

УДК 574.58:574.5.08

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ И ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**В. И. Дулепов, О. А. Кочеткова,
А. В. Вензик**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт проблем морских технологий» ДВО РАН¹
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Дальневосточный
государственный технический рыбохозяйственный университет²

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) широко используются для экологического мониторинга морских акваторий и картографического описания источников загрязнения. Для прямого использования цифровых данных необходимо учитывать особенности взаимного конвертирования различных форматов ГИС. В работе дается сравнительная характеристика наиболее распространенных ГИС и их форматов, получивших применение при составлении экологических карт. Исходными материалами для построения баз данных служат справочные сведения о наиболее распространенных авторских модулях и расширениях ГИС, упрощающих работу специалиста-эколога. Для автоматизированного доступа к экологической информации разработана база данных в среде Microsoft Access 2010 и произведен анализ более 2000 протоколов Центра лабораторного анализа и технических измерений по Приморскому краю. Основу баз данных составляют результаты гидрохимического мониторинга, согласованного с проектной документацией о природе загрязнения и особенностях наблюдаемых сбросов. Комплекс прикладных программ, входящих в состав ГИС, используется для представления первичной информации об источниках загрязнения рыбохозяйственного водоема. Конечный результат проведенного исследования состоит в инвентаризации источников сброса загрязняющих веществ.

ВВЕДЕНИЕ

Первичный учет сбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в морскую акваторию включает в себя определение источников загрязнения, номенклатуры и концентрации загрязняющих веществ. Инвентаризацию источников загрязнения применяют для выполнения заданий государственного плана и других мероприятий по сокращению количества ЗВ, сбрасываемых в морскую акваторию. При этом оцениваются затраты на мероприятия по охране водоемов и влиянию загрязняющих веществ на морских гидробионтов. Данные первичного учета источников загрязняющих веществ используются на предприятии для

производственного контроля, статистической отчетности и инвентаризации выбросов в водоем.

В работе ставилась цель провести инвентаризацию источников гидрохимического загрязнения исследуемых акваторий и оценить распределение сбросов загрязняющих веществ на предприятиях, прилегающих к бухте Золотой Рог и проливу Босфор Восточный. В качестве топографической основы был использован ситуационный план (карта-схема) расположения предприятия с построением знакового слоя. В городах вблизи береговой линии в морской воде нередко обнаруживается патогенная микрофлора. Степень загрязнения постоянно растет. Наибольший вред прибрежным водам

причиняет выпуск в них неочищенных сточных вод – промышленных, коммунально-бытовых, коллекторно-дренажных и других [1]. Промышленные сточные воды загрязняют экосистемы самыми разнообразными компонентами (см. рис. 1, 2). Загрязняющие вещества сточных вод, попадая в природные водоемы, приводят к качественным изменениям, которые в основном проявляются в изменении физико-химических свойств воды. Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями морских вод являются разнообразные химические соединения,

¹ 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел./факс: (423) 2432416.

² 690091, Владивосток, ул. Светланская, 25. Тел.: (423) 2221600.

токсичные для обитателей водной среды. Это соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди, фтора. Большинство из них попадает в воду в результате человеческой деятельности. Тяжелые металлы поглощаются фитопланктоном, а затем передаются по пищевой цепи более высокоорганизованным организмам. Кроме того, к опасным источникам загрязнения водной среды можно отнести неорганические кислоты и основания, изменяющие кислотность воды [2].

Решение задач долговременного и оперативного мониторинга морских акваторий предполагает разработку информационных технологий и моделей, позволяющих формировать, обрабатывать и представлять в нужном виде весь объем данных о состоянии водной среды. Информационные технологии служат прежде всего цели экономии ресурсов путем поиска и последующего использования информации для повышения эффективности человеческой деятельности. В настоящее время исследования по охране окружающей среды ведутся во многих областях, связанных так или иначе с проблемами загрязнения и экологическими угрозами на суше и в океане. Однако информация по этим исследованиям рассеяна по многочисленным первоисточникам. Большие объемы экологической информации, данные многолетних наблюдений, новейшие разработки разбросаны по различным информационным базам или даже находятся на бумажных носителях в архивах. Это не только затрудняет их поиск, использование, но и приводит к сомнению в достоверности данных и эффективном использовании средств, выделяемых на экологию из бюджета, иностранных фондов или коммерческими структурами [3].

Современные информационные технологии предназначены для поиска, обработки и распространения больших массивов данных, создания и эксплуатации различных информационных систем, содержащих базы и банки данных и знаний.

Важнейшими подсистемами автоматизированных информационных систем (АИС) являются базы и банки данных, а также относящиеся к классу систем искусственного интеллекта экспертные системы. Особое значение приобретают геоинформационные системы как наиболее развитые глобальные АИС в экологии. Автоматизированные системы, предназначенные для интеграции разнородной информации, называются информационно-моделирующими системами (ИМС). Они представляют собой информационное «ядро» географических информационных систем, создаются в идеологии, объединяющей концепции банков данных и знаний (экспертных систем) и систем моделирования. Благодаря этому ИМС не только сохраняет преимущества объединяемых видов систем, но и приобретает новые качества, связанные с возможностью интегрирования разнородной информации, накапливаемой в моделях и базах знаний. ИМС рассматриваются как перспективный инструмент для решения региональных экологических проблем и повышения качества окружающей среды [4].

1. Материалы и методы

При разработке базы данных использовалась операционная система Windows 7 Premium, программное обеспечение (ПО): офисный пакет Microsoft Office, графический редактор FastStone Image Viewer, навигационная программа SAS.Planet.Release, ГИС-пакет Google Планета Земля.

Система управления базами данных Access (СУБД Access) входит в стандартный набор прикладных программ пакета Microsoft Office. Эта система предоставляет значительные возможности по работе с хранящимися данными, их обработке и совместному использованию. Можно производить обмен данными между компонентами СУБД Access и другими приложениями Windows. СУБД Access – система сложная и многозначная. Одинаковый результат может быть достигнут различными путями.

Все объекты, относящиеся к одной базе данных, Access хранит в одном большом файле с расширением accdb (mdb). В разрабатываемой базе данных предусмотрены следующие объекты.

1. **Таблицы** – основные объекты любой базы данных. В таблицах хранятся все данные, имеющиеся в базе, кроме того, таблицы хранят и структуру базы – поля, их типы и свойства (таблицы 1–5).

2. **Запросы** служат для извлечения данных из таблиц и предоставления их пользователю в удобном виде. С помощью запросов выполняют такие операции, как отбор данных, их сортировка и фильтрация. Дополнительно можно выполнять преобразования данных по заданному алгоритму, создавать новые таблицы, выполнять автоматическое наполнение таблиц данными, импортированными из других источников, выполнять простейшие вычисления в таблицах и многое другое.

3. Если запросы – это специальные средства для отбора и анализа данных, то **формы** – это средства для ввода данных. Смысл их тот же – предоставить пользователю средства для заполнения только тех полей, которые ему заполнять положено. Одновременно с этим в форме можно разместить

специальные элементы управления (счетчики, раскрывающиеся списки, переключатели, флажки и прочее) для автоматизации ввода. Преимущества форм раскрываются особенно наглядно, когда происходит ввод данных с заполненных бланков. В этом случае форму делают графическими средствами так, чтобы она повторяла оформление бланка – это заметно упрощает работу наборщика, снижает его утомление и предотвращает появление печатных ошибок [5].

4. **Отчеты** по своим свойствам и структуре во многом похожи на формы, но предназначены только для вывода данных, причем для вывода не на экран, а на принтер. В связи с этим отчеты отличаются тем, что в них приняты специальные меры для группирования выводимых данных и для вывода специальных элементов оформления, характерных для печатных документов.

Входными данными информационными задач являются: географический объект (экологический полигон), район, данные об источниках загрязнения (ИЗ), состав сточных вод и т.д. На этапе инфологического проектирования базы данных строится инфологическая модель (ИЛМ) предметной области, которая должна отражать семантику (смысл взаимосвязи объектов) предметной области (табл. 1). ИЛМ строится не для отдельного объекта, а отображает классы объектов и связи между ними. Диаграмма, отражающая связи объектов предметной области, называется диаграммой ER-типа (так как Entity – сущность, Relationship – связь) [6].

Выделим основные сущности: «Источник», «Экополигон», «Вещество».

Сущность «Источник загрязнения» содержит информацию обо всех ИЗ сточными водами, в кото-

рых есть вещества с превышением ПДК. Отдельный экземпляр этой сущности соответствует не конкретному экземпляру ИЗ, а описанию источника в целом. Сточные воды от ИЗ могут иметь несколько ингредиентов, превышающих ПДК, поэтому вводится сущность «Вещество». Каждый экземпляр сущности «Вещество» содержит информацию о конкретном ингредиенте. Между сущностями «Источник загрязнения» и «Вещество» существует связь типа «1: М», необязательная с обеих сторон. Сущность «Экополигон» содержит информацию о районе исследований источников загрязнения. Отдельный экземпляр этой сущности содержит информацию об одном районе. Существует связь между сущностями «Экополигон» и «Вещество» типа «1: М», обязательная

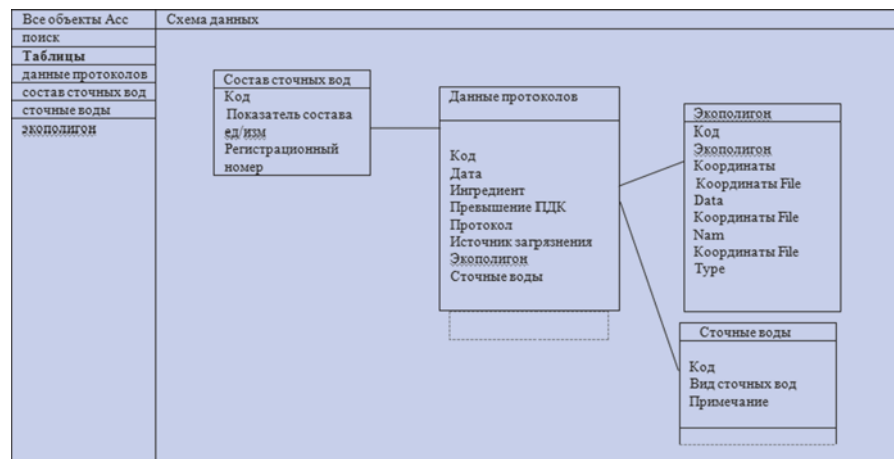
с обеих сторон (если есть информация об ингредиенте, то должен быть и географический объект (район), в границах которого этот ингредиент находится). Определяются ключи – уникальные идентификаторы экземпляров каждой сущности. Для сущности «Источник загрязнения» – это Код ИЗ, для сущности «Вещество» – Код ингредиента, для сущности «Экополигон» – Код района исследований.

Физическое проектирование в среде СУБД Microsoft Access 2010. В выбранных таблицах и атрибутах определим типы данных и размерность атрибутов. В таблицах выберем первичные ключи и индексированные поля. Привязка к источникам информации (протоколам) обозначена в поле “OLE”, как прикрепленный файл в формате Microsoft Word-2003.

Таблица 1. Метод инфологических связей и проектирование базы данных

Информация об экологическом полигоне	Информация об источнике загрязнения	Информация о составе сточных вод
Уникальный код экополигона	Уникальный код ИЗ	Код веществ
Название	Наименование ИЗ	Название
Координаты	Тип сточных вод	Код экополигон
	Вещество с превышением ПДК	Код ИЗ
	Дата взятия пробы	
	Дополнительная информация	

Таблица 2. Структура связей «Источники загрязнения водоема сточными водами» (копия системной таблицы)



База данных результатов мониторинга залива Петра Великого представляет собой структуру из четырёх взаимосвязанных таблиц (табл. 2–5). Таблицы связаны друг с другом двумя видами связи «Один-к-одному» и «Один-ко-многим». Информация в таблицах содержится в следующих типах данных: текстовый, числовой и дата. Условно все таблицы из базы данных можно разделить на две группы: таблицы-справочники и информационные. К группе таблиц-справочников относятся две таблицы: «Экополигон» и «Сточные воды». Данные таблицы составляют определенный каркас для информационных таблиц.

Информационные таблицы несут в себе информацию о результатах мониторинга. Эти таблицы постоянно обновляются по мере поступления материала. К этой группе относятся две другие таблицы: «Данные протоколов» и «Источники загрязнения». Основную тематическую нагрузку несет в себе таблица «Источники загрязнения».

При просмотре таблиц организована удобная функция оперативного доступа к протоколам, находящимся в отсканированном виде. Еще одним важным аспектом создания этой базы данных является представление занесенной информации в виде отчетов, диаграмм, запросов и выборки параметров. Это позволит удобнее выявлять многолетние динамические показатели.

Карта в цифровой форме представляет собой изображение всех элементов карты в виде набора точек, линий, площадных объектов (полигонов), положение которых в пространстве привязано в определенной системе координат. Системы координат могут быть как местные (условные), так и глобальные, принятые для отдельных

Таблица 3. Структура таблицы «Состав сточных вод» (копия системной таблицы)

Данные протоколов		
Имя поля	Тип данных	Описание
Код	Счетчик	
Дата	Дата/время	Дата взятия пробы
Ингредиент	Числовой	
Превышение ПДК	Числовой	
Протокол	Поле объекта OLE	Протокол результатов анализа природных и сточных вод
Источник загрязнения	Текстовый	Наименование субъекта, источника сточных вод
экополигон	Числовой	
Сточные воды	Текстовый	Тип сточных вод

Таблица 4. Структура таблицы «Экополигон» (копия системной таблицы)

Состав сточных вод		
Имя поля	Тип данных	Описание
Код	Счетчик	
Показатель состава	Текстовый	Ингредиент
Ед. изм.	Текстовый	
Регистрационный номер метода	Текстовый	Регистрационный номер методики определения ингредиента

Таблица 5. Структура данных протоколов (копия системной таблицы)

Экополигон		
Имя поля	Тип данных	Описание
Код	Счетчик	
Экополигон	Текстовый	Наименование района экологических исследований
Координаты	Вложение	Открыть карту

стран и регионов мира или для всего земного шара. В первом случае объекты карты привязаны относительно произвольных прямоугольных координат, например, нулевое значение координат выбрано в левом нижнем углу карты. Во втором случае все объекты привязаны в глобальных прямоугольных или географических системах координат на поверхности земного шара. Программы, позволяющие создавать цифровые карты в глобальных системах координат, называются Географическими Информационными Системами (ГИС). Таким образом, первой и наиболее важной особенностью цифровых карт является возможность изображения объектов картографирования и условий пространственного взаимоотношения между ними на основе реальных географических

координат, а также возможность прямого использования данных спутниковой привязки объектов наблюдения и опробования к объектам карты.

Второй особенностью цифровых карт для экологической информации является возможность внесения информации об объектах, изображенных на картах, в специальные (атрибутивные) таблицы, которые являются неотъемлемым элементом каждого картографического объекта. Таблицы содержат как обязательную служебную информацию о типе картографического объекта, так и любую содержательную экологическую информацию об объектах картографирования по усмотрению авторов. Именно это дает основание называть ГИС информационной системой. Графические редакто-

ры не имеют возможности нести какую-либо информацию об объекте картографирования, кроме изобразительной составляющей.

Третьей особенностью ГИС и цифровых карт является возможность изменения системы координат (перепроецирование данных) и соответственно отображения всей картографической информации в любой из известных картографических проекций мира [7].

Четвертая особенность цифровых карт – возможность (при наличии заполненных атрибутивных

таблиц) использования атрибутивной информации для создания надписей и оформления картографических объектов в автоматическом и интерактивном режимах, а также формирование любых видов выборок и запросов [8].

Построение карт с отображением индекса загрязнения (рис. 1) показывает интенсивность загрязнения при проведенной нами инвентаризации источников сбросов. По данному изображению можно наблюдать содержание интенсивности загрязнения.

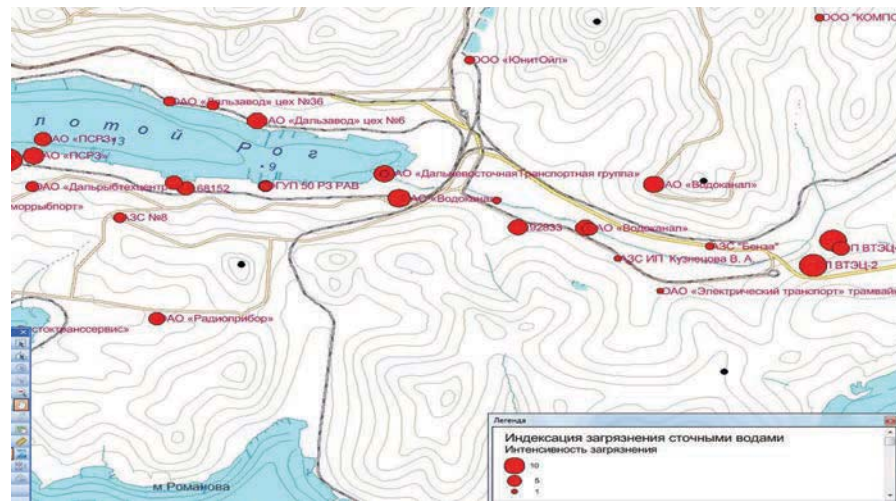


Рис. 1. Интенсивность индекса загрязнения

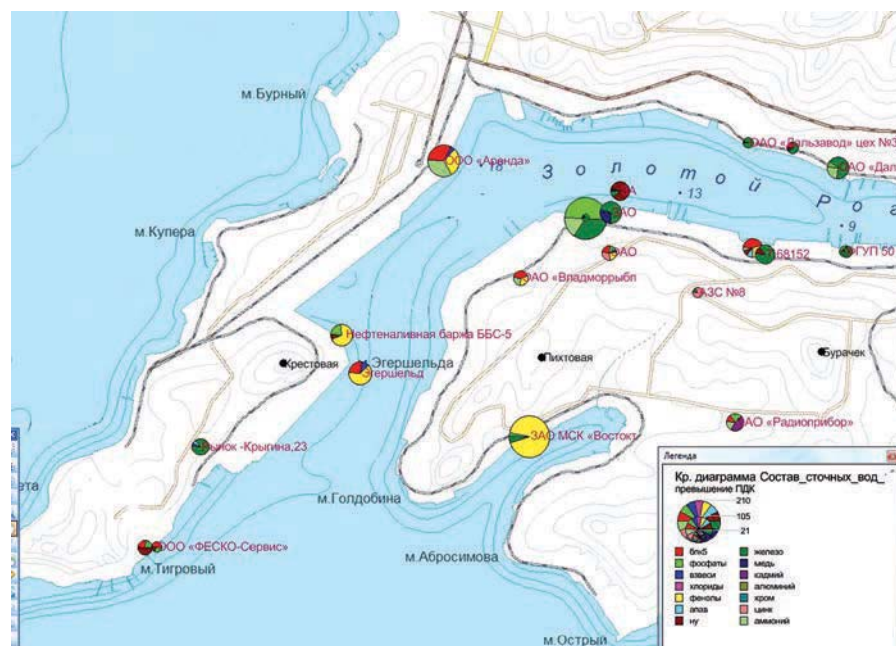


Рис. 2. Превышения норм ПДК

Индекс загрязнения рассчитывается по формуле:

$$ИЗВ = \sum_{i=1}^4 \frac{C_i}{ПДК_i} \div 4,$$

где C_i – концентрация трех наиболее значительных загрязнителей, среднее содержание которых в воде исследуемой акватории в наибольшей степени превышало ПДК. Четвертым обязательным параметром является содержание растворенного в воде кислорода, для которого значение в формуле рассчитывается делением норматива на реальное содержание. [9]

На рис. 2. отображена информация по превышению норм ПДК исследуемых нами источников сбросов. По данным выпускам представлена информация в виде диаграмм с превышением норм предельно допустимых сбросов по наиболее часто встречающимся гидрохимическим показателям.

ВЫВОДЫ

Для систематизации данных об источниках загрязнения, полученных в результате многолетних измерений параметров загрязняющих веществ, сформирована геоинформационная база с использованием методов ГИС-технологий. Определена экологическая информационная система (ЭИС) как региональная автоматизированная экспертная система по экологии и природоохранной деятельности. Эта система включает всю совокупность данных мониторинга и состоит из трех основных компонентов:

- системы управления базами данных (СУБД), обеспечивающей хранение и оперативную выборку необходимой информации (этапы «склеивания, складирования и со- вмещения данных»);

- геоинформационной системы (ГИС), преобразующей информацию о территории в виде набора предметных слоев на электронной карте местности и осуществляющей пространственную экстраполяцию расчетных показателей («компьютерная томография»);

- пакета прикладных программ (ППП), включающего библиотеку математических методов, синтезирующих набор решающих правил (коллектив предикторов) для оценки качества экосистемы и анализа причинно-следственных связей этой оценки с факторами среды («разведывательный» анализ и восстановление зависимостей).

Данное представление подсистем ЭИС основано на традиционной классификации компонентов программного обеспечения, разрабатываемого как российскими, так и ведущими мировыми производителями. Современные тенденции развития компьютерной технологии делают нерациональными трудозатраты каждого конкретного пользователя на разработку собственных версий СУБД, ГИС или ППП, поскольку на рынке программного обеспечения существуют многочисленные варианты соответствующих пакетов и инструментальных сред, различающихся только функциональностью, техникой внутренней реализации и стоимостью.

На этапе предпроектных исследований возможности создания региональной информационной системы были определены концептуальные положения, конкретизированы ее основные задачи:

- централизованное объединение информации, комплексно характеризующей состояние и использование природных ресурсов региона;

- максимальное информационное обеспечение природоохранных служб региона в выполнении функций общего экологического контроля за состоянием окружающей природной среды;

- оперативное использование информации для оценки экологической ситуации и принятия управленческих решений;

- обеспечение органов государственного управления, научных, проектных и общественных организаций, населения необходимой достоверной информацией о состоянии природной среды;

- развитие и совершенствование системы обмена научно-технической информацией, внедрение технических и организационно-экономических решений в области охраны окружающей природной среды;

- обеспечение исходными данными ряда прикладных задач по экономике природопользования, нормированию вредных воздействий на окружающую среду.

По всем указанным общим и более частным вопросам информационная система осуществляет:

- упорядоченный сбор и хранение информации по единой методике с использованием современных информационных технологий;

- быстрый доступ к полной экологической информации для всех уровней управления охраной природы в области, а также для других организаций и т.д.

С учетом поставленных целей и перечня решаемых задач она получила наименование «Единая региональная информационная система природопользования» (ЕРИСП).

Авторы выражают благодарность В.В. Жарикову за обсуждение постановки задачи и оказанную помощь при подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кувшинов А. И., Ворсина А. В. Экологическая безопасность морских акваторий // Материалы IV Междунар. эколог. форума «Природа без границ». Владивосток: ООО «РЕЯ», 2009. С. 159–162.
2. Наумов Ю. А. Прогноз экологического состояния залива Петра Великого и других акваторий Дальнего Востока. Владивосток: ВГУЭС, 2011. 246 с.
3. Дулепов В. И., Кочеткова О. А. Мониторинг тяжелых металлов в природных водах Владивостока // Материалы 5-й Всерос. науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения Мирового океана». Владивосток, 2013. С. 341–343.
4. Преображенский Б. В. Метафизика и метаморфозы естествознания: издание второе, испр. и доп. Владивосток: Эмахо, 2010.
5. Лучин В. А., Тихомирова Е. А., Круц А. А. Океанографический режим вод залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИПРО. 2005. Т. 140. С. 130–169.
6. Богданов К. Т., Горбачев В. В., Мороз В. В. Атлас приливов Берингова, Охотского и Японского морей / ТОИ ДВО РАН. Владивосток, 1991. С. 27–29.
7. MapInfo Professional 11.0. GNU version 2.1. 625 с.
8. Шишкин М. А., Калаус С. В., Синькова Е. А. и др. Методическое пособие по составлению цифровых карт. Санкт – Петербург, 2009. 245 с.
9. Качество морских вод по гидрохимическим показателям / ГОИ им. Н. Н. Зубова. Обнинск, 2010. 15 с.

