

МОДЕЛЬ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ГИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ «ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КАРТА РЕГИОНА»

А. И. Водяхо¹, Н. Г. Мустафин¹, А. Ю. ПЕРВИЦКИЙ¹, А. В. ПОНОМАРЕВ¹,
С. В. САВОСИН¹, С. И. КРАСОТКИН², В. В. ШАТОВ²

¹Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, ²Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского

¹СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178; ²ВСЕГЕИ, Средний проспект, д. 74 Санкт-Петербург, 199106

¹<namustafin@mail.eltech.ru>, ²<skras@vsegei.spb.ru>

УДК 681.3

Водяхо А. И., Мустафин Н. Г., Первицкий А. Ю., Пономарев А. В., Савосин С. В., Красоткин С. И., Шатов В. В. Модель данных для решения аналитических задач в ГИС-ориентированной «Геолого-экономическая карта региона» // Труды СПИИРАН. Вып. 4. — СПб.: Наука, 2007.

Аннотация. Геоинформационные технологии в настоящее время широко используются во многих сферах человеческой деятельности. При этом требования к автоматизации процесса работы человека с картографической информацией изменяется от узконаправленного применения универсальных ГИС-сред для представления и отображения картографических объектов к необходимости иметь инструмент, автоматизирующий в комплексе бизнес-процессы, выполняемые в заданной предметной области. В статье рассматриваются возможные подходы к построения ГИС ориентированных систем для создания и поддержания геолого-экономических карт. — Библ. 7 назв.

UDC 681.3

Vodyaho A. I., Mustafin N. G., Pervitskij A. Ju., Ponomarev A. V., Savosin S. V., Krasotkin S. I., Shatov V. V. Data model for analytical Problems solving in GIS based system «Geological Economic Map of Regions» // SPIIRAS Proceedings. Issue 4. — SPb.: Nauka, 2007.

Abstract. GIS technologies now are widely used in many spheres of human activity. According to a modern approach GIS is not only a tool for displaying maps but it is a complex application for solving sophisticated problems in different business areas. In these article possible approaches to construction of GIS based analytical systems for creation and maintenance of geo-economic maps are discussed. — Bibl. 7 items.

1. Введение

Геоинформационные технологии в настоящее время широко используются во многих сферах человеческой деятельности. При этом требования к автоматизации процесса работы человека с картографической информацией изменяются от узконаправленного применения универсальных ГИС-сред для представления и отображения картографических объектов к необходимости иметь инструмент, автоматизирующий в комплексе бизнес-процессы, выполняемые в заданной предметной области.

Использование популярных универсальных ГИС-пакетов только лишь для подготовки, хранения и публикации картографических материалов уже не удовлетворяет возросшим потребностям пользователей. Необходимо интегрировать все информацию о предметной области, включая картографическую и фактографическую информацию об объектах, а также знания о существующих связях между объектами. Решение задачи интегрированного, целостного, непротиворечивого, избыточного представления данных позволяет обеспечить

возможность использования предметно-ориентированной ГИС-среды не только в качестве средства представления картографических данных, но и как основу для выполнения задач аналитического характера, задач моделирования бизнес-процессов [1].

Требование интегрированного и целостного представления данных диктует целесообразность построения системы с использованием объектно-ориентированного подхода. При таком подходе основой модели системы является не картографическое представление, а целостные сведения о представляемых объектах, в которых картографическая составляющая является одной из характеристик.

Основным недостатком большинства существующих на сегодня инструментальных ГИС является недостаточная продуманность в подходе к формированию цифровой карты как существенно нереляционной модели данных. Как правило, структура карты представляется линейным списком слоев. Пользователям таких систем достаточно создать слой и приступить к наполнению электронной карты пространственными объектами. Через некоторое время появляется электронная карта участка территории, но пользователь начинает понимать, что все созданное не подготовлено к автоматизированному анализу, а просто копирует бумажные карты.

Для отражения геообъектов и их реальных отношений концепции слоев недостаточно — необходим объектно-ориентированный подход. В инструментальных ГИС, реализующих такой подход, создание электронных карт начинается с анализа тех объектов реального мира, которые будут присутствовать в электронной карте. По результатам анализа при помощи объектно-ориентированных средств ГИС формируется классификация геолого-экономических объектов и лишь затем начинается наполнение электронной карты экземплярами пространственных описаний этих объектов.

В то же время информационный аспект решаемых задач определяет необходимость проектирования реляционной модели данных, соответствующей объектной модели предметной области и реализуемой на основе существующих промышленных высокопроизводительных СУБД.

В данной работе рассматриваются эти задачи, применительно к построению геоинформационно-аналитической системы «Геолого-экономические карты региона».

2. Постановка задачи

Отсутствие эффективных средств формирования, хранения, представления и аналитической обработки комплексной взаимосвязанной информации о состоянии и перспективах развития минерально-сырьевой базы (МСБ) и минерально-сырьевого комплекса (МСК) регионов страны и РФ в целом отрицательно сказывается на эффективности деятельности отраслевых институтов и подразделений Министерства природных ресурсов РФ. Следствием данной проблемы является отсутствие необходимой оперативной геолого-экономической информации для принятия обоснованных управленческих решений на всех уровнях административной иерархии, а также значительные временные и трудовые затраты на формирование и получение согласованной фактографической и картографической информации о МСБ и МСК территории [2,3].

Поэтому была поставлена задача создания ГИС-ориентированного программно-технологического комплекса, интегрирующего геолого-экономические данные и предоставляющего необходимые возможности и инструменты для их анализа и моделирования. Для этого решаются следующие задачи:

- обеспечение ведения и актуализации по результатам мониторинга информации в едином банке данных объектов МСБ и МСК;
- формирование и предоставление первичной и сводной информации об объектах геолого-экономических карт пользователям по запросам;
- анализ геологических и экономических показателей текущего состояния развития МСБ и МСК территории;
- геолого-экономическое районирование территории на основе критерия повышения эффективности (рациональности) совместного недропользования;
- прогнозирование развития (изменения) состояния МСБ и МСК во времени и с учетом возможных изменений в составе и параметрах объектов геолого-экономической карты.

3. Объекты геолого-экономической карты

Будем выделять следующие категории характеристик класса «Объект карты»:

- способы отображения объектов данного класса на карте;
- набор атрибутивных характеристик объектов данного класса;
- набор отношений объектов данного класса с объектами других классов.

Набор отношений описывает все допустимые и запрещенные связи объектов данного класса с объектами других классов.

В системе выделяется две группы объектов: реально существующие объекты (первичные) и виртуальные (производные) объекты, представляющие собой наборы первичных объектов, объединенных по каким-либо правилам. Примером такого виртуального объекта является промышленно-сырьевой узел — пространственно обособленная группа сближенных минерально-сырьевых объектов с единой технологией получения первого товарного продукта на существующих, проектируемых или прогнозируемых горно-обогатительных предприятиях.

К первичным объектам геолого-экономической карты относятся: минерально-сырьевой объект (МСО), горно-добывающее предприятие (ГДП), горно-обогатительное предприятие (ГОП), горно-перерабатывающее предприятие (ГПП), объекты инфраструктуры (населенные пункты, железные дороги, электростанции и др.).

К объектам геолого-экономического районирования относятся: промышленно-сырьевой объект (ПСО), промышленно-сырьевой узел (ПСУ), геолого-экономический район (ГЭР), горно-промышленный комплекс (ГПК).

На рис. 1 представлена структура объектов геолого-экономического районирования. Основой построения является принцип иерархической вложенности объектов.

Основной идеей геолого-экономического районирования является выделение на территории устойчивых образований — промышленно-сырьевых узлов (ПСУ), геолого-экономических районов (ГЭР) и горно-промышленных комплексов (ГПК) для повышения уровня принятия управленческих решений. То

есть вместо управления одиночными месторождениями управление будет осуществляться на уровне более крупных геолого-экономических систем.

Выделение объектов геолого-экономического районирования основывается на принципах компактного расположения и близости технологических процессов первичных объектов. Понятно, однако, что вариантов такого районирования может быть несколько и, несмотря на предпринимаемые шаги по автоматизации процесса группировки первичных объектов, решающее слово здесь всегда остается за экспертом.

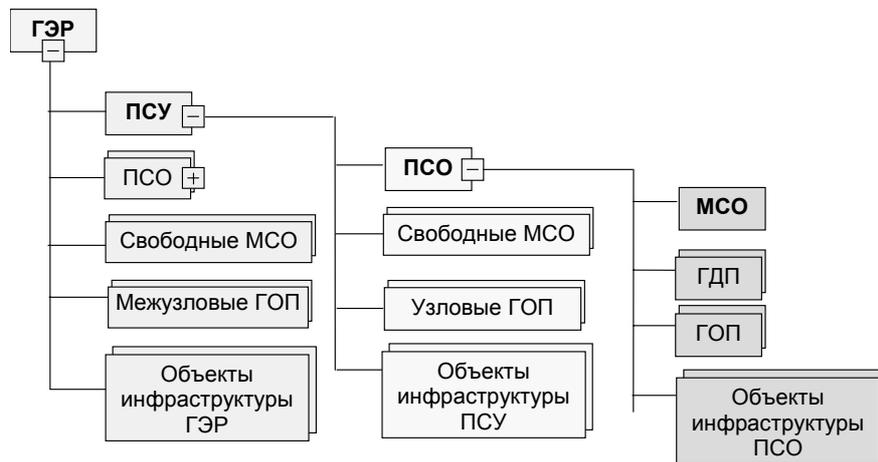


Рис. 1. Состав и структура объектов ГЭР.

4. Принципы моделирования состояния МСБ и МСК

4.1. Версионность описания объектов

При решении задачи анализа развития территории часто возникает необходимость оценить динамику изменения тех или иных характеристик, сравнить различные временные срезы описаний объектов, наконец спрогнозировать будущее состояние при определенных предпосылках.

Для удовлетворения всех этих требований в системе сохраняются все изменения состояния первичных объектов, отслеживаемых в процессе мониторинга.

В системе сохраняются не только последние версии характеристик объектов, но и все их изменения. Это делает возможным следующие виды операций:

- отслеживание динамики изменения определенной характеристики объекта;
- восстановление состояния системы на указанный момент времени.

4.2. Альтернативные сценарии моделирования

Версионность характеристик имеет не только «горизонтальное» направление, то есть существование различных значений характеристики в разные моменты времени, но и «вертикальное», то есть существование различных значений характеристики на один момент времени в рамках разных сценариев моделирования.

Рассмотрим типовую аналитическую задачу — анализ развития совокупности объектов в пессимистическом и оптимистическом сценариях. Для проведения анализа такого рода эксперт должен создать две ветви, соответствующие оптимистичному и пессимистичному вариантам окружения.

Создание новой ветви инициируется установкой пользователем гипотетического значения характеристики. Например, пользователь может задать определенную производительность фабрики, отличающуюся от производительности на данный момент времени, полученной в ходе мониторинга. Другой пользователь может создать гипотетическую фабрику определенной мощности на некоторой территории.

Все изменения, внесенные пользователем, наряду со всеми следствиями этих изменений, объединяются в рамках одного проекта. Поскольку различные проекты, вообще говоря, получены на основании различных предпосылок (задаваемых создателем проекта), результаты работы с проектом (вычисленные значения производных характеристик, виртуальные объекты) специфичны для проекта. Работая над проектом, пользователь не видит результатов, полученных в рамках других проектов. Может существовать дополнительный механизм импорта объектов и характеристик или, в общем случае, слияния двух ветвей, но в рамках базовой стратегии использования проекты являются полностью независимыми.

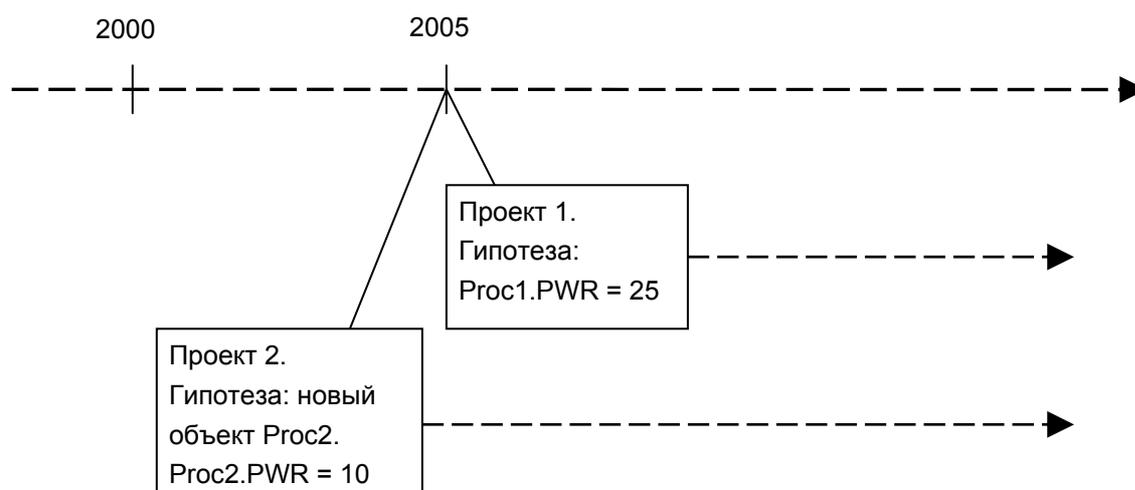


Рис. 2. Альтернативные проекты.

На рис. 2 показано создание двух ветвей моделирования, основанных на разных предпосылках: проект 1 — на скорректированной мощности обогатительного предприятия Proc1, проект 2 — на создании нового предприятия Proc2.

Каждый проект является полноценным вариантом развития событий в том смысле, что к проекту могут быть применены две основные темпоральные операции: получение временного ряда значений характеристики объекта и передвижение временного «окна». Временное окно в рамках проекта точно так же может быть установлено на момент времени в будущем для получения прогноза развития событий в рамках предусмотренных проектом допущений. Однако для получения прогнозов необходимо задать способ (закон) изменения первичных характеристик.

4.3. Асинхронность обновления информации об объектах

Обновления данных в систему поступают, в общем случае, в произвольные моменты времени. Таким образом, по каждому объекту в системе хранится **история его изменений**. Состояние объекта в заданный момент его существования будем называть «версией объекта».

Для совместной обработки объектов в рамках одной модели требуется «приводить» состояние объектов к заданной точке во времени. При отсутствии точного значения параметров объекта на заданный момент времени для этого могут быть использованы различные правила. Например:

- выбирается последнее состояние объекта на момент времени не позже заданного;
- по выборке ближайших имеющихся состояний объекта осуществляется расчет его предполагаемых значений.

4.4. Представление отношений между объектами

Для задач моделирования только информации об объектах геолого-экономической карты недостаточно. Необходимо обеспечить возможность представления взаимоотношений объектов между собой [4]. На геолого-экономической карте каждый из первичных объектов может находиться в следующих видах отношений с другими объектами:

- в отношении вложенности (вхождения в состав);
- в отношениях зависимости по предоставляемым ресурсам (потоки ресурсов).

С отношением вложенности в нашем случае напрямую связано понятие геолого-экономического районирования.

Ресурсы представляют собой материальные или нематериальные сущности, предоставляемые одним объектом ГЭК другому, например руда, электричество, трудовые ресурсы и др.

Помимо указания вида ресурса, каждый поток характеризуется дополнительными характеристиками, соответствующими этому виду (например, количество ресурса, единица измерения ресурса).

С учетом принципа версионности представления объектов ГЭК каждый поток ресурсов характеризует отношение между объектами в рамках их версий. Естественно, в системе необходимо обеспечить согласованность связанных версий объектов с учетом периода актуальности данных версий.

4.5. Формирование объектов геолого-экономического районирования

Формирование объектов геолого-экономического районирования может осуществляться в ручном или полуавтоматическом режиме. Ручной режим означает, что пользователь сам задает список первичных объектов, образующих создаваемый комплексный объект и контур этого объекта. Полуавтоматический режим позволяет автоматизировать некоторые из операций процесса, как правило, просчитывая на множестве исходных данных определенные показатели и

рекомендуя те или иные шаги. Весь ход полуавтоматического выделения узлов может быть представлен как набор обращений к специальным операциям («визуализировать существующие связи», «показать потенциальных спутников» и т.д.). После выполнения операции пользователь может оценить результат, внести изменения и инициировать другую операцию, по своему выбору задав ей определенные входные параметры.

4.6. Динамический мониторинг комплексных объектов на основе изменяющейся информации о первичных

Изменения информации о первичных объектах влекут за собой и корректировку характеристик комплексных объектов, построенных на основе первичных. Корректировка эта имеет две стадии. Во-первых, осуществляется простой пересчет характеристик, а во-вторых, если оказывается, что при новых данных существование данного комплексного объекта не является выгодным, то происходит его расформирование (или реформирование).

4.7. Проект моделирования

В системе используется понятие проекта моделирования. Проект в данном контексте — это набор тех первичных данных и тех результатов, которые были получены для этих первичных данных при использовании определенных методик.

В определенной точке жизненного цикла проекта его содержимое может быть добавлено в базовую линию системы, то есть в набор объектов и значений их характеристик, являющихся принятым состоянием МСБ и МСК.

Пользователь системы работает с проектами точно так же, как и с объектами базовой линии. Создав проект, он может создавать и удалять внутри него объекты, изменять их описания. При этом все эти изменения до момента публикации (слияния с базовой линией) будут частью проекта и доступны только при открытии соответствующего проекта.

Для сравнения различных альтернатив (представленных в различных проектах) пользователь может открывать сразу набор проектов и показывать их на разных слоях карты.

4.8. Прогнозирование развития (изменения) состояния МСБ и МСК во времени и с учетом возможных изменений в составе и параметрах объектов геолого-экономической карты

Прогнозирование состояния МСБ и МСК также базируется на понятии проекта, то есть в рамках созданного проекта можно производить не только статические операции группировки первичных объектов по тем или иным критериям, но и проигрывать динамические сценарии, анализируя изменение параметров объектов во времени.

В основе как статического, так и динамического моделирования находится статическая модель, то есть набор производных признаков объектов и способов вычисления их значений. В рамках статического моделирования эта модель используется для того, чтобы согласованно рассчитать данные по «текущему срезу» характеристик объектов, а в рамках динамического моделирования

рассматривается последовательность изменения параметров объектов во времени, и та же самая модель применяется на каждом временном промежутке.

Для проведения любого вида прогнозных исследований пользователь должен задать следующие входные данные:

- набор исследуемых объектов и интересных для исследователя параметров этих объектов;
- статическая модель, связывающая первичные параметры с производными (таких моделей в принципе может быть несколько, для конкретного исследования должна быть выбрана одна);
- ожидаемые законы изменения первичных характеристик (пользователь либо может задать закон изменения параметров, известный ему, скажем, из литературы, либо вручную сформировать таблицу ожидаемых значений характеристик для каждого временного среза, либо воспользоваться инструментарием экстраполяции, предлагаемым системой).

Далее, существуют две крупные разновидности временных исследований:

- собственно прогнозирование, когда выбранная модель применяется к набору последовательных временных срезов и снимаются результаты производных и первичных характеристик, которые дают представление о развитии системы;
- обратная задача, в ходе которой происходит попытка автоматического подбора какой-либо характеристики объекта в текущем срезе, с тем, чтобы значение определенной характеристики в другом временном срезе было близко к заданному. Для решения обратной задачи в дополнение к перечисленным выше входным данным пользователь должен задать объект и его характеристику, которую нужно подобрать в текущем срезе, и желаемое значение другой характеристики в некотором срезе.

5. Концептуальная модель предметной области

Анализ структуры иерархии и отношений между рассмотренными классами геолого-экономических объектов позволяет отобразить структуру ассоциаций основных классов рассматриваемой предметной области (рис. 3).

При использовании данной концептуальной модели отношений объектов геолого-экономического районирования дополнительно были учтены следующие утверждения и введены следующие понятия.

- Объект административного деления (ОАД) — атомарная административная единица РФ.
- Первичный объект карты (ПОК) — это самостоятельно существующий на карте атомарный объект, который потенциально может являться источником либо потребителем ресурсов.
- Источник ресурса (ИР) — это ПОК, в котором ресурс появляется (производится, добывается).
- Потребитель ресурса (ПР) — это ПОК, в котором ресурс исчезает (используется, потребляется, перерабатывается).
- Классы ПОК: минерально-сырьевой объект (МСО), горнодобывающее предприятие (ГДП), горно-перерабатывающее предприятие (ГПП), объекты инфраструктуры (населенные пункты, электростанции, дороги и др.).

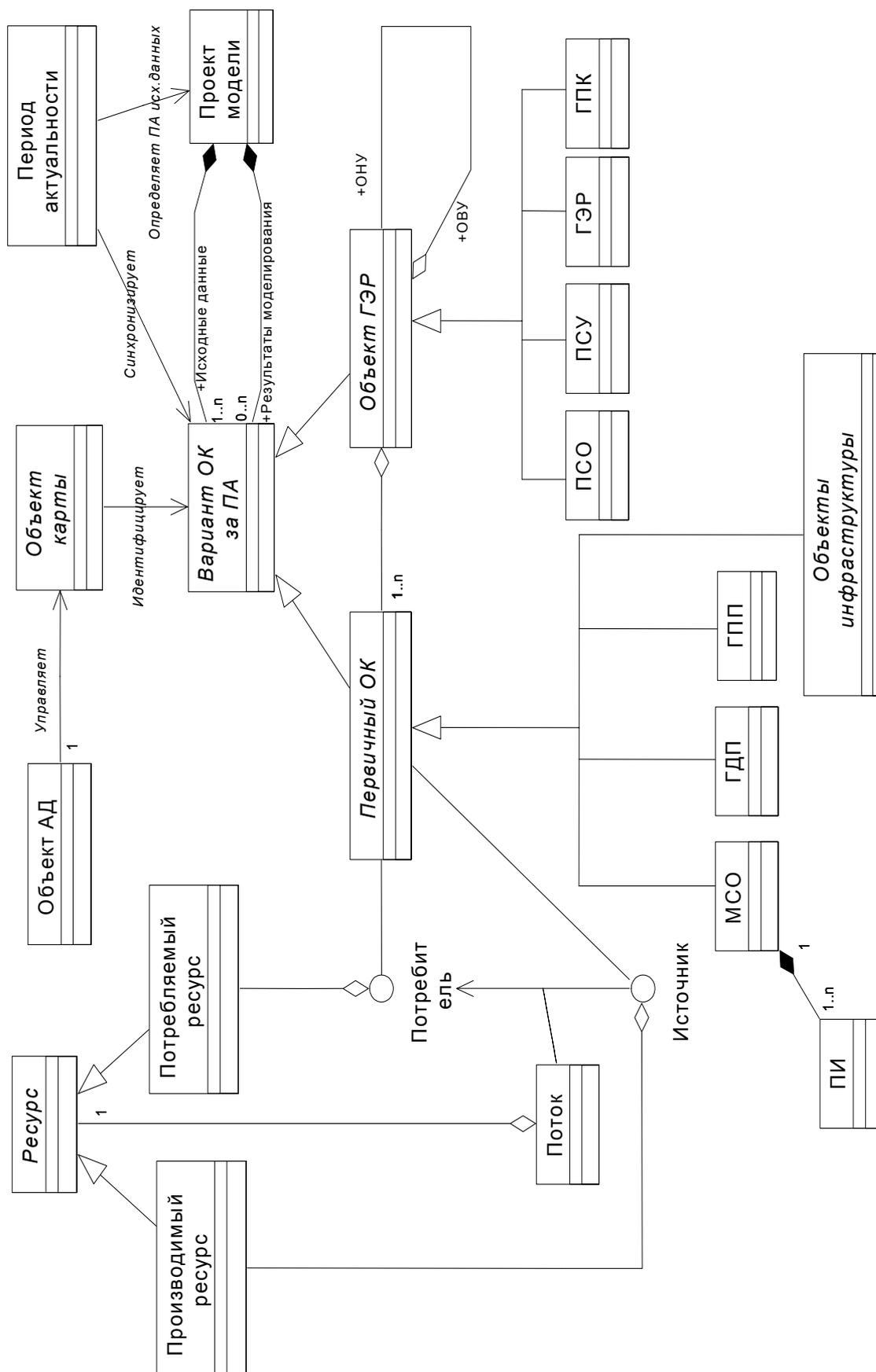


Рис. 3. Фрагмент диаграммы классов рассматриваемой предметной области.

- Объект геолого-экономического районирования (ОГЭР) — представляет собой множество ПОК и ОГЭР, составленное по определенным правилам.
- Совокупность типов объектов районирования (ОГЭР) представляет собой упорядоченное множество: {ПСО, ПСУ, ГЭР, ГПК}. Объект нижнего уровня (ОНУ) — это объект находящийся слева в этом множестве.
- Каждый МСО включает в себя информацию только по одному участку недр. Участок недр входит только в один МСО.
- Каждый ПСО имеет в своем составе не более одного МСО. МСО входит в состав не более чем одного ПСО.
- Каждый ПСО может иметь в своем составе одно или более ГДП. ГДП входит в состав не более чем одного ПСО.
- Каждый ПСО может иметь в своем составе одно или более ГПП. ГПП входит в состав не более чем одного ПСО.
- ПСУ состоит из двух или более ПСО. ПСУ может дополнительно включать ГПП, не входящие непосредственно в какой-либо ПСО.

6. Логическая модель данных (с метамоделью)

Логическая модель БД системы, соответствующая модели классов предметной области представлена на рис. 4. Данная логическая модель описывает не только данные об объектах карты, но и определяет метаданные, которые обеспечивают возможность описания состава, и структуры классов объектов карты [5].

При проектировании модели данных использовались следующие утверждения:

1. Классы объектов в БД соответствуют видам объектов, отображаемых на соответствующих слоях карты.
2. Каждый класс объектов имеет заданный набор характеристик объектов.
3. Между определенными классами объектов существуют связи заданного вида, которые могут представлять собой потоки ресурсов или просто зависимости.
4. Каждый вид связи описывается набором характеристик.

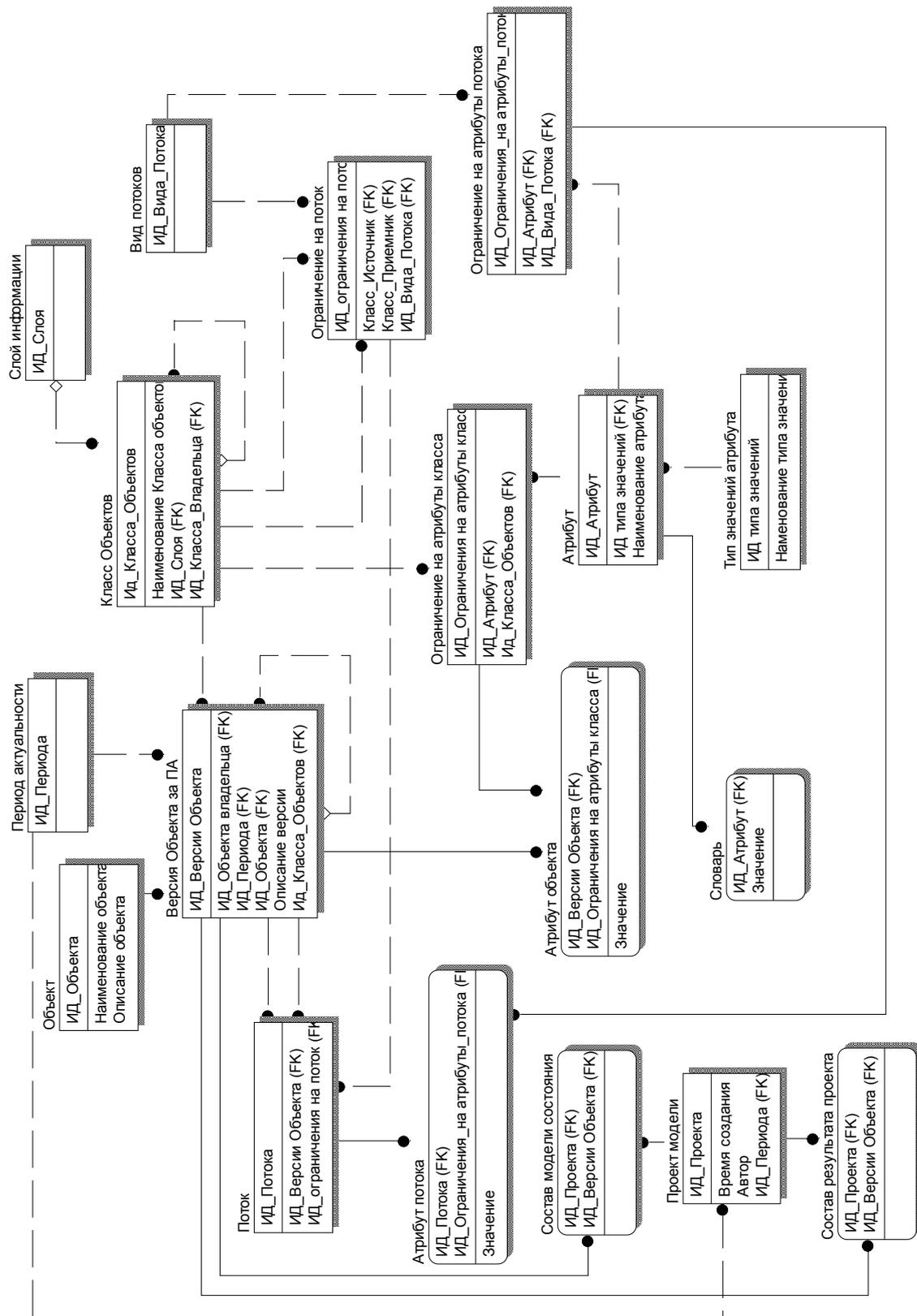


Рис. 4. Фрагмент логической модели данных.

7. Заключение

Представленные модели позволяют реализовать ГИС-ориентированные системы, предназначенные для решения задач прогнозно-аналитического характера в родственных предметных областях на основе универсальных ГИС-сред и реляционных СУБД.

Литература

1. *Сорокин Р.П., Ивакин Я.А.* Применение методов и средств искусственного интеллекта в геоинформационных системах // Труды 2-го международного семинара «Интеграция информации и ГИС». СПб.: Анатолия, 2005. С. 222–231.
2. *Михайлов Б.К., Петров О.В., Шатов В.В., Кимельман С.А., Красоткин С.И.* Геолого-экономические карты федеральных округов России как основа планов воспроизводства МСБ и развития отраслей минерально-сырьевого комплекса России // Теория и практика стоимостной оценки нефтегазовых объектов, совершенствование системы налогообложения. Сборник тезисов докладов. СПб.: ВНИГРИ, 2005. С. 79–89.
3. Методические материалы по построению межотраслевых региональных связей природоресурсного комплекса с добывающими, перерабатывающими и обслуживающими отраслями. М.: СОПС. 2000–2004.
4. *Панькин А.В.* Интеграция гетерогенных информационных потоков, циркулирующих в контуре управления // Труды 2-го международного семинара «Интеграция информации и ГИС». СПб.: Анатолия, 2005. С. 210–215.
5. *Дубенецкий В.А., Мустафин Н.Г., Савосин С.В., Трегубов М.М.* Использование концепции метаданных при проектировании распределенных приложений с картографическим сопровождением // IX Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика-2004». С-Петербург, 22–24 июня 2004 г.: Материалы конференции. СПб., 2004. С. 391.
6. *Дубенецкий В.А., Красоткин С.И., Мустафин Н.Г., Перадзе С.М., Пономарев А.В., Савосин С.В., Трегубов М.М., Узрик С.А., Шатов В.В.* Программно-технологический комплекс единой информационно-аналитической системы «Минерально-сырьевые ресурсы России» // Программные продукты и системы. 2005. №1. С. 9–12.
7. *Дубенецкий В.А., Красоткин С.И., Мустафин Н.Г., Савосин С.В., Трегубов М.М.* Информационно-аналитическое обеспечение мониторинга минерально-сырьевых ресурсов // IX Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика-2004». С-Петербург, 22–24 июня 2004 г.: Материалы конференции. СПб., 2004. С. 357.