиорированных землях, т.е. является «содержательно идеальным мониторингом».

Однако реализация мониторинга требует значительных затрат на создание сети и проведение измерений. В связи с этим его организация (состав и объем наблюдений) должна осуществляться таким образом, чтобы обеспечивать превышение доходов над затратами в результате более эффективного принятия решений на основе использования собранной информации. Таким образом, мониторинг является целеориентированной системой, причем критерии его эффективности совпадают с критериями МСХО для информационного обеспечения принятия решений, в которых он осуществляется. При этом выбор варианта организации мониторинга – состава, вида, пространственно-временной частоты замеров, способов и точности их осуществления, а также передачи и хранения данных – сам представляет задачу принятия решения, являющуюся составной частью

задач принятия решения на МСХО. Для обеспечения эффективности необходимо, чтобы осуществляемый мониторинг служил информационным обеспечением максимально большого числа задач в различных предметных областях (мелиорации, сельском хозяйстве, экологии и др.) различного уровня общности (отдельное поле, хозяйство, водосбор, отрасль). При этом должно исключаться дублирование мониторинга одних и тех же показателей, осуществляемого различными ведомствами (почвенный, гидрометеорологический, агрохимический мониторинг и т.д.), а сеть точек наблюдения по возможности должна привязываться к уже действующей сети с максимальным использованием имеющихся наблюдений. Дополнительные мониторинговые наблюдения целесообразно осуществлять исключительно под потребности конкретно решаемых задач (используемых при этом моделей).

При современном уровне развития микроэлектроники, телекоммуникаций, средств аэрокосмических наблюдений во многих случаях автоматизированные устройства с электронной записью измерений могут быть более предпочтительными по цене, точности и информативности в сравнении с привычными ручными измерениями. По аналогичной причине наряду с наземными наблюдениями целесообразно максимально использовать для принятия решений в МСХО имеющиеся мониторинговые данные дистанционного аэрокосмического зондирования.

Наряду с делением МСХО на подсистемы еще одним системообразующим принципом, по которому может осуществляться классификация мониторинга, является понятие жизненного цикла (ЖЦ) системы. МСХО, как и любые другие целеориентированные системы, имеет различные этапы жизненного цикла: исследования; проектирование; создание; использование, включая эксплуатацию мелиоративной сети (уход, ремонт, управление водным режимом) и сельхозиспользование мелиорированных земель; реконструкция (или ликвидация) системы, каждому из которых соответствуют свои задачи принятия решений и, соответственно, особенности их информационного обеспечения.

В соответствии с особенностями задач различных этапов ЖЦ единый комплексный агро-эколого-мелиоративный мониторинг может быть подразделен по этапам жизненного цикла и по подсистемам МСХО на: исследовательский мониторинг; мониторинг (контроль) состояния и проектный мониторинг для принятия решений по первоначальному осушению и реконструкции (или ликвидации) на втором и последующих жизненных циклах МСХО; мелиоративно-эксплуатационный мониторинг; агромониторинг. Каждый из них служит для информационного обеспечения соответствующих подзадач в единой системе мониторинга МСХО и должен организовываться субъектами, отвечающими за соответствующую подсистему (НИИ, проектные организации, ПМС, агропредприятия) в рамках построенной на концептуально единой информационной основе системы комплексного мониторинга МСХО (шире – отрасли сельского хозяйства).

Этап исследований включает разработку новых технических (биологических) ре-

шений в каждой подсистеме, в частности конструкций мелиоративных систем и их элементов (материальные технологии), и разработку методов их расчета, что можно отнести к информационным технологиям, а также их испытания. Мониторинг этого этапа концептуально отличается тем, что кроме пассивной фиксации показателей, осуществляются активные эксперименты при различных искусственно задаваемых входных воздействиях. Основная задача, решаемая с использованием полученных опытных данных, относится к задачам структурного и параметрического синтеза: нахождению вида зависимостей для расчета заданных элементов МСХО (приточности к дренам, пропускной способности водотоков, многофакторных зависимостей урожая сельхозкультур и т.п.) и идентификации их параметров. Для этого обработка данных должна осуществляться с использованием различных математических алгоритмов (методы *data mining*), в связи с чем система хранения должна обеспечивать возможность формирования структуры данных, вообще говоря, любого желаемого вида (вращение *n*-мерного куба данных), основываясь на концепции хранилища данных [4,5].

В настоящее время мониторинг на мелиоративных объектах осуществляется в минимальных масштабах, вплоть до того, что не ведется минимально-необходимая книга истории полей севооборота. В этих условиях для оценки мелиоративного состояния, нахождения типизированных решений необходимо осуществление комплексного агроэколого-экономики-мелиоративного мониторинга хотя бы на базовых объектах, типизированных по: а) климатическим условиям; б) типам почв; в) типам мелиоративных систем; г) экономическому состоянию хозяйств. Его можно рассматривать как исследовательский мониторинг, так как его результаты необходимы хотя бы для оценочного принятия решений на остальных территориях, путем переноса на аналогичные по вышеприведенным условиям объекты, или путем интерполирования между имеющимися точками его осуществления, при условии обеспечения необходимой точности.

На этапах использования и реконструкции (шире – трансформации системы) задача принятия решений заключается в выборе варианта изменения структуры и параметров объекта в сравнении с существующей в текущий момент. При первоначальной мелиорации это смена естественной заболочиваемой территории на агроинженерную систему (МСХО). На втором и последующих жизненных циклах в подсистеме мелиоративная сеть это либо реконструкция мелиоративной системы, либо ее ликвидация, т.е. переход к другому виду землепользования, а в подсистеме сельскохозяйственная растительность это трансформация сельхозиспользования – изменение вида и типа севооборотов и интенсивности их ведения.

Фактически принятие решения в этом случае осуществляется в две стадии: первая – сравнительная оценка эффективности существующей системы на основе ее контроля в процессе использования с возможными новыми вариантами ее типа, параметров мелиоративной сети, вида сельхозиспользования. Эту стадию можно определить как

бизнес-планирование, необходимое для установления момента проведения реконструкции. В случае вывода о необходимости трансформации требуется вторая стадия: проектирование – выбор конкретного варианта структуры параметров в подсистеме мелиоративная сеть, а также вида севооборота и интенсивности сельхозиспользования. Очевидно, что по результатам второй стадии – проектирования происходит конкретное уточнение результатов бизнес-планирования, осуществленного на первом этапе, в результате чего не исключен пересмотр первоначально принятого решения о необходимости реконструкции.

Этап эксплуатации мелиоративной системы включает ремонт (восстановление проектных параметров), уход (поддержание всех элементов систем в проектом состоянии) и управление водным режимом. По типу принимаемых решений и по удельным затратам ремонт (капитальный) аналогичен реконструкции: в обоих случаях требуется установление момента, когда необходимо осуществлять изменения системы, только в первом случае восстановление параметров производится до исходных проектных величин, а во втором они должны находиться в результате перепроектирования. В соответствии с этим на стадии бизнес-планирования для реконструкции и ремонта необходимы одинаковые мониторинговые данные.

При осуществлении уходовых работ по нормативно установленным срокам и регламентам требуется минимальное информационное обеспечение – перечень подсистем и элементов, их состояние, сроки и виды выполненных мероприятий. В этом случае мониторинг приобретает форму простого кадастра технического состояния мелиоративных систем.

Состав необходимых мониторинговых данных при управлении водным режимом однозначно определяется типом управления (программное, по обратной связи, по входным воздействиям и т.п.), каждый из которых имеет свои модели и необходимые для расчета параметры, наблюдение которых и должно осуществляться. Отличительной особенностью этого мониторинга является необходимость сбора, передачи, обработки данных и реализации управлений в режиме «реального времени».

Для контроля эффективности при принятии решения о необходимости трансформации МСХО (реконструкции, трансформации сельхозиспользования), а также проведения капитальных ремонтов наиболее эффективны наблюдения непосредственно за выходными воздействиями, так как данные по параметрам и переменным состояниям требуют последующих модельных расчетов для получения окончательных выводов.

Поэтому минимально достаточной мониторинговой информацией для принятия решения о необходимости проведения реконструкции или трансформации сельхозиспользования являются данные по многолетней динамике урожая сельскохозяйственных культур в процессе старения систем и закупочным ценам на них, определяющим доходы.

Наоборот, более детальный и затратный мониторинг переменных состояния и параметров систем наиболее эффективен при диагностировании состояния систем и

локализации неисправностей.

Для осуществления многовариантных расчетов при выборе оптимального варианта изменения системы актуальной является информация по параметрам объектов (получаемая в процессе изысканий под проектирование) и входным воздействиям (гидрометеорологический и гидрологический мониторинг).

Таким образом, так как данные мониторинга используются для множества задач, то имеется необходимость во всех их видах.

Выбор оптимальных моделей принятия решений до конца не формализуем в принципе. Поэтому выбор сети мониторинговых наблюдений состава наблюдаемых показателей, пространственно-временной частоты их проведения осуществляется в значительной степени эвристическими методами, ориентируясь на необходимость обеспечения достаточной точности принятия решений и наличия средств на осуществление.

Затраты, требуемые на осуществление мониторинга, определяются сложностью измерения показателя (стоимостью измерительного устройства), пространственно-временной частотой измерений, необходимой продолжительностью наблюдений и площадью, на которой они осуществляются.

Для получения необходимой точности расчетов более разреженные во времени наблюдения возможны для показателей, имеющих большие характерные времена изменения: для параметров устойчивых систем достаточная периодичность фиксации 1-5 лет и более. Периодичность наблюдений за переменными состояниями в зависимости от вида процессов составляет: для характеристик водного и химического режимов от 1-30 суток до сезона в зависимости от складывающейся скорости изменения, за метеопоказателями – часы. Показатели по урожайности культур определяются в соответствии с числом уборок урожая за год.

Определение параметров систем не требует устройства специальных сооружений и, как правило, ограничивается простейшими геометрическими замерами и отбором проб, а в наиболее упрощенном варианте - визуальным осмотром. Для фиксации структуры и геометрических параметров системы, а также визуально фиксируемых переменных состояния (площадь затопления и т.п.) наиболее перспективно использование дистанционного зондирования.

Определение характеристик процессов требует использования приборов, создания и установки специальных устройств: скважин для определения уровней и напоров, стокоизмерительных сооружений, испарителей-лизиметров и т.п., в связи с чем более затратно и, соответственно, требует наибольшей экономии.

Вид фиксируемого показателя, точность, пространственно-временная частота и, соответственно, способы фиксации должны быть адекватны виду используемых моделей оценки и принятия решений. При наиболее приближенном экспертном способе принятия решения адекватным может быть наиболее упрощенный визуальный способ на-

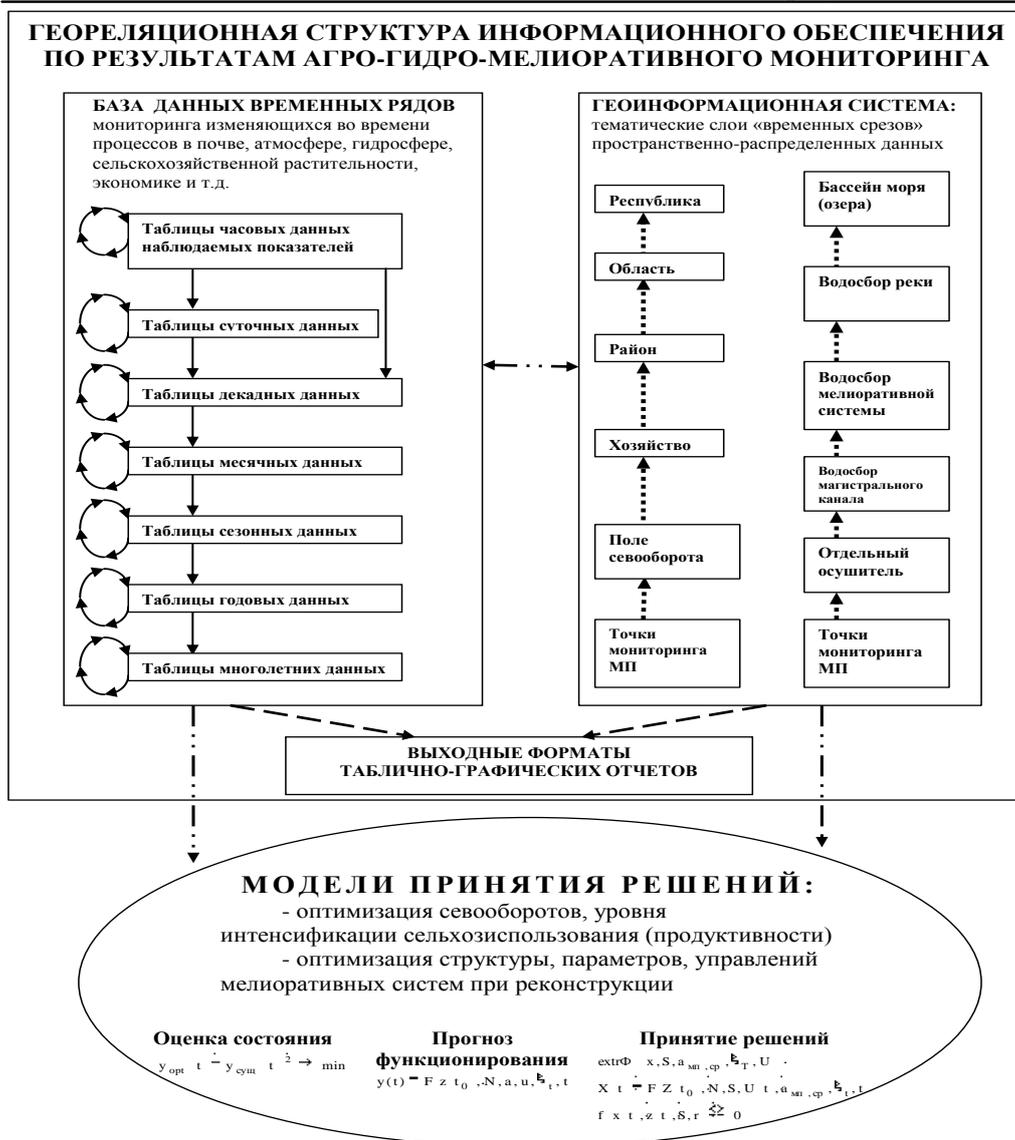
блюдения. К примеру, при чисто экспертном принятии решения о необходимости реконструкции мелиоративной системы, нет особого смысла в детальном измерении параметров и переменных системы и адекватным по точности может быть признан визуальный осмотр и экспертная оценка по его результатам. Однако очевидна низкая точность такого способа оценки и принятия решений и в результате этого под вопросом эффективность выбранного варианта по критерию доходы-затраты.

Структура информационной системы мониторинга, как основа эффективности его использования

Важнейшим условием получения отдачи от создания мониторинговой сети и проведения наблюдений является разработка концептуально обоснованной структуры эффективной автоматизированной системы хранения и использования результатов измерений при принятии решений.

На основе приведенного выше структурирования проблемы принятия решений и его информационного обеспечения разработана структура информационной системы мониторинга и осуществлена ее реализация.

Учитывая основные особенности МСХО – пространственную распределенность на больших площадях параметров всех подсистем, а также протекающих в них процессов, и необходимость учета изменения процессов во времени за период вегетации в многолетнем разрезе, автоматизированная информационная система мониторинга основана на концепции геореляционной пространственно-временной базы данных рис. 1 [6,7]. Она организована в составе двух основных взаимосвязанных компонент: геоинформационной системы (ГИС) для хранения пространственно распределенных данных по точкам мониторинга медленно изменяющихся показателей: топологии, параметров, переменных состояния, имеющих характерные времена изменения порядка годы. Учитывая ограничение на число колонок в таблице атрибутивных данных ГИС (максимум 256), хранение в них результатов наблюдений, фиксируемых в году с большим числом раз, неэффективно (например, не поместятся в dbf-таблицу ГИС результаты 365 ежедневных, а тем более – ежечасных замеров любого наблюдаемого показателя). В связи с этим реализована вторая компонента – специализированная реляционная база данных временных рядов, ориентированная на хранение данных и обработку быстро изменяющихся во времени процессов (УГВ, влажность, расходы, температуры и т.д.). Так как мониторинг и хранение данных являются не самоцелью, а предназначены для информационного обеспечения принятия решений, то в разработанной системе реализован набор процедур, обеспечивающих различную обработку данных (агрегирование с получением различного типа статистик, алгебраическое преобразование и т.п.), табличное и графическое представление и самое главное – формирование структур данных, необходимых для различных расчетных моделей (детерминированных с распределенными и сосредоточенными параметрами, статистических, нейросетевых и т.д.), используемых при



где Φ – вектор критериев; f – вектор-функция искусственных (экономических, экологических) ограничений; F – оператор функционирования МСХО, являющийся естественно-физическим ограничением в задаче; $y(t)$ – вектор-функция выходных воздействий системы; $z(t)$ – вектор-функция переменных состояния МСХО; k_T – вектор-функция входных воздействий за рассматриваемый промежуток времени функционирования системы ($t=0, T$); $a \in A$ – набор альтернатив во всех подсистемах МСХО; N – вектор нерегулируемых параметров системы; u – вектор-функция управлений системой; r – вектор ресурсов; $W \in R_0^3$ – область трехмерного пространства, занимаемая системой.

- → → Операции агрегирования данных во времени (сред., max, min, дисперсия, CV, CS, суммирование).
- → → Унарные и n-нарные операции над таблицами без изменения формата (алгебраические преобразования, осреднение, интерполяция, сглаживание, суммирование).
- · — Формирование структур данных формата обрабатывающих моделей (временные срезы, временной ряд(ряды)).
- — — Операции формирования отчетов.
- → Операции агрегирования пространственных данных.

Рис. 1. Автоматизированная система информационного обеспечения по результатам мониторинга задач оценки, прогноза и принятия решений на мелиорированных землях

оценке состояния, прогнозе развития и выборе оптимальных решений на МСХО.

В соответствующие нормализованные таблицы базы данных заносятся данные по точкам наблюдений, включая их имена и координаты, отметки поверхности, высоты (глубины) установки датчиков; видам наблюдения, привязанным к конкретным точкам, а также результаты замеров по каждому виду наблюдений на различные моменты времени, представляющие основной массив информации. Учитывая характерные времена влияния различных показателей на урожай, в качестве минимальных дискретов времени, по которым хранятся результаты срочных замеров, принят час.

Информационная система реализована в виде клиент-серверного приложения на основе реляционной СУБД Interbase. Однако при необходимости она может быть переведена под любую другую несущую СУБД (Oracle, MS SQL).

Структура МСХО формируется в ГИС на основе векторизации первичных растровых слоев, полученных сканированием карт и планов. Топология мелиоративной сети задается площадными, линейными и точечными тематическими слоями основных её элементов: каналов, дренажа, дамб обвалования, дорог, регулирующих сооружений, водоемов, получаемых векторизацией карт, планов, фотопланов, космоснимков и т.д. (рис. 2), привязанных в ГИС к единой системе координат (топологические отношения между слоями в ArcView не поддерживаются и реализованы в ArcInfo). Относящиеся к каждому тематическому слою данные на разные моменты времени (одна колонка для одного момента измерения, и всего не более 256 колонок) заносятся в соответствующую атрибутивную таблицу shp-файла. Для плановой привязки мелиоративной сети достаточно карт масштаба 1:10 000. Для дренажа, имеющего меньшие характерные расстояния между осушительными элементами, желателен более крупный масштаб (1:2000 и более), соответствующий планам его изысканий под проектирование. Реальное наличие и местоположение мелиоративной сети, других объектов на местности может уточняться в ГИС используя тематические слои на основе аэро- и космоснимков или с помощью полевых обследований и привязок.

Мелиорированные (и немелиорированные) земли представляются площадными объектами – сельскохозяйственными полями, формирование которых целесообразно осуществлять с использованием уже имеющихся слоев по линейным граничным объектам: каналам, дорогам, границам леса и т.п., для реализации чего разработано специальное ГИС приложение.

Сельскохозяйственные поля могут разбиваться на более дробные участки, к примеру на элементарные участки, по которым агрохимслужбой с пятилетней частотой фиксируются характеристики почв по турам агрохимических обследований, с образованием соответствующего тематического слоя для каждого тура. Или, наоборот, отдельные поля могут автоматически генерализоваться до более крупных объектов наблюдения: севообороты, сельскохозяйственные земли хозяйства, сельскохозяйственные земли района

и т.д., хранимых в соответствующих тематических слоях, в колонках атрибутивных таблиц которых могут храниться данные, агрегированные (статистики) до юнитов соответствующих пространственных размеров.

Точки мониторинга различных показателей: колодцы измерения уровней грунтовых и напорных вод, водпосты на водотоках, испарители, места отбора проб водно-физических, агрофизических, агрохимических показателей, влажности почвы, урожайности, метеоприборы и т.д. представляются в ГИС в виде соответствующих тематических точечных векторных слоев (рис.2). Привязка их осуществляется или по определенным координатам (топографическая съемка, GPS-привязка) или относительно положения уже привязанных линейных (каналы, дамбы, дороги и т.д.) и точечных (регулирующие сооружения на водотоках) объектов. Относящиеся к каждому виду данные мониторинга помещаются в dbf-таблицах соответствующих им тематических слоев: каждая колонка – результат измерения данного вида наблюдения по точкам мониторинга на один момент времени (всего не более 256 колонок – моментов измерения).

Основополагающей характеристикой МСХО является рельеф поверхности, изменение которого во времени необходимо отслеживать в связи с процессами эрозии, а также сработки торфяных почв в результате сельхозиспользования.

Первичным при занесении его в ГИС является точечный векторный слой замеров отметок поверхности в нерегулярных точках по данным топографической съемки, GPS-привязки, фотограмметрии по результатам аэрофотосъемки. Используя этот слой средствами ГИС, рельеф может быть получен и представлен в различных вариантах: векторного слоя горизонталей, или нерегулярной триангуляционной сети TIN, или матрицы рельефа Grid в регулярной сети точек. Для анализа водного режима с помощью численного моделирования с использованием метода конечных разностей или метода конечных элементов необходимо представление рельефа в виде цифровой модели местности: соответственно матрицы рельефа (Grid) в регулярной сети точек или нерегулярной триангуляционной сети (TIN), которые получаются интерполяцией средствами ГИС исходных точечных данных по рельефу.

При отсутствии данных съемки рельефа поверхности матрица рельефа может быть получена посредством решения обратной задачи: точечной векторизации горизонталей с растровой подложки отсканированных топографических карт и интерполяции полученных значений с дополнительным учетом отметок, имеющихся на картах характерных точек поверхности, что является менее точным.

Матрица рельефа высокой точности, прежде всего, необходима для зонирования водного режима территории, включая различные глубины уровней грунтовых вод, а также поверхностного затопления площадей, возникающего либо при подъеме УГВ выше поверхности земли, либо за счет поверхностного стока в понижения (прежде всего, замкнутые), или за счет русловых вод при подъеме воды в водотоках выше бровок. Матрица

глубин залегания УГВ (или, наоборот, затоплений) на различные моменты времени находится вычитанием из матрицы рельефа матрицы отметок УГВ.

Для построения матрицы УГВ (и любых других характеристик) по данным мониторинга в базе данных временных рядов реализована процедура формирования "временных срезов" – измеренных отметок уровней грунтовых вод по наблюдательным колодцам на интересующие моменты времени, сохраняемых в точечном Shp-файле. Используя его, средствами ГИС одним из методов (IDW, Splain, Krigging) осуществляется интерполяция значений отметок УГВ в нерегулярных точках, в результате чего получается матрица отметок уровней грунтовых вод.

Следует отметить, что при зонировании любых пространственно распределенных данных точность интерполяции определяется достаточностью густоты точек исходных замеров, которая должна увеличиваться в местах резкого изменения измеряемого показателя. При этом в местах экстраполяции точность интерполяции резко падает. В связи с вышесказанным получение данных с пространственной густотой, достаточной для получения матрицы рельефа, а тем более матрицы уровней грунтовых вод, с необходимой точностью является проблемным.

Используя матрицу глубин УГВ (разность матрицы отметок поверхности земли и матрицы отметок УГВ), средствами ГИС может осуществляться зонирование территории с любым необходимым шагом глубин залегания.

Так как в отличие от положения УГВ положение поверхностного затопления визуально наблюдаемо, то его границы на конкретные даты могут быть наиболее точно зафиксированы не посредством интерполяции данных замеров отметок воды по стационарным точкам наблюдений, а использованием либо аэрокосмоснимков необходимой разрешающей способности, либо наземной привязки границ затопления к характерным объектам непосредственно на местности. Аналогичным образом более точно, чем интерполяцией отметок поверхности, могут быть зафиксированы в ГИС границы западин рельефа.

Аналогичным образом по результатам точечных замеров различных видов мониторинга, хранящихся в атрибутивных таблицах Shp-файлов соответствующих тематических слоев, интерполяцией рассчитываются матрицы и средствами ГИС осуществляется зонирование любых других показателей, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур и экологическое состояние территории: экспозиция склонов, угол падения солнечных лучей для оценки освещенности посевов, получаемые исходя из матрицы рельефа, агрохимические, агрофизические, водно-физические характеристики почвы, мощности торфа и других пространственно распределенных характеристик и т.д.

При этом целесообразно использовать уже имеющиеся данные наблюдений различных ведомств, для автоматической переброски которых в ГИС реализованы специальные конверторы.

Интерфейс, реализованный между ГИС и БД, обеспечивает удобный обмен ин-

формацией между ними и формирование структур данных для любых моделей и программ (Excel, Математика, Статистика и т.д.), необходимых для использования при решении задач оценки состояния, выбора вариантов трансформации мелиорированных сельскохозяйственных объектов (изменение сельскохозяйственного использования, реконструкция), проектирования мелиоративных систем под реконструкцию.

Выводы

1. Агро-эколого-мелиоративный мониторинг является не целью, а средством – информационным обеспечением принятия эффективных решений на мелиорированных сельскохозяйственных объектах на всех этапах их жизненного цикла: проектирования, использования, реконструкции. Осуществление мониторинга требует затрат. В связи с этим его состав, пространственно-временная частота и продолжительность проведения должны быть адекватны уровню моделей, используемых при принятии решений, для обеспечения превышения доходов от более точного выбора на его основе оптимальных решений над затратами. Для этого проводимый мониторинг должен быть универсальным, служить информационным обеспечением максимального числа задач.

2. Для исключения затратного дублирования одних и тех же наблюдений различными ведомствами, организации эффективного обмена информационными ресурсами между ними целесообразна реализация единой государственной системы хозяйственно-экологического мониторинга в различных предметных областях, прежде всего в сельском хозяйстве, составной частью которой должен быть мелиоративный мониторинг.

Для принятия решений в мелиорации, помимо мониторинга показателей, которые должны наблюдаться непосредственно субъектами самой отрасли (ПМС, проектные институты) необходимы данные мониторинга других ведомств:

- рельеф, почвы по турам обследований – Госкомитет по имуществу;
- агромониторинг (книга истории полей) непосредственно сами хозяйства-землепользователи;
- метеорологические, гидрологические данные – Гидрометслужба;
- агрохимические характеристики почв по турам обследований – Агрохимслужба.

Эффективный обмен этими массивами данных может быть организован только на основе обеспечения единой идеологии построения информационных систем со строгой стандартизацией структуры данных и обменных форматов.

3. В силу большой пространственно-временной распределенности множества процессов в МСХО и, соответственно, больших объемов данных мониторинга бумажное их хранение и ручная обработка абсолютно бесперспективны для осуществления оценки, прогноза и принятия эффективных решений. В связи с этим для эффективного использования результатов мониторинговых наблюдений необходима организация их хранения и обработки в виде информационной системы, являющейся подсистемой автоматизированной системы поддержки принятия решений при проектировании и планировании ре-

конструкции мелиоративных систем, выборе вида и интенсивности сельхозиспользования мелиорированных земель, организации их эксплуатации.

4. Мониторинг на различных этапах жизненного цикла МСХО имеет свою специфику, связанную с особенностью решаемых на каждом из них задач. Однако независимо от этого хранение его результатов целесообразно осуществлять в разработанной пространственно-временной геореляционной информационной системе мониторинга, реализуемой в составе двух взаимосвязанных компонент: ГИС и специализированной реляционной базы данных временных рядов. Созданная система обеспечивает эффективное хранение информации любого типа: структуры, параметров, переменных состояния, входных, выходных воздействий, изображений. В связи с этим она эффективна для хранения данных мониторинга мелиоративных объектов на всех этапах их жизненного цикла. В настоящее время организовано хранение результатов всех видов мониторинга, осуществляемого на Пружанском стационаре с 1976 по 2008 г. на мелиорированном водосборе верховья реки Ясельды и немелиорированном водосборе верховья реки Нарев (всего хранится более 10 млн. данных).

Разработанная система является открытой и может быть развернута для использования в качестве республиканской системы хозяйственно-экологического мониторинга, в частности, в сельскохозяйственной отрасли.

5. Основными организационными правилами осуществления мониторинга являются:

- распределение подразделов мониторинга по исполнителям должно осуществляться исходя из того, что реализовывать каждый из них должны субъекты, заинтересованные в эффективности и непосредственно исполняющие в производстве соответствующие бизнес-процессы:

агромониторинг (используемые урожаеобразующие факторы, полученные урожаи, их экономика) – непосредственно сами агропредприятия;

мониторинг параметров, переменных состояния мелиоративной сети, а также мелиорированных земель в части водного режима – мелиоративные ПМС (следует отметить, что в конечном итоге и этот мониторинг в экономических интересах агропредприятий).

Интеграция этой информации, требующаяся при решении различных задач, должна организовываться посредством представления результатов соответствующего мониторинга осуществляющим его ведомством, а не самостоятельным повторным его проведением.

- внесение данных в информационную систему должно осуществляться непосредственно по месту ведения мониторинга. Для реализации этого разработаны простейшие light-версии вводных форм в БД и ГИС, ориентированные на ввод данных пользователями с минимальной компьютерной подготовкой с обеспечением автоматической конвертации в головную информационную систему.

6. В настоящее время мониторинг на мелиорированных сельскохозяйственных объектах ведется в минимальных объемах. Наиболее критичным является отсутствие

агромониторинга, который должен вестись в хозяйствах – книги истории полей, так как отсутствие данных по урожайности по полям (и мелиорированным, и неосушенным) исключает возможность объективной оценки состояния объектов и, соответственно, принятия обоснованных решений по необходимости и вариантам реконструкции мелиоративных систем, трансформации вида и интенсивности сельскохозяйственного использования, являющихся капиталоемкими.

Реализация обоснованного планирования этих бизнес-процессов может быть осуществлена только при условии ведения в агропредприятиях разработанной на основе ГИС автоматизированной книги истории полей, являющейся составной частью системы агромелиоративного мониторинга, необходимого для выбора оптимальных решений.

Литература

1. Концепция оптимизации Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2003. – 40 с.
2. Мелиоративная энциклопедия. Том II. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2004. – 444 с.
3. Вахонин, Н.К. Мелиоративное проектирование с позиций системного анализа /Н.К. Вахонин // Прогнозы водного режима при мелиорации земель. – Минск: БелНИИМиВХ, 1988. – С.47-61.
4. Berson, A. Data Warehousing, Data Mining and OL AP, Mc GrawHill. / A. Berson, S. Snith. 1997.
5. Хоббс, Л. Oracle 9iR2. Разработка и эксплуатация хранилищ баз данных. / Л. Хоббс, С. Хилсон, Ш. Лоуенд. – М.: Кудиц-Образ, 2004. – 592 с.
6. Вахонин, Н.К. Геореляционная организация данных результатов мониторинга водосборов для принятия решений на немелиорированных землях/ Н.К.Вахонин// Современные проблемы сельскохозяйственной мелиорации. – Минск: БелНИИМиЛ, 2001. – С.41-50.
7. Вахонин, Н.К. Автоматизированная система агроэкологического мониторинга мелиорированных земель /Н.К.Вахонин, Г.А.Писецкий, В.В.Бонцевич, Ю.А.Сороговец // Белорусское сельское хозяйство. – 2005. – № 9(41). – С.40-42.

Summary

Vakhonin N. Principles of Organization of the Monitoring for the Information Provision of Making Decisions in Amelioration

Are considered: methodological principles of the organization of system of agro-ecology-meliorative monitoring for a supply with information of decision-making at all stages of life cycle of meliorative agricultural objects. Ways of fixing of data transmission and their storage are classified and analysed. Questions of creation of information system for storage and data processing of monitoring are stated.

Поступила 11 июля 2008 г.