

В. Н. Губин¹, В. Н. Кузьмин¹, С. И. Зуй²

¹ *Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

² *ГНПО "НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам"*

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РАЗЛОМНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ КИНЕМАТИКИ В РАМКАХ СТАНДАРТА NADM-C1

В связи с автоматизацией обработки данных при инженерно-геологических изысканиях все чаще используется термин *цифровая модель*. Он появился в понятийной структуре цифровой картографии в контексте цифровой модели местности как альтернативы аналоговой карты. По определению *цифровая (картографическая) модель* означает собой логико-математическое представление в цифровой форме объектов (картографирования) и отношений между ними [ГОСТ]. Это определение отличается от понятия "модель данных" лишь утверждением о цифровой форме представления объектов. Карта в этом контексте выступает как набор неструктурированных объектов. Если предположить, что объекты могут иметь внутреннюю структуру, понятие "цифровая модель" в рамках объектно-ориентированного подхода выступает как "цифровая модель объекта". В настоящее время последний является преобладающим в информационных технологиях. В его основе лежат системные требования о возможности наследования признаков объекта при его трансформациях, наличия свойств полиморфности (многовариантностей связей) в отношениях с другими объектами и инкапсуляции как средства поддержания целостности объекта.

Основой цифровой формы объектов выступает бинарный код, который служит для компьютерной обработки пространственных и семантических данных и их ретрансляции (представления) в предустановленные для периферийных устройств форматы. Следует отметить, что для разработки цифровых моделей и их представлений существуют программно-аппаратные средства, рассчитанные на компьютеры разной производительности и архитектуры, а также на разработчиков различного уровня подготовки.

В настоящей работе представлена схема цифровой модели, связанной с разрывно-тектонической кинематикой. Их логико-математическое представление основано на вышеупомянутом объектно-ориентированном подходе. Модель разработана в соответствии со спецификациями отечественного классификатора топографической информации (КТИ) [ГОСТ] и североамериканской модели для геологического картографирования (North American Geologic Map Data Model – Conceptual Model 1.0, NADM-C1, 2004 г.) [NADMSC, 2004]. Концептуальная модель NADM-C1 является объектно-ориентированной, а ее описание или онтология (иерархия классов) дана в терминах языка UML (универсальный язык моделирования), разработанного специально для создания сложно-структурированных концептуальных моделей. Диаграммы UML-структуры создаются визуальным образом и могут непосредственно интерпретироваться программными средствами, создавая цифровые модели различного уровня для хранения, обработки и представления информации в тех или иных компьютерных средах.

Зафиксированная онтология (стандарт) NADM-C1 состоит из трех иерархических уровней. Более низкие уровни могут создаваться и дополняться по правилам UML языка непосредственно самими пользователями. Каждый уровень содержит конечное число сущностей, которые могут дополняться описательными атрибутами. Связи между уровнями носят обобщающий характер, а связь сущность-атрибут – ассоциативный. Наиболее значимые сущности NADM-C1 для настоящей работы приведены в табл. 1. Выделение классов и подклассов в отдельной колонке происходит по принципу иерархического списка в виде отступов. Центральная колонка является корневой. Левая и правая колонки находятся на одном иерархическом уровне. Связь между ключевыми сущностями в колонках выделена курсивом. В таблице сохранен язык источника, поскольку семантика понятий представлена в онтологии геологическим словарем.

Для построения цифровой модели региональной кинематики необходимо определить элементы движения, формы движения и инструменты его измерения. В данной работе элементами движения выступают тектонические геологические структуры. Наиболее простая классификация тектонических платформенных структур приведена в первой колонке табл. 2. Семантика иерархии без труда просматривается и встраивается в профиль онтологии Universe– GeologicUnit– LithotectonicUnit.

Таблица 1. Геологическая онтология в представлении NADM-C1

GeologicUnit LithotectonicUnit <i>Pedoderm</i> <i>GeomorphologicUnit</i> <i>ChronostratigraphicUnit</i> <i>PolarityChronostratigraphicUnit</i> <i>BiostratigraphicUnit</i> <i>LithodemicUnit</i> <i>LithostratigraphicUnit</i> <i>AllostratigraphicUnit</i> <i>PedostratigraphicUnit</i> <i>MagnetostratigraphicUnit</i> <i>GeologicUnitPart</i>	Universe GeologicConcept <i>GeologicStructure</i> <i>GeologicProperty</i> <i>EarthMaterial</i> <i>GeologicUnit</i> <i>Fossil</i> <i>GeologicRelation</i> <i>GeologicEvent</i> <i>GeologicProcess</i> MetaData <i>Name</i> <i>TextDescription</i> GeologicRepresentation <i>GeologicVocabulary</i> <i>GeologicPortrayal</i> <i>GeologicPortrayal</i> <i>Component</i>	GeologicStructure <i>Fold</i> <i>Foliation</i> <i>Contact</i> <i>Lineation</i> <i>Fracture</i> <i>Joint</i> <i>Layering</i> <i>Fabric</i> <i>PreLithificationStructure</i> <i>BeddingSurface</i> Fault <i>Displacement</i> <i>CompoundGeologicStructure</i> <i>CompoundFabric</i>
---	---	--

Таблица 2. Иерархия тектонических структур

Класс структуры	Структуры
Глобальные структуры	Платформы
Субглобальные структуры	Щиты, плиты
Суперрегиональные структуры	Антеклизы, синеклизы, авлакогены, перикратонные прогибы
Региональные структуры	Массивы, своды, выступы и горсты, впадины и прогибы, грабены, моноклинали, седловины
Субрегиональные структуры	Выступы, горсты, грабены, мульды, прогибы, структурные заливы, тектонические ступени, структурные перемычки

Таблица 3. Иерархия платформенных разломов

Класс разломов	Структуры, ограничиваемые разломами	Размерность, км	Глубинность
Краевые суперрегиональные (крупнейшие надпорядковые)	Крупнейшие надпорядковые (авлакогены и др.)	Многие сотни	Верхняя мантия
Краевые региональные (крупные 1 порядка)	Крупные 1 порядка (прогибы, впадины, грабены, горсты)	Первые сотни	Верхняя мантия или «базальтовый» слой коры
Граничные субрегиональные (средние 2 порядка)	Средние 2 порядка (ступени, грабены, горсты, выступы)	Многие десятки первые сотни	«Базальтовый» или «гранитный» слой коры
Локальные (прочие мелкие 3, 4 порядков)	Мелкие 3, 4 порядков	Многие единицы первые десятки	«Гранитный» или осадочный, иногда «базальтовый»

Если касаться форм движения, то следует выделить среди них *горизонтальные* и *вертикальные* формы. Эти движения в земной коре происходят вдоль и благодаря разломам. В отечественной практике существуют несколько классификаций разломов. В табл. 3 приведена одна из наиболее известных [Айзберг, 1974] классификаций разломов. Профиль этой иерархии в онтологии – Universe–GeologicStructure – **Fault**. Следует отметить, что доплатформенные разломы имеют аналогичную структуру, отличаясь от платформенных лишь числом и значениями параметрами, которые приведены в других колонках таблицы.

В настоящее время наиболее удобными и точными инструментами для наблюдений за движениями локальных и региональных геоструктур являются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Для фиксации движений блоков измерения производятся на специально организованных геодезических пунктах, расположенных по разную сторону межблоковых разломов. Точки наблюдения структурируются в формы в зависимости от характера наблюдений. Для локальных наблюдений движения вдоль заданного разлома используется *линейный профиль* их нескольких точек, данные измерения в которых для выявления случайных ошибок проверяются на уровень корреляции между собой. Размеры профиля в этом случае могут достигать десятков километров. Если наблюдения проводятся сразу на нескольких блоках, то структурирование проводится по *полигональному* принципу, где точки соединяют в сеть из замкнутых ломаных линий, из которых образуется набор смежных многоугольников. Особо выделяется *триангуляционная сеть*, создаваемая по принципу ближайших соседей. Технология построения такой сети – триангуляция Делоне. В случае фиксации региональных движений размеры сетей могут достигать сотен километров. Следует отметить, что цифровую модель измерительной сети не представляется возможным на генетической основе отнести к представленной выше геологической онтологии. Ее место в геодезическом концепте, например, в классе 11300000 КТИ [ГОСТ], но по пространственному признаку структуру модели можно ассоциативно привязать к классификационной структуре разломов и отнести в иерархию Universe–GeologicStructure – **Fault**.

Локальная сеть включает в себя один или несколько независимых измерительных профилей поперек разломов протяженностью до 30 км. Инструментами измерений могут быть оптико-электронные тахеометры, измеряющие углы и расстояния между опорными точками, и ГНСС-приемники сигналов от навигационных спутников. Указанная протяженность характерна для размеров ячеек государственной триангуляционной сети первого и второго классов. Как минимум используются два ГНСС-приемника, которые работают в дифференциальном режиме. Обработка данных ведется на совместной основе. *Региональная сеть* строится для измерений движений субрегиональных и региональных геологических морфоструктур и имеет протяженность до 250 км. ГНСС-приемники работают в согласованном по радиосвязи режиме с обработкой данных в реальном масштабе времени (online). Работы по мониторингу ведутся на национальном уровне. *Глобальная сеть* охватывает суперрегиональные, субглобальные и глобальные структуры. ГНСС-приемники фиксируют свое положение в согласованном WEB режиме. Обработка ведется с помощью специального программного обеспечения, рассчитанного на обработку большого числа опорных точек. Наблюдения ведутся Международной службой мониторинга IGS (International GNSS Survey) с привлечением национальных средств и опорных сетей.

В работе предложена цифровая модель, предназначенная для изучения движений геоструктур. Она в рамках выше представленной онтологии NADM-C1 может модифицироваться и дополняться. Отметим, что с сугубо практической точки зрения онтология может быть использована для автоматизированного создания легенд и атрибутивных характеристик электронных геологических карт, а также для обмена ими между потребителями без какой-либо потери информации.

Литература

ГОСТ 28441-99 Картография цифровая. Термины и определения. – Минск. 2005. 13 с.

NADMSC (North American Data Model Steering Committee). NADM conceptual model 1.0. A conceptual model for geologic map information. – U.S. Geological Survey, Open-File Report 2004-1334. –2004. 60 p.

Айзберг, Р.Е. Разломная тектоника Белоруссии и смежных районов. / Р.Е. Айзберг, Р.Г.Гарецкий. // Сб. Разломы Белоруссии и Прибалтики. – Мн., – 1974. С. 7–24.