

## ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРОЛОГИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ. ЧАСТЬ 1 [Ловцкая, 2007]

В ноябре 1988 году лаборатория методов адаптации АСУ ВЦ СО РАН (ЛМА) вошла в состав ИВЭП СО РАН. ЛМА, созданная и возглавляемая В.В. Марусиным, представляла собой дружный коллектив, с большим опытом работы, зарубежными связями, хорошо известный в крае и стране. В ее состав входили высококвалифицированные программисты и проектировщики, создававшие автоматизированные системы управления предприятиями. Приход в ИВЭП стал для лаборатории серьезным испытанием: уехал в Новосибирск В.В. Марусин, заведующим лабораторией был назначен М.И.Евстратов, менялись тематика работы и область приложения. У лаборатории как структурной единицы ИВЭП было 2 пути: или превратиться во вспомогательное инженерно-техническое подразделение, или же развивать научное направление интересное как сотрудникам, так и Институту, в целом. В этот момент проявился научный и организационный талант С.Л.Широковой, которая впоследствии возглавила лабораторию. Светлана Леонидовна инициировала проведение ряда семинаров, позволивших выявить потребности научных подразделений в информационной и математической поддержке. Таким образом, появилась лаборатория информатики, сотрудники которой обслуживали разрастающийся парк вычислительной техники (М.К.Картавец), разрабатывали типовые программы для бухгалтерии и других служб (В.И. Шовкун), создавали информационные, информационно-справочные системы информационно-моделирующие программные системы для управления природопользованием и охраной окружающей среды.

Новые задачи требовали использования новых технологий программирования, использования методов анализа пространственно распределенной информации. Первыми в Алтайском крае, и одними из первых в стране, сотрудники лаборатории приступили к разработке и развитию геоинформационных систем.

**В начале 90-х** в лаборатории появилось лицензионное программное обеспечение ГИС Arc/Info, что позволило перейти к созданию электронных карт. И.М.Михайлиди и другими сотрудниками создана топооснова Алтайского края масштаба 1:500 000, которая используется до настоящего времени во многих организациях края. Тогда же принято решение о создании собственной инструментальной ГИС для разработки независимых приложений, ориентированных на конечных пользователей. Кроме инструментальной ГИС,

– разработан набор типовых процедур ввода, редактирования и поддержки структурированных данных в экологических базах данных с использованием многооконного интерфейса (Меркулов А.Н., Банушкин В.М.);

– разработана инструментальная информационно-программная оболочка, обеспечивающая разработчиков картографических БД удобным языком и эффективными технологическими элементами процессов электронного картографирования в среде ARC/INFO (Михаилиди И.М.).

– разработана программная пользовательская оболочка в среде AUTOCAD, повышающая удобство и производительность ввода топооснов карт с дигитайзера (Комарова Е.Е.);

– создан комплекс программ статистической обработки медицинских данных (Ловцкая О.В.)

– разработан набор процедур совместной обработки цифровых и картографических баз данных, а также формирования и вывода данных в режиме деловой графики (Шелепов С., Леонова Н.А.).

Создание собственных инструментальных программных средств позволило быстро и эффективно решать экологические задачи природопользования.

**В 1994 году** на примере Алтайского края как объекта длительного и интенсивного антропогенного воздействия на природную среду разработана концептуальная модель данных региональной ГИС "Природные ресурсы", включающая: блоки природно-ресурсной основы (водные, лесные, земельные, атмосферные ресурсы) и блоки, относящиеся к природной, административной и производственной структуре территории (районы, населенные пункты, хозяйства, речная, промышленная, транспортная сети и др.). Структура информационной модели ГИС ориентировалась на решение преимущественно стратегических задач трех типов: сбор и оценка данных о состоянии природных ресурсов и окружающей среды региона, анализ причинно-следственных связей, прогноз будущих состояний.

На основе разработанной информационной модели ГИС управления природопользованием регионального уровня созданы базы данных и программы их поддержки для хранения и обработки показателей состояния водных, лесных и атмосферных ресурсов. Выполнена их загрузка реальными данными для отдельных территорий Алтайского края (речных бассейнов, лесхозов, административных районов) за различные временные периоды.

Разработана информационно-справочная система по лесным ресурсам, обеспечивающая выборку из базы данных и визуализацию в табличном и графическом видах значений любых показателей для анализа динамики изменения состояния лесов в различных временных интервалах ((Широкова С.Л., Ловцкая О.В., Комарова Е.Е., Леонова Н.А.).

Разработан комплекс программ оперативной обработки запросов для анализа качества вод и формирования сводных годовых форм состояния вод в бассейне р.Оби на территории Алтайского края.

**К 1995 году** возникла необходимость и техническая возможность создания локальной вычислительной сети (ЛВС) и выхода в глобальную сеть (Интернет). Основная нагрузка по организации локальной компьютерной сети и подключению к глобальной сети легли на зав. лабораторией Широкову С. Л. и сотрудника этой же лаборатории М. К. Картавцева.

Первый проект подключения ИВЭП к Интернет разработан в 1995 году. На тот момент единственно доступным технически и экономически Интернет-провайдером был Алтайский научно-образовательного комплекса на базе Алтайского государственного технического университета (АлтГТУ). Для связи с этим провайдером в отсутствие выделенного канала использовалось промежуточное звено: Алтайский государственный университет. Схема связи выглядела следующим образом: на здании ИВЭП и на здании физического корпуса АГУ на расстоянии 300 метров по прямой видимости установлена пара устройств связи на инфракрасных излучателях "Инфранет" (рис.1) Скорость подключения 2Mbps; далее связь между АГУ и АлтГТУ по выделенной линии со скоростью подключения 2Mbps; далее через спутниковую связь в сеть RunNet.

**В 1996 году** в ИВЭП было 12 компьютеров, которые соединялись в сеть коаксиальным кабелем. В качестве почтового сервера и маршрутизатора использовался компьютер PC-486 с операционной системой Unix F-VCD. Файловый сервер был настроен на компьютере Пентиум I - 166 и ОС Windows NT 4.0.

Новую струю в тематику работ лаборатории внес приход в 1997 году К.В. Воробьева и С.Г.Яковченко, физиков, занимавшихся вопросами экологии атмосферы. На основе их работ сформирован блок "Атмосфера" ГИС "Природные ресурсы". В рамках этого блока разработаны:

– комплекс программ, обеспечивающий расчет и картографическое отображение загрязнения приповерхностного слоя атмосферы от выбросов промышленных предприятий как по любому одному веществу, так и по суммарному воздействию всех веществ при различных метеопараметрах.

– комплекс программ для оценки среднегодового уровня концентрации загрязнений от промышленных предприятий в приземном слое атмосферы в масштабе региона. Комплекс предназначен для выявления зон повышенных уровней загрязнения для последующего их более детального анализа. Система построена с использованием ГИС ArcView 3.0 и объектно-ориентированного программирования C++Builder. Она включает в себя банк картографических данных территории Алтайского края в масштабе 1:500 000, технологически увязанный с ним банк

данных по параметрам источников загрязнения (2 ТП-воздух), блок расчета среднегодовых концентраций примесей с учетом розы ветров. Для пространственного отображения результатов расчета разработан пользовательский интерфейс, позволяющий получать по запросам различную информацию об объектах и параметрах загрязняющих веществ, проводить моделирование распространения загрязняющих примесей и представлять результаты в удобном для дальнейшей обработки виде. Численные эксперименты проведены для ряда приоритетных промышленных загрязнителей (880 предприятий) Алтайского края.

– проанализированы и предложены для использования методика и стандартная программа EPA USA CALINE3 для оценки загрязнения приземного слоя атмосферы от автотранспорта. Данная программа была интегрирована в проект ГИС ArcView, осуществляющий функции подготовки пространственных данных и последующего ГИС-анализа результатов вычислений. Предложена методика экспертной оценки пространственно-временного распределения движения автотранспорта для получения достоверной исходной информации для расчетов. На примере г.Барнаула проведена оценка среднегодовой загрязненности атмосферы от автотранспорта.

Предложена методика расчета загрязнения атмосферы от частного сектора в промышленном центре. Объем загрязнения оценивается через характерную плотность населения и средний расход топлива, потребляемого в секторе на одно домовладение. На основе имеющихся исходных данных проведено предварительное ранжирование территории г. Барнаула по степени загрязненности от частного сектора (Постнова И.С.).

Технология математико-картографического моделирования и получения результирующих картографических изображений для анализа отработывалась на комплексе исследовательских и прикладных программ: оценка распространения загрязнений от промышленных предприятий, автотранспорта и частного сектора (на примере г.Барнаула), нормирование выбросов вредных веществ в атмосферу при утилизации твердых ракетных топлив (на примере г.Бийска), выявление зон повышенной экологической опасности (на примере Благовещенского района)(ВоробьевК.В., Яковченко С.Г., Постнова И.С.).

Созданы инструментальные средства совместной обработки картографических и атрибутивных данных в Delphi и C++Builder. Разработаны программы обработки космоснимков, обеспечивающие автоматическое выделение и псевдоцветное изображение участков с разным уровнем загрязнения территории. Программы использовались для проведения анализа загрязненности снежного покрова в районе Кучукского сульфатного комбината Благовещенского района Алтайского края

Для составления ландшафтно-топологических карт по данным дистанционного зондирования разработаны алгоритмы и программы: кластерного анализа для предварительной

оценки распределения ретроспективных данных, текстурного анализа для детальной оценки результатов сегментации и классификации изображений земной поверхности, специальных сервисных функций для построения ландшафтных фотосхем. Эксперименты проводились на временном ряде архивных аэроснимков различного масштаба и ориентации в зоне влияния Кулундинского канала (Ковалевская Н.М.).

В 1999 сотрудники лаборатории приступили к разработке бассейновых ГИС

Определена принципиальная структура бассейновой ГИС как многомодульной системы, предназначенной для комплексной оценки состояния природных ресурсов геосистем и прогнозирования их изменения под воздействием естественных и антропогенных факторов. Система может быть реализована как экспертно-аналитическая по схеме «воздействие, нагрузка – оценка экологических, экономических и социальных последствий» в речном бассейне.

На примере бассейна р. Томи проанализированы имеющиеся информационные материалы с целью разработки состава и структуры тематической и картографической баз данных бассейновой ГИС. Для выявления модельных закономерностей переноса техногенных загрязнений в русле реки Томи проведена обработка и обобщение многолетних данных о содержании поллютантов в промышленных сбросах и речных водах 15 створов наблюдений (использованы данные ГМС, СЭС и др.).

Разработана цифровая модель рельефа и гидрографии бассейна р.Томи масштаба 1:500 000. Предложен состав тематической базы данных, отражающий различные характеристики бассейна: сосредоточенные источники загрязнения поверхностных вод, поверхностный сток с территорий, гидрология и гидрохимия водных объектов, характеристика воздушной среды, растительности, почвенного покрова, климата, социально-экономические параметры.

Разработан программный инструментарий для редактирования и преобразования цифровых карт и атрибутивной информации в форматах ArcInfo, ArcView, F1M. Предложена методика получения цифровой модели рельефа из покрытия горизонтального рельефа. Разработаны программные средства интерполяции рельефа по опорным точкам и 3D-визуализации цифровых моделей местности. Созданы 3х-мерные карты на территорию Благовещенского района и Телецкого озера, выполнена их драпировка многозональными космическими снимками.

Освоены методы построения распределенных баз данных на основе СУБД INTERBASE, Internet-ориентированного протокола обмена данными TCP/IP и технологии "многозвенный клиент - сервер" и методы подключения программных DLL-модулей и SQL-баз данных к ГИС ArcView с целью создания интегрированной ГИС-технологии (Трошков Н. ). Разработаны средства подключения активных компонентов ArcInfo в программах на Delphi и C++Builder (Воробьев Е.К.).

**2000 год** – начинается сотрудничество с В.А. Жоровым, что переводит работы лаборатории в области водных ресурсов на качественно новый уровень.

По его инициативе создаются программные комплексы для решения проблем инженерной гидрологии (Воробьев Е.К., Ловцкая О.В., Яковченко С.Г.).

Для анализа многолетних колебаний различных гидрологических характеристик разработан вычислительный алгоритм расчета кривых обеспеченности. Рассмотрены особенности численной реализации алгоритма. Найдено объяснение и аналитическая формулировка известной проблемы особых точек, возникающей при использовании распределения Крицкого – Менкеля. Создана программа статистического анализа многолетних рядов различных гидрологических характеристик "Гидростатистика". В Роспатенте получено свидетельство об официальной регистрации программы (№2000610667 от 20 июля 2000 г.).

Разработан и внедрен в эксплуатацию программный комплекс "Морфоствор", предназначенный для определения расходов и скоростей течения реки в заданном поперечном сечении (морфостворе) в зависимости от уровня воды. Разработана и лицензирована (свидетельство Роспатента №2001611052 от 20 августа 2001 г.) программа "Паводок&Половодье", предназначенная для расчетов обеспеченностей максимального стока неизученных рек.

Общность проблем, возникающих на водосборных бассейнах, является основой для поиска типовых решений по конструкции бассейновых ГИС, что выражается в принципах и методах их создания. Предложен подход, сочетающий применение к условиям конкретных бассейнов рек методов математического моделирования, технологий пространственного анализа данных по топографическим правилам и пользовательских ГИС-оболочек, связывающих исходную, текущую и итоговую информацию с единой системой ее обработки, анализа и интерпретации.

Уточнена структура бассейновой ГИС как сложной системы, включающей взаимосвязанные характеристики состояния природной, хозяйственной и социальной составляющих развития территории.

На основе цифровой модели бассейна реки Барнаулки и встроенных в проект ArcView специализированных расчетных функций была апробирована численная модель оценки загрязнения водосбора от неточечных источников.

Проведены работы по созданию ГИС для поддержки принятия решений по оценке и прогнозу качества воды и водных ресурсов в бассейнах рек.

Создана база данных по гидрохимии за период 1981-1999гг. и по гидрологии за период 1936-2000гг. по 38 пунктам наблюдения бассейна р. Томи на основе материалов Государственного водного кадастра и Росгидрометслужбы. По отдельным пунктам проведен статистический анализ наблюдений, в результате которого получены многолетние (средние по гидрологическим периодам) тренды качества воды (Ловцкая О.В., Зырянова Т.А., Брютова О.В.).

Предложена основанная на обобщенном методе постоянных концентраций модель гидрохимического стока, ориентированная на анализ структуры многолетних изменений качества воды по данным гидрохимических наблюдений (Яковченко С.Г., Ловцкая О.В.).

Проведен теоретический и численный анализ зависимости суточного прихода солнечной радиации на склоны от рельефа, высоты местности, метеорологических параметров, географического положения местности и времени года в целях получения достаточно строгой и точной ГИС-технологии расчета теплового баланса поверхности для распределенных гидрологических моделей. Получены аналитические выражения для суточных сумм прямой и рассеянной радиации на склоны в течение года. Создан ГИС-инструментарий для расчета возможных сумм радиации, с помощью которого для водосбора р. Бии получены цифровые карты суточного прихода радиации за период снеготаяния (март - июнь).

Разработана концептуальная модель таяния снежного покрова и формирования весеннего стока горных рек. Проведена апробация радиационного и трансформационного блоков для ряда территорий водосбора р. Бии. (Жоров В.А., Яковченко С.Г.).

Электронное картографирование представляет собой системный технологический процесс, объединяющий сбор цифровых данных о территориальных объектах, компьютерное формирование цифровой модели местности, привязка к ней атрибутов пространственных объектов из банка данных, пространственная обработка и интерпретация данных, получение аналитических картографических материалов для пользователей. Доминирующее положение в этом процессе занимают три взаимосвязанные проблемы: автоматизированное создание карт, математико-картографическое моделирование, автоматизированное отображение карт.

В технологию автоматизированного создания карт внедрены новые возможности по корректировке сканированных картографических материалов и получению более качественных и полномасштабных растровых изображений на основе общих и специализированных программ. Отработаны новые методы конвертирования растрового представления пространственных объектов в векторное с использованием специализированных программ интерактивной векторизации растровых изображений ArcView GIS с набором дополнительных модулей расширения.

По данной технологии создан комплекс разномасштабных цифровых картографических основ территорий для целевого проведения различных экологических исследований: на бассейны рек Томь, Алей, Бия, Барнаулка, территории Горного Алтая, Кемеровской области, городов Барнаул, Бийск, Телецкого озера.

Отработана технология геометрической коррекции так называемых "сырых" (без географической привязки) спутниковых данных. В качестве геометрической модели

использовалось полиномиальное преобразование второго порядка. Матрица трансформации при наложении снимка на карту рассчитывалась по 8 опорным точкам. Для эффективного проведения геометрической коррекции особо важным является выбор достаточно достоверных точек привязки. В качестве таковых выбирались пересечения дорог или известные речные объекты (устья, изгибы речной сети и т.д.). Сделан вывод о том, что эффективность результата в большей степени определяется опытом дешифровщика. Технология опробована на примере карт (1:1 000 000) и космических снимков г.Новосибирска (19.01.92) и г.Павлодара (10.02.95).

При создании автономных программных комплексов зачастую необходимы средства работы с картографической информацией без использования специализированных ГИС. В качестве такого средства предложено использовать специализированные компоненты, входящие в систему GeoView. На их основе разработан метод получения параметров пространственных объектов по их расположению на карте. Предложенная технология использована в программе "Расчет максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков неизученных рек" (Жоров В.А., Ловцкая О.В., Яковченко С.Г.).

В 2003 - 2004 годах произошли серьезные изменения в составе и структуре лаборатории. В 2003 года лаборатория информатики переименована в лабораторию картографирования и геоинформатики, в 2004 году – в лабораторию гидрологии и геоинформатики, возглавил ее В.А.Жоров, гидролог по образованию и призванию. В связи с этим, большая часть работ в последние годы связана с разработкой концептуальной ландшафтно-гидрологической модели. В этих работах участвовали все сотрудники лаборатории.

Разработаны первые варианты методик долгосрочного (с заблаговременностью 1-2 месяца) прогноза максимальных уровней весеннего половодья для различных створов бассейна р. Томи. Методики основаны на учете максимальных снегозапасов, осеннего увлажнения, глубины промерзания почвы на открытых участках.

Разработана технология создания гидрологически корректных цифровых моделей рельефа на основе совместного использования данных дистанционного зондирования (Shuttle Radar Terrain Mission, Landsat) и крупномасштабных топографических карт..

Совмещением ландшафтной информации с цифровыми моделями рельефа создана основа для дифференциации речных бассейнов по характеру формирования стока и определения параметров распределенных гидрологических моделей.

Разработан блок формирования и таяния снежного покрова, учитывающий рельеф, орографию и пространственное распределение составляющих радиационного баланса. Создана технология картографирования снегозапасов на основе ГИС и данных дистанционного зондирования.



Разработана модель расчета подземного питания и баланса грунтовых вод на основе ГИС. Проведены практические расчеты для элементарных бассейнов, находящихся в различных природных условиях.

Разработан блок русловой трансформации с распределенными параметрами, определяемыми с использованием ГИС. Проведена его калибровка на различных участках речной сети бассейна р. Томи.

Расчет русловой трансформации с применением численных моделей требует дополнительной информации о морфометрии русел, коэффициентах шероховатости и уклонах водной поверхности, которая может быть получена только в результате специальных трудоемких полевых измерений. Использование вероятностной модели добегания совместно с цифровыми моделями рельефа позволяет с высокой степенью точности рассчитывать трансформацию расходов и уровней воды по длине речной сети только по данным стандартной сети наблюдений.

С использованием ландшафтно-гидрологического и вероятностного подходов к описанию процессов формирования стока, ГИС-технологий и данных космического зондирования разработана и реализована приближенная модель с территориально-распределенными параметрами. Произведено ландшафтно-гидрологическое зонирование модельных бассейнов. Определены гидрологические параметры ландшафтов для расчета гидрографов стока.

2007 год – новый этап в жизни лаборатории. Практически полностью обновился ее состав и, соответственно, направление работ. Заведующим лаборатории избран А.Т.Зиновьев. С учетом знаний и научных интересов новых сотрудников сформирована следующая тематика:

- разработка и совершенствование математических моделей гидрологических и гидрофизических процессов в водоемах и водотоках
- математическое моделирование русловых процессов и гидроледотермических явлений на реках
- разработка программных комплексов для численного моделирования процессов теплопереноса в водоемах, водотоках и на водосборе
- гидрологические расчеты и прогнозы
- информатика и геоинформационные системы
- создание картографических баз данных, программных средств и технологий обработки и визуализации пространственных данных
- разработка программных средств и технологий создания и ведения тематических баз данных
- обработка данных дистанционного зондирования
- разработка методов комплексной оценки и анализа состояния и динамики развития природной среды с применением математического моделирования, цифрового картографирования,

геоинформационных технологий, ландшафтных, гидрологических и других тематических исследований

- разработка методов оценки количества и качества поверхностных вод на водосборных бассейнах для целей их прогнозирования, управления водохозяйственной и экологической ситуацией в речных бассейнах

- создание информационно-моделирующих и геоинформационных систем природоохранного назначения локального, регионального и межрегионального уровней и прогноза экологического состояния территорий

- создание распределенных проблемно-ориентированных ГИС; разработка и адаптация сетевых геоинформационных технологий.

1. Ловцкая О.В. Лаборатория гидрологии и геоинформатики. Часть 1 / Сборник статей, посвященный 20-летию юбилею ИВЭП СО РАН. – Барнаул, ИВЭП СО РАН, 2007. - С. 14–22.