

# *Природо- пользование*

**ВЫПУСК 11**



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ  
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ

# Природо- пользование

Сборник научных трудов  
Выпуск 11



УДК 504.(476) (082)

ББК 20.1

П 75

Под редакцией академика И. И. Лиштвана, академика В. Ф. Логинова

**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ.** Сб. научн. тр. / Под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. Вып. 11. Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Мин.: ОДО «Тонпик», 2005. – 238 с.

УДК 504.(476) (082)

ББК 20.1

В сборнике приведены основные итоговые результаты научных исследований сотрудников института и сторонних исполнителей по завершающейся Государственной программе ориентированных фундаментальных исследований «Природные комплексы» и Государственным научно-техническим программам «Экологическая безопасность», «Ресурсосбережение», «Новые материалы и инженерия поверхности», «Малотоннажная химия» и др.

Рассчитан на широкий круг научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области рационального природопользования и экологии.

© Институт проблем использования природных  
ресурсов и экологии НАН Беларуси, 2005

В. Б. Таранчук, В. В. Таранчук

## ИНТЕРАКТИВНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСЕЙ В ПОЧВОГРУНТАХ «ГБД-п»

*Дано краткое описание интерактивной компьютерной системы «ГБД-п» (ГеоБаза Данных процессов переноса примесей в почвогрунтах), предназначеннной для наполнения баз данных геометрических, геологофизических параметров грунтов и пластов пород, характеристик тепло-, влаго-, массопереноса в почвогрунтах; для предобработки и визуализации исходных данных о геологическом строении изучаемых объектов и формирования их моделей; для графической визуализации решений задач, описывающих динамические процессы миграции флюидов, переноса тепла, влаги, минеральных водорастворимых соединений в толщах пород; для расчета и выполнения в разных приближениях экспертных оценок локальных и интегральных фильтрационно-емкостных характеристик пластовых систем.*

**ГБД-п** – интерактивная компьютерная система, объединяющая комплекс интеллектуальных вычислительных подсистем, математического, алгоритмического и программного обеспечения. Система ГБД-п предназначена для наполнения баз данных геометрических, геологофизических, емкостных параметров грунтов и пластов пород, характеристик тепло-, влаго-, массопереноса в почвогрунтах. Инструментарий системы позволяет выполнять предобработку и визуализацию исходных данных о геологическом строении изучаемых объектов; формировать их модели, графически иллюстрировать решения задач, описывающих динамические процессы миграции флюидов, переноса тепла, влаги, минеральных водорастворимых соединений в толщах пород; конструировать и реализовывать интерактивные сценарии визуализации и обработки результатов вычислительных экспериментов. Подсистемы ГБД-п позволяют рассчитывать и выполнять в разных приближениях экспертные оценки локальных и интегральных фильтрационно-емкостных характеристик пластовых систем, формировать и выводить на твердые копии тематические карты. ГБД-п работает на РС в системах Windows, позволяет использовать различные устройства ввода/вывода информации.

С использованием отдельных подсистем ГБД-п решались различные задачи построения геологических моделей, адаптации математических моделей процессов подземной гидродинамики, моделирования и расчета температурных полей в грунте с фазовыми переходами вода-лед, моделирования и графической визуализации распространения водорастворимых загрязняющих веществ в деятельном слое почвогрунтов ([1-4]).

### Состав системы:

- генератор данных, включающий программные модули импорта, экспорта, ввода и редактирования в режиме электронной таблицы данных геометрических, геофизических, емкостных характеристик объектов;

- генератор определяющих функций, включающий подсистему аппроксимации табличных данных аналитическими функциями;
- генератор и редактор тематических карт и цифровых полей, аппроксимирующих распределения по объемам геометрических, геофизических и других характеристик подземных резервуаров, деятельности слоев почвогрунтов;
- модули организации и поддержки функционирования в интерактивном или пакетном режимах геоинформационных систем;
- математический, алгоритмический и программный инструментарий для построения геологических моделей слоев почвогрунтов, многослойных пластов, включая средства их анализа, наглядного представления, моделирования ограничивающих поверхностей и распределений геофизических параметров в слоях;
- программное и математическое обеспечение формирования, настройки динамических моделей многофазной многокомпонентной фильтрации с инструментами расчета меняющихся емкостных характеристик, подсистемой адаптации математических моделей по истории процессов замещения одной жидкой фазы другой, прогноза и оценки мероприятий по повышению эффективности физико-химического воздействия;

- модули трехмерной визуализации динамических процессов распространения водорастворимых загрязняющих веществ в деятельности слоях почвогрунтов.

ГБД-п включает базовый комплект программ и комплексов (Gen\_DATw, Gen\_Func, Gen\_MAPw, Geo\_Mdl, Din\_Mdl, Layers3D), дополнительные модули, которые ориентированы на реализацию специфических технических требований. Приведем их краткое описание.

Генератор данных Gen\_DATw – подсистема, программный инструментарий наполнения и сопровождения в режиме электронной таблицы баз данных по паспортным, регламентным, текущим характеристикам моделируемых объектов.

Обычно такие данные первоначально поступают из разных источников (от геологов, геофизиков, экологов, органов управления) и в разных форматах. В отдельных случаях необходимых для моделирования данных в электронном виде вообще не существует, тогда их приходится выбирать из отчетной документации и вводить в базы данных. Генератор **Gen\_DATw** позволяет пользователю в интерактивном режиме корректировать данные форматов **db**, **dbf**, **mdb**, **xls** и структурированные текстовые наборы данных, агрегировать их в принятый в ГБД-п формат (атрибутивные, пространственные реляционные БД, основной формат – **skv**).

В системе при формировании баз данных принята идеология создания метакуба данных, в котором плоскости – достаточные для определенного класса моделей наборы данных и параметров алгоритмов расчета. При импорте и преобразовании данных в форматы системы необходимо проводить анализ информации на внутреннюю непротиворечивость, выполнять коррекцию в случае обнаружения ошибок. В генераторе запрограммированы функции логического и арифметического контроля **skv**-данных. В случае обнаружения ошибок соответствующие подозрительные записи выделяются, выдается запрос пользователю с требованием уточнения.

Также генератор **Gen\_DATw** содержит пользовательские модули графической 1D визуализации. Графики и диаграммы строятся на основе выборок и отфильтрованных таблиц из системы управления базами данных. В частности, в генераторе реализованы и им поддерживаются следующие возможности построения и анализа временных зависимостей (текущих и накопленных, локальных и интегральных; локальных перетоков на участках слоев):

- вывод нескольких разнотипных графиков на отдельных закладках-окнах,
- вывод в одном окне нескольких графиков в различных осях (разномасштабных зависимостей, когда деления на оси слева и справа различны),
- приближение/удаление выбранного фрагмента графика/графиков,
- управление осями, в частности, когда в зависимости от масштаба автоматически изменяется количество подписей временной оси, растяжение и прокрутка осей.

Пользователю даются соответствующие инструменты настройки; созданная конфигурация может сохраняться для многократного использования.

После завершения формирования, адаптации модели чаще всего необходимо выверенные и уточненные данные передавать в согласованном виде в некоторые файлы для использования другими программами, эксплуатируемыми совместно с описываемым комплексом. За этот

процесс в **Gen\_DATw** отвечает модуль экспорта данных во внешние форматы. Чтобы не требовалось для каждого нового формата данных перенастраивать блок экспорта, принятым режимом работы является сохранение всех данных в широко распространенных форматах: **dbf** – для баз данных; **wmf** и **dxf** – для электронных изображений сформированных карт.

**Генератор определяющих функций Gen\_Func** содержит комплект запрограммированных в компьютерной технической системе **Mathematica** программных модулей аппроксимации табличных данных аналитическими функциями. В частности, для формирования аппроксимирующих аналитических зависимостей определяющих функций динамических моделей тепло-, влаго- и массопереноса в почвогрунтах в подсистему включены следующие модули:

- интерполирование с помощью алгебраических многочленов,
- интерполяционный многочлен Лагранжа,
- многочлен Ньютона с разделенными разностями,
- интерполирование сплайнами,
- тригонометрическое интерполирование,
- интерполирование экспериментальных данных методом наименьших квадратов.

В подсистеме **Gen\_Func** разработан и обеспечен компьютерным инструментарием новый подход, в котором в отличие от традиционных методик возможна работа пользователя программного обеспечения в математической нотации.

**Генератор карт и цифровых полей Gen\_MAPw** – многофункциональный программный комплекс, который обеспечивает возможности формирования и редактирования в интерактивном и/или пакетном режимах карт (границ, трасс, контуров, размещения объектов, пунктов контроля), различных схем.

Средствами генератора **Gen\_MAPw** можно автоматически или интерактивно формировать расчетную сетку, используемую при аппроксимации цифровых полей. В этом программном комплексе по различным алгоритмам интер/экстраполяции можно рассчитать на прямоугольную сетку цифровые поля для различных целей, в частности для получения тематических геологических карт в изолиниях и зонах, для формирования изображений поверхностей в трехмерном пространстве, для определения средних и средневзвешенных величин по участкам, блокам, интервалам. Генератор карт имеет мощный графический редактор, который обеспечивает составление и сопровождение карт, схем, хранящихся в формате MAP изображений (векторный графический формат ГБД-п, обеспечивающий работу с контурами, отрезками, символами, комментариями, но-

мерами, кругами и секторами). В режимах индивидуальных и групповых операций пользователь может выполнять редактирование любых из названных компонент МАР изображений. Также даются возможности синтезировать карты или их фрагменты, выполнять преобразование координат (сдвиг, поворот), выкопировку, включение в МАР изображение ASCII текста. В этом программном комплексе можно изменять масштаб МАР изображений, выполнять пересчет карты-источника в масштаб карты-мишени, склейку двух одномасштабных разнонаклоненных МАР изображений. Средствами генератора можно проводить векторизацию по загружаемым в качестве подложки растровым изображениям.

В системе ГБД-п графическое иллюстрирование получаемых при расчетах пространственных распределений характеристик осуществляется средствами генератора Gen\_MAPw. Его программный инструментарий визуализации включает модули, обеспечивающие:

- вывод 2D векторных МАР изображений с возможностями отображения в окнах в режимах «папка» или «карта»;
- отображение символов объектов (согласно принятой схеме условных обозначений) на карте и на отдельной панели содержимого skv базы для выбранного объекта;
- отображение положения на карте узлов и значений активного цифрового поля;
- отображение растровых bmp изображений с их координатной привязкой к векторным картам.

В режиме «папка» последовательно прорисовываются изображения из листов, порядок следования которых определяет пользователь. В листах последовательно выводятся: фон (bmp изображение), карта (МАР изображение), сетка (узлы fid цифрового поля), примитивы объектов (из skv базы). Листы и/или карты выводятся в окно или окна, число которых, размер и положение каждого из них на мониторе определяет пользователь. В любом окне можно независимо выполнять фрагментирование, включение/выключение слоев МАР изображения.

Комплекс Gen\_MAPw обеспечивает возможности получения твердых копий МАР изображений и/или их фрагментов на листах любого формата. При печати, выводе на плоттер пользователь может задать масштаб вычерчиваемой карты, управлять процессом вывода, изменения порядок печати листов или фрагментов карт. В МАР изображениях можно с учетом технических возможностей применяемых внешних устройств регулировать цвета, толщины, менять размеры и начертание условных обозначений, символов (латыни, греческих, кириллицы), типов линий, штриховок и способов заливки цветом.

Генератор карт и цифровых полей содержит модули визуального редактирования skv баз данных. Дополнительно в нем реализованы возможности формирования, вызова, просмотра таблиц (из реляционных баз данных) и графической информации, ассоциированной с отмеченными на карте пунктами. Gen\_MAPw содержит средства конструирования специализированных программных комплексов (СПК) для формирования комплектов тематических карт в пакетном режиме. Наибольшее применение находят следующие СПК: «Литологические карты», «Изогипсы», «Изопахиты», «Запасы».

Пользовательский интерфейс и макроманды генератора карт и цифровых полей являются одновременно системой для конечного пользователя и разработчика приложений, функционирование комплекса поддерживается контекстными подсказками.

Одной из подсистем ГБД-п является подсистема, объединяющая модули организации и поддержки функционирования в интерактивном или пакетном режимах геоинформационных систем. Эта подсистема обеспечивает работу пользователя по настройке и эксплуатации сформированных электронных иерархических каталогов контекстно-зависимых карт с поддержкой команд вызова последовательностей карт и таблиц; расчета и отображения параметров контуров (путь, периметр, площадь); поиска нужных объектов, автоматического обнаружения и отображения объектов, по которым фиксируются отклонения. В частности, специализированные модули Gen\_MAPw поддерживают перечисленные функции и идентификацию объектов на картах, обеспечивают пользователя инструментами составления и организации геоинформационных систем и электронных каталогов карт, схем на основе композиций изображений, связываемых с ними реляционных баз данных. Геоинформационные приложения ГБД-п являются программными модулями, которые, с одной стороны, включают основные функции таких широко известных пакетов, как ARC/INFO, MapInfo, GeoDraw, с другой стороны, во много раз меньше по объему и могут эксплуатироваться на любых IBM-совместимых ПК. Созданные на платформе ГБД-п тематические электронные каталоги-навигаторы обеспечивают быстрый и эффективный доступ к большому объему информации об объектах, имеющих пространственную привязку. Например, гораздо легче получить паспорт участка земли или объекта, непосредственно указав на него курсором, нежели искать в файловой системе нужный файл. Это же относится и к топографическим картам – можно в качестве навигационного средства использовать мелкомасштабную карту вместо файловой системы. На этом же принципе могут строиться хранилища фотоснимков, ксероко-

пий технической документации и многие другие архивы.

**Подсистема Geo\_Mdl** содержит программный инструментарий построения квазирех- и двумерных геологических моделей многослойных пластов, слоев почвогрунтов. Процесс построения таких моделей проводится интерактивно, причем с возможностями выделения локальных структур, литологически однородных участков, зон насыщения различными флюидаами, разломов и тектонических нарушений. Модули **Geo\_Mdl** можно использовать при расчете емкостных характеристик резервуаров (в частности, запасов), имеются средства консолидации и осреднения данных, моделирования топографических поверхностей.

Программные модули подсистемы **Geo\_Mdl** обеспечивают получение для каждого моделируемого слоя, пласта предполагаемых значений геофизических параметров в узлах равномерной прямоугольной сетки. Входными являются обработанные исходные данные о структуре, топографии, составе объекта (в частности, по сейсмопрофилям, скважинам), априорная и привнесенная в процесс моделирования информация о предполагаемом распределении восстанавливаемых параметров на площади каждого слоя. Выходными данными являются цифровые поля параметров (сеточные функции) на каждом из слоев, уточненные данные в точках замеров (например, по скважинам). При построении (расчете) цифровых полей используются специально разработанные алгоритмы аппроксимации и соответствующие программные модули. Их особенностями являются возможность привнесения экспериментатором дополнительной информации о поведении восстанавливаемых сеточных функций, индивидуальная настройка алгоритмов. При этом источниками данных могут являться: реальные скважины, центры контрольных блоков или участков, опорные точки контуров–границых условий, априорная информация о поведении пластовой системы в межскважинном пространстве. В частности, запrogramмированные алгоритмы позволяют:

- имитировать возможное наличие разрывов в рассчитываемой функции по разные стороны от контура, прорисованного на площади любого из моделируемых слоев;
- учитывать специальные граничные условия вдоль некоторого контура (линии, кривой) на площади объекта с обеспечением возможности задания на контурах–границах как постоянных значений рассчитываемой функции, так и переменных, когда условия могут быть разными на разных слоях, пластах;
- вводить на каждом из слоев, пластов индивидуальную схему подобластей, применять специальный режим восстановления функции на участках, ограниченных контурами с атрибутами «Выделено», что предполагает при расчете зна-

чений сеточной функции цифрового поля во всех узлах внутри подобласти учет только точек с данными и профилей наблюдений из выбранной подобласти.

Подсистема **Geo\_Mdl** программно реализована таким образом, что позволяет работать группам пользователей разного уровня. Это обеспечивается наличием встроенного внутреннего языка программирования GML, предоставляющего возможность создавать пользовательские диалоговые панели, в которых выбирается один из сценариев работы. По таким сценариям комплексом автоматически рассчитывается цифровое поле, формируется набор регламентной картографической продукции, визуализирующей распределение выбранного показателя по площади для каждого слоя, пласта объекта. Имеется возможность пакетной обработки сразу нескольких слоев, пластов и последовательного расчета нескольких параметров, а также реализации арифметики цифровых полей. Для опытных пользователей предоставляется возможность интерактивного расчета цифровых полей, карт и таблиц с определенными значениями параметров.

При расчете цифровых полей (аппроксимиации) возможны «выбросы» сеточных функций за допустимые границы. Генератор цифровых полей подсистемы **Geo\_Mdl** позволяет экспериментатору автоматически «править» цифровые поля двумя способами. В одном случае просто заменяются значения, выходящие из допустимого интервала, указанным значением максимума или минимума (например, концентрация примеси и пористость измеряются в процентах и не могут быть отрицательными или большими 100). В другом режиме работы по цифровому полю формируются карты зон однородности и один или несколько интервалов выбираются так, чтобы система выявила участки выбросов значения рассчитанного параметра. Далее необходимо проанализировать такую карту зон вблизи этих участков и выявить причины возникновения выбросов. Как правило, подобные ситуации обусловлены некорректно заданными граничными условиями или плохо выбранными параметрами алгоритма аппроксимации.

**Комплекс Din\_Mdl** – программное, математическое и алгоритмическое обеспечение расчета гидродинамических моделей многофазной многокомпонентной фильтрации в пористых, трещиноватых, кавернозных средах. Эта подсистема предназначена для создания адаптированных моделей нестационарных процессов, когда есть история и соответствующие данные, описывающие эволюцию процессов. В частности, при создании гидродинамических моделей систем, в которых изучается замещение одной жидкой фазы другой, использование инструментария этой подсистемы позволяет уточнять геологическую модель, локальные параметры размещения жидких фаз (например, распределение начальной насыщенности, влагосодержание).

Визуализацию экспериментальных данных о границах раздела сред, продвижении фронтов раздела фаз или распространяющихся примесей, трехмерных численных решений, сформированных статических и динамических моделей в системе ГБД-п обеспечивает **Layers3D** – алгоритмическое обеспечение и программа, а также библиотека opengl32.dll. Именно этот набор предназначен для конструирования математических моделей различных поверхностей раздела и их реалистического изображения на экране монитора, преобразования геометрических моделей в наглядные визуальные формы, отображающие на плоском экране строение и ориентацию слоев, пластов.

Визуализируемые в системе ГБД-п объекты представляет собой сплошные трехмерные тела, состоящие из одного или нескольких слоев (пластов), описываемых соответствующими файлами в форматах системы. Все слои определяются над областью задания в плоскости XY и ограничены сверху и снизу поверхностями, имеющими соответственно кровлю и подошву, а также боковой поверхностью типа «лента» с ортогональной плоскости XY образующей (в отдельных узлах значение высоты ленты может быть нулевым, что означает отсутствие слоя). Координаты Z кровли и подошвы рассчитываются в Gen\_MAPw. Для этого область задания (проекция объема на плоскость Z = 0 по внешнему периметру, охватывающему проекции всех слоев) покрывается сеткой, представляющей собой окаймляющий прямоугольник минимальной площади со сторонами, в общем случае, не параллельными осям координат. В каждом узле сетки на каждом слое рассчитываются координаты Z кровли и подошвы, определяющие сеточной функцией геометрию верхней и нижней ограничивающих поверхностей слоя. Структура каждого визуализируемого пласта формируется наборами составляющих примитивов – ячеек-призм,

проекции которых на горизонтальную плоскость дают упомянутую выше сетку. Фактически для быстрого эскизного изображения каждой из поверхностей выводят каркасные линии. Каждая такая ячейка кроме ребер каркаса имеет цвет заполнения. Задание параметра расцветки объекта может осуществляться одним из двух способов. В одном случае за параметр раскраски принимается координата Z кровли – из соответствующего цифрового поля (тогда кроме каркасных линий форму слоя определяет цветовая палитра). В другом случае за параметр раскраски принимается любая сеточная функция, определяемая в вычислительном эксперименте. Во втором случае сеточная функция может задаваться на последовательных временных слоях, тогда при соответствующей настройке опций **Layers3D** можно показывать эволюцию процесса.

Программа **Layers3D** является многодокументным приложением и позволяет работать с несколькими проектами одновременно. После загрузки проекта пользователю предоставляются возможности включить режим пространственных перемещений объекта с помощью мыши: вращения объекта вокруг осей, переноса объекта в экранах координатах в направлениях осей; режим изменения ракурса и положения наблюдателя: приблизить, отодвинуть, что визуально наблюдается как увеличение/уменьшение. Отдельный инструмент позволяет ввести коэффициент масштабирования объекта вдоль оси OZ. Имеется возможность включения/выключения отображения любого слоя, можно производить отсечения вертикальными плоскостями по задаваемым на схеме слоя полилинией направляющим. Опции панели настройки легенды позволяют управлять легендой, в соответствии с которой происходит расцветка каждого из слоев и которая каждому интервалу значений параметра ставит в соответствие цвет.

#### Литература

1. Барвенов С. А., Кибаш М. Ф., Таранчук В. Б. Методика, инструментарий адаптации математических моделей процессов подземной гидродинамики // Выбранные научные работы БДУ. Т. Математика. Мн., 2001. С. 7–33.
2. Бровка Г. П., Иванов С. Н. Расчет температурных полей в грунте с фазовыми переходами водолед в спектре температуры // Инженерно-физический журнал. 2004. Т. 77, № 6. С. 112–119.
3. Лиштван И. И., Бровка Г. П., Таранчук В. Б. и др. Моделирование и графическая визуализация распространения водорастворимых загрязняющих веществ в деятельном слое почвогрунтов // Природные ресурсы. 2004. № 1. С. 124–126.
4. Морозов А. А., Таранчук В. Б. Численные методы и программирование в системе Mathematica: Учеб. пособие. Мн., 2004.