

Библиографические ссылки

1. *Крапивнер Р. Б.* Кризис ледниковой теории: аргументы и факты. М.: ГЕОС, 2017. 320 с.
2. *Чувардинский В. Г.* Четвертичный период. Новая геологическая концепция. Апатиты: Кольский науч. центр РАН, 2012. 179 с.
3. Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л. н.) / Под общ. ред. А. К. Марковой. М.: ООО Тов-во науч. изданий КМК, 2008. 556 с.
4. *Пазинич В. Г.* Геоморфологічний літопис Великого Дніпра. Нежін: 2007. 372 с.
5. *Залізняк Л. Л.* Полісько-Дніпровська катастрофа фінального палеоліту з позиції археології // Археологія. 2008. № 3. С. 5–10.
6. Палеозоологические катастрофы в позднем палеолите Центра Восточной Европы (основы седиментолого-палеозоологической концепции возникновения кладбищ мамонтов) / Под общ. ред. Ю. А. Лаврушина. Москва: ГЕОС, 2015. 88 с.

УДК 550.849(476)

ПОСТРОЕНИЕ ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОСНОВНЫЕ МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

К. В. Куприянюк, Т. А. Жидкова

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь; k.kostya1999@gmail.com

Информационная эпоха не оставляет ни одну сферу жизни человека без внимания. В целом, цифровизация в широком смысле подразумевает достаточно широкий пласт применения цифровых технологий по всей цепочке производства товарных продуктов и услуг. Многие страны приняли проекты развития информационной экономики: «Повестка дня цифровой экономики» (США, 2015 г.); «Интернет плюс», (Китай, 2015 г.); «Цифровая Европа 2020» (Европейский союз, 2010 г.); «Государственная программа развития цифровой экономики и информационного общества на 2016-2020 гг.» (Беларусь, 2016 г.).

В последние десятилетия, в рамках выполнения указанных программ, цифровизация экономики затрагивает и геологическую отрасль. Геологи работают с огромным количеством разнообразных данных, следовательно, возникает необходимость в сборе, хранении и обработке геологической информации, которая может и должна предоставляться в цифровом виде. Источниками информации, в зависимости от направления геологических работ, могут служить данные геофизического каротажа скважин, описания керна, результаты лабораторных геохимических исследований грунтов, данные сейсморазведки. Ключевой особенностью всех этих данных является то, что они не могут существовать без конкретной привязки в геологическом пространстве. Понятие «геологическое пространство» в различных литературных источниках геологической направленности существует в форме некоторого обобщения, именуемого «моделью».

Использование различных программных продуктов в настоящее время позволяет строить трёхмерные модели геологических объектов на основе каркасного и блочного моделирования. Принципиальное различие создаваемых 3D-моделей заключается в глубине залегания моделируемого объекта. На этом основании выделяют моделирование процессов, объектов, структур, площадей на поверхности земли

или процессов внутренней динамики, результат которых может быть виден и/или оценен на поверхности земли и моделирование процессов, структур, объектов, протекающих сугубо на глубине и требующие использование буровых, геофизических методов для их обнаружения.

Для построения 3D-моделей первой категории объектов и процессов используют данные LIDAR-съёмки (Light Detection And Ranging – обнаружение, идентификация и определение дальности). Технология LIDAR позволяет работать не только с 4 измерениями (x, y, z, время), но также обрабатывать отраженные волны от анализируемой поверхности. Данные, получаемые в результате использования технологии LIDAR, используются оценке современных тектонических движений и геоморфологических процессов. Включение временного параметра позволяет проследить за развитием оползневой деятельности, проанализировать деятельность землетрясений, контролировать абляцию ледникового покрова и др. Расшифровка волновых спектров помогает в расчётах альбедо ледника, а также в определении литологических особенностей пород. Использование многолинейного спектра позволяет измерять химические параметры снежного покрова, а также отражательную способность морского дна.

LIDAR-съёмка в комплексе с данными 3D-фотограмметрической съёмки нашла отражение в работах исследователя Антонио Абелана. Использование программного обеспечения Terranum Coltop 3D, позволило работать с LIDAR-снимками в областях анализа и визуализации данных структурной геологии, опасных геологических явлений и инженерной геологией.

3D-моделирование второй категории объектов и процессов, протекающих сугубо на глубине и требующих использование буровых, геофизических методов для обнаружения, используется в поисковой геологии, а также при анализе глубинных данных для исследования землетрясений в опасных геотектонических районах.

Моделирование в поисковой геологии подчинены стремлением к оптимизации временных и денежных ресурсов, минимизации издержек. Программное обеспечение, работающие, например, в нефтегазодобывающей отрасли сопровождает весь цикл добычи нефти (газа) начиная от его поиска, бурения и заканчивая анализом рисков, подсчёта дебита скважин на основе данных за прошедшие периоды добычи. Так нефтесервисная корпорация Шлюмберже имеет комплексные решения типа Petrel включающие ряд модулей геологического моделирования (разломные нарушения, литология скважин), работы с геофизическими данными (интерпретация сейсмических исследований, каротажа скважин и проч.), данными геомеханики и бурения. Стоит отметить, что нефтедобывающие корпорации вроде Total, Shell чаще всего имеют свои собственные центры разработки программных продуктов.

Особое внимание обращают на себя исследования специалистов из России, обращенные к геодинамическому моделированию рудоносных геологических структур посредством разработки трёхмерной интегрированной модели напряжённо-деформированного состояния массивов пород в районе Стрельцовского урановородного поля с выделением активных разломов. Сочетание результатов геоструктурных, геофизических, геотектонических и петрофизических исследований, а также впервые разработанных схем разломной тектоники позволило сформировать модели строения, свойств и реологических связей геологической среды. Расчётные 2D- и 3D-модели напряжённо-деформированного состояния массивов пород интегрированы в трёхмерную ГИС, созданную на платформе ArcGis 10 с модулем ArcGIS 3D-Analyst. Результаты моделирования подтверждены наблюдениями *in situ* на регио-

нальном и локальном масштабных уровнях. Разработка и внедрение региональной геодинамической модели геологических структур позволили проводить мероприятия по обеспечению безопасности горных работ в сложных геомеханических и удароопасных условиях на действующих и строящихся рудниках ПАО «ППГХО».

Помимо сугубо практических целей исследователи используют 3D-моделирование при интерпретации сейсморазведки. Так, например, были установлены конические складки в Нидерландском секторе Северного моря, изучались свойства подземных азимутов распространения сейсмических волн на севере Польши для выявления анизотропии толщ, результаты которых служат индикатором напряжений и направлений разломов.

Стоит отметить, что многие опубликованные за последние десять лет 3D-модели в Европе касаются:

- построения 3D-термоатласов, что во многом обусловлено поиском альтернативных и относительно безопасных с точки зрения экологии источников энергии (Германия, Швейцария, Нидерланды);
- поиска мест для захоронения атомных отходов (Великобритания);
- создания 3D-моделей четвертичной тощи под городами, с позиции её дальнейшего использования в гражданском строительстве (Ирландия, Великобритания).

Помимо этих локальных исследований была построена 3D-модель Великобритании. Основные цели, которые преследовали её создатели стали: улучшении понимания систем грунтовых вод и водоносных горизонтов; информирование для программы Национального геологического скрининга по вопросу пригодности геологической среды Великобритании для захоронения радиоактивных отходов; актуализация и популяризация знаний о геологии островов.

Обобщая вышеизложенное, можно выделить следующие перспективные направления использования методов геологического 3D-моделирования в Республике Беларусь:

- поиск месторождений нефти и газа, а также анализ регионов перспективных на горючее сырьё с использованием сейсмических методов, их 3D-визуализации;
- оценка рисков и предотвращение опасных геологических явлений в пределах добычи полезных ископаемых;
- прогнозирование размещения карьеров песчано-гравийной смеси и оценка экономических издержек их эксплуатации; актуализация данных и балансный контроль текущих объектов;
- оцифровка и хранение информации о геологической среде Беларуси, включая создание 3D-модели Беларуси по имеющимся фактическим данным;
- создание тематических 3D-моделей кристаллического фундамента, тепловых полей, моделей четвертичной толщи отдельных регионов;
- сбор данных по геоморфологии с применением LIDAR-технологий, их интерпретация с точки зрения эволюции ландшафтов;
- внедрение в образовательные программы ВУЗ, готовящих специалистов-геологов теоретического и практического материала по 3D-моделированию и геостатистике.