

РЕГИОНАЛЬНОЕ ЦИФРОВОЕ СТРУКТУРНО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

**Д.П. Хрущев¹, Р.Я. Белевцев², А.Б. Бобров³, М.В. Гейченко⁴,
Г.В. Артеменко⁵, А.П. Лобасов⁶**

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: khrushchov@hotmail.com*

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, старший научный сотрудник.

² *Институт геохимии окружающей среды НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: belevtsev@ukr.net*

Член-корреспондент НАН Украины, заведующий отделом термодинамики геосфер.

³ *Экспертный совет Союза геологов Украины, Киев, Украина, E-mail: albobrov@ukr.net
Доктор геолого-минералогических наук, профессор, председатель.*

⁴ *Экспертный совет Союза геологов Украины, Киев, Украина, E-mail: geich@ukr.net
Кандидат геологических наук, заместитель председателя.*

⁵ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАН Украины,
Киев, Украина, E-mail: australes@mail.ru*

Доктор геологических наук, заведующий отделом геологии и хроностратиграфии докембрия.

⁶ *Независимый геолог, IT-специалист, Киев, Украина, E-mail: lobasov_al@rambler.ru
Кандидат геологических наук.*

Цель публикации – представление концепции регионального цифрового структурно-петрографического моделирования кристаллических образований в пределах государственной территории. Определены методологические принципы, методики, имеющиеся наработки, приведены примеры моделирования. Цифровая структурно-петрологическая модель – объемное компьютерное отображение геологического объекта, содержащего его структурные и качественные характеристики. Ожидаемый результат – получение целостных комплексных структурно-петрографических моделей кристаллических образований на формационной основе по геологическим объектам на государственном территориальном уровне. Цель моделирования – создание многомасштабного многостороннего основания для информационного обеспечения всех направлений и видов геологической деятельности, связанных с разноцелевым использованием кристаллических образований и охраной геологической среды.

Ключевые слова: кристаллические формации, компьютерное моделирование, геоинформационная система, использование недр, охрана геологической среды.

REGIONAL DIGITAL STRUCTURAL-PETROLOGICAL MODELING OF CRISTALLINE MASSIVE OF TERRITORY OF UKRAINE

**D.P. Khrushchov¹, R.Ya. Belevtsev², A.B. Bobrov³, M.V. Geychenko⁴,
G.V. Artemenko⁵, A.P. Lobasov⁶**

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,
E-mail: khrushchov@hotmail.com*

Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, senior research worker.

© Д.П. Хрущев, Р.Я. Белевцев, А.М. Бобров, М.В. Гейченко, Г.В. Артеменко, А.П. Лобасов, 2016

² *Institute of Geochemical of Environmental of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,*

E-mail: belevtsev@ukr.net

Corresponding member of NAS of Ukraine, chief of department of thermodynamics of geospheres.

³ *Expert Council of Ukrainian Geologist Association, Kiev, Ukraine, E-mail: albobrov@ukr.net*

Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, chairman.

⁴ *Expert Council of Ukrainian Geologist Association, Kiev, Ukraine, E-mail: geich@ukr.net*

Candidate of geological sciences, voice chairman.

⁵ *Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named M.P. Semenenko of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: australes@mail.ru*

Doctor of geological and mineralogical sciences, chief of department of geology and chronostratigraphy.

⁶ *Freelance geologist, IT-specialist, Kiev, Ukraine, E-mail: lobasov_al@rambler.ru*

Candidate of geological sciences.

The target of the communication is the presentation of a concept for regional digital structural-petrological modeling of crystalline massive within the limits of a state territory. Methodological principles, methods, preliminary results available and examples of models are reflected. Digital structural-petrological model is a computer reflection of geological object including it's structural and qualitative characteristics. The results achieved: obtaining of integrated complex digital structural-petrological of crystalline massive on formational basis by regional principle upon state scall level. The objectives of modeling is to found multiscale multipurpose basement for information supervision of all issues and kinds of geological activity connected with variable use and protection of geological environment.

Key words: crystalline formations, computer modeling, geoinformatic system, geological environment protection.

РЕГІОНАЛЬНЕ ЦИФРОВЕ СТРУКТУРНО-ПЕТРОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КРИСТАЛІЧНИХ УТВОРЕНЬ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

**Д.П. Хрущов¹, Р.Я. Бєлєвцев², О.Б. Бобров³, М.В. Гейченко⁴,
Г.В. Артеменко⁵, О.П. Лобасов⁶**

¹ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: khrushchov@hotmail.com*

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, старший науковий співробітник.

² *Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України, Київ, Україна,*

E-mail: belevtsev@ukr.net

Член-кореспондент НАН України, завідувач відділу термодинаміки геосфер.

³ *Експертна рада Союзу геологів України, Київ, Україна, E-mail: albobrov@ukr.net*

Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, голова.

⁴ *Експертна рада Союзу геологів України, Київ, Україна, E-mail: geich@ukr.net*

Кандидат геологічних наук, заступник голови.

⁵ *Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: australes@mail.ru*

Доктор геологічних наук, завідувач відділу геології і хроностратиграфії докембрію.

⁶ *Незалежний геолог та ІТ-спеціаліст, Київ, Україна, E-mail: lobasov_al@rambler.ru*

Кандидат геологічних наук.

Мета публікації – представлення концепції регіонального цифрового структурно-петрографічного моделювання кристалічних утворень у межах державної території. Визначено методологічні принципи, методики, наявні напрацювання, наведено приклади моделювання.

Цифрова структурно-петрологічна модель – об'ємне комп'ютерне відображення геологічного об'єкта, що містить його структурні та якісні характеристики. Очікуваний результат – отримання цілісних комплексних структурно-петрографічних моделей кристалічних утворень на формаційній основі по геологічних регіонах на державному територіальному рівні. Мета моделювання – створення різномасштабної багатоцільової основи для інформаційного забезпечення всіх напрямів і видів геологічної діяльності, пов'язаних з різноцільовим використанням кристалічних утворень та охороною геологічного середовища.

Ключові слова: кристалічні формації, комп'ютерне моделювання, геоінформаційна система, використання надр, охорона геологічного середовища.

Введение

Постановка проблемы. Анализ современного состояния информационного обеспечения геологической деятельности показывает неудовлетворительность традиционных средств и подходов, заключающихся в использовании общепринятых комплексов двумерных картографических материалов (карт, профилей, а также блок-диаграмм, претендующих на трехмерное отображение геологической среды). Недостаточная информативность и низкая технологичность воспроизводства, свойственная этим средствам, вступает в противоречие с современными вызовами технологического прогресса в сфере обращения с геологической средой и, в особенности, с уровнем информационных технологий.

Мировые тенденции развития геологических работ определяют также смену их структуры прежде всего путем сокращения капиталоемких производственных операций (поискового и разведочного бурения, проходки горных выработок), направленных на получение исходной информации о геологической среде за счет повышения эффективности камеральных методов с использованием высокотехнологичных способов обработки фактических данных.

В настоящее время имеется пример инновационной разработки, ориентированной на приведение системы информационного обеспечения геологической деятельности в соответствие с современными возможностями информационных технологий и требований технологического прогресса – это концепция регионального цифрового структурно-литологического моделирования (ЦСЛМ) осадочной оболочки Земли [Хрущев, 2013]. При

этом объектом моделирования являются только осадочные формации, составляющие осадочную оболочку земной коры.

Перспективность упомянутой разработки указывает на целесообразность модифицирования ЦСЛМ для создания концепции регионального моделирования «кристаллических»* образований на территории Украины, что и составляет идею представляемой проблемы.

Актуальность предлагаемой научно-исследовательской разработки состоит в создании инновационной унифицированной (многоцелевой) системы информационного обеспечения геологической деятельности на территориях распространения массивов «кристаллических» образований с перспективной существенного повышения эффективности всех направлений и видов работ и ожидаемым результатом оптимизации организационно-управленческих форм геологической деятельности.

Объектом работы являются «кристаллические» образования (т.е. магматические и метаморфические породы) территории Украины. В качестве основного исследовательского полигона взят Украинский щит (УЩ) как наиболее изученный геологический регион, имеющий наиболее полный комплекс формационных, генетических, функциональных и других характеристик.

При этом следует упомянуть, что с породными комплексами кристаллического фундамента, прошедшими разные пути формирования в различных структурно-тектонических обстановках и p , t -параметрах петрогенезиса, связан широкий комплекс полезных ископаемых. Здесь сосредоточены значительные запасы железных и урановых

* Использование распространенного термина «кристаллические» принимается с оговоркой его неточности, поскольку часть осадочных пород также характеризуется кристаллической структурой – эвапориты, карбонаты и др.

руд, титана и циркония, хромитовых руд, апатита, редких и редкоземельных элементов, графита, каолинов, очень широкий спектр строительного сырья, полудрагоценных и драгоценных минералов; трещиноватые зоны вмещают основные запасы подземных вод.

Цель публикации – представление концепции регионального цифрового структурно-петрологического моделирования (РЦСПМ) площадей распространения «кристаллических» образований (на примере УЦ) как инновационной унифицированной системы информационного обеспечения всех направлений и видов геологической деятельности по многоцелевому использованию и охране геологической среды.

1. Обоснование идеи, методология и методы, процедура моделирования

1.1. Обоснование идеи, имеющиеся наработки, мировые аналоги и тренды

Обоснование идеи. Основной замысел предлагаемой научно-исследовательской работы – разработка системы РЦСПМ массивов «кристаллических» пород. Методологическое решение этой задачи заключается в адаптации методологии и методов РЦСЛМ (в том числе методов цифрового структурно-литологического моделирования осадочных тел). Методология и методика РЦСЛМ была предложена Д.П. Хрущевым [Хрущев, 2013]. Принципы ЦСЛМ были заявлены Д.П. Хрущевым и А.П. Лобасовым (Хрущев, Лобасов, 2006) и иллюстрированы многочисленными примерами моделирования россыпей тяжелых минералов (титана, циркония, олова, золота), соленосных (галитовых, калиеносных) формаций, некоторых техногенно-геологических объектов [Хрущев, Лобасов, Гейченко и др., 2010; Босевська, 2012; Khrushchov, Lobasov et al., 2015 и др.]. Часть этих моделей была внедрена в геологическую деятельность. Не вдаваясь в детализацию, отметим, что предложенный принцип ЦСЛМ дает возможность получения максимально адекватного комплексного объемного отображения структуры, вещественного состава и функциональных свойств геологической среды.

Мировые аналоги и тренды. Цифровое моделирование геологических объектов в

настоящее время является одним из перспективных направлений в сфере информационного обеспечения геологических работ. Основные тенденции развития этого направления отражаются программами форумов Европейского конгресса региональной геокартографии и информационных систем (EUREGEO). В программах последних конгрессов (включая 8-й конгресс 2015 г.) можно отметить появление примеров объемного моделирования глубинных зон региональной масштабности – осадочно-породных бассейнов, крупных структурно-фациальных зон, всей толщи четвертичных отложений (Испания, Германия, Греция и др.) и даже всей территории страны (Нидерланды).

Особую аналогию представляет проект Международной программы геонаук ЮНЕСКО (МПГК) «Единая геология» (IGCP project № 624 «One geology»). Целью проекта является создание цифровой геологической карты мира (базовый масштаб 1:1 000 000). В этом проекте предусматривается отображение как осадочной оболочки, так и «кристаллических» пород фундамента [Tales set in stone, 2012].

Близкую аналогию компьютерного геологического моделирования в масштабе государственной территории представляет концепция российских геологических центров – ВСЕГЕИ и др. (Единая распределенная компьютерная модель..., 2001). Целью этой разработки по существу является компьютерное геологическое картографирование. Однако, судя по обзору опубликованной литературы и интернет-источников о тематических работах организаций-авторов концепции (ВСЕГЕИ и др.), реализация предлагаемого амбициозного проекта пока не осуществляется.

1.2. Методология

Общая оценка принципов РЦСЛМ осадочного чехла (см. список цитируемых работ) приводит к выводу о возможности их модифицирования для обоснования РЦСПМ массивов «кристаллических» образований.

Исходя из определения ЦСЛМ как виртуального объемного многостороннего отображения (образа) геологического объекта, содержащего его структурные и качественные (вещественные) характеристики,

забегая вперед, отметим, что оно в целом может быть принято и для модели «кристаллических» образований с формальной заменой определения «литологическая» на «петрологическая» в соответствии с общепринятыми понятиями объектности.

В связи с этим определением обозначаем две базовые методологические задачи моделирования: отображение структурных форм объекта и их вещественного наполнения (состава).

Структурные характеристики геологических тел «кристаллических» и осадочных образований имеют много общего, однако их подобность является в основном не аналогичной, а гомологичной, поскольку определяется принципиальными генетическими отличиями. Тем не менее как в осадочных, так и в «кристаллических» образованиях присутствуют стратифицированные, секущие формы и формы региональных изменений (для «кристаллических» – метаморфизма, метасоматоза, для осадочных – катагенеза, протометаморфизма). Все эти формы поддаются формализации, векторизации и, соответственно, цифровому моделированию.

Качественные характеристики (т.е. вещественное наполнение структурных форм) представляются в форматах геохимических, породных и минеральных данных. Наборы как геохимических, так и породно-минеральных параметров различаются не только для «кристаллических» и осадочных образований в целом, но и формационных подразделений различных иерархических рангов, т.е. литологических и петрологических тел.

Существует множество примеров цифрового моделирования перспективных геологических объектов, выполняемых на основе различных программных комплексов, которые представлены как в опубликованной литературе, так и в формах отчетов. Имеющийся опыт этих разработок может использоваться для развития предлагаемого направления.

Рассматривая задачу структуризации геологических тел, мы сталкиваемся с двумя аспектами этой операции. Первый аспект заключается в установлении структурных и тектонических границ (различной природы), второй – в регистрации границ изменений вещественного состава.

Основным результатом установления структурных и тектонических границ должно быть обозначение иерархической структуры блоковых структур. Для регионального уровня модели важной методологической задачей является выбор базового иерархического уровня блоковой структуры. Предварительно для решения этой задачи можно предложить критерии формационно-вещественного и генетического единства с учетом историко-геологической этапности.

Второй аспект является еще более сложным, поэтому мы его рассматриваем достаточно детально. В референтной статье Д.П. Хрущева для моделирования образований осадочной оболочки предлагается формационный принцип (при том, что им же обосновывается парагенетический подход к выделению формаций).

Априорно попытаемся предложить формационный принцип и для структурирования «кристаллических» образований.

Для начала приведем смысловой анализ термина «геологическая формация». В большинстве классических работ этот термин считается применимым как для осадочных тел, так и «кристаллических» образований. Цитируем определение термина по «Горной энциклопедии» 1987-1991 гг.: «Формация геологическая – естественная совокупность горных пород, связанных общностью условий своего образования, т.е. возникшая в сходной физико-географической и тектонической (геодинамической) обстановке» (Т. 5, с. 328).

Как видим, это определение по отношению к объекту нашей публикации является достаточно адекватным. Цитируем далее более предметно ориентированное определение Е.К. Устинова (1970): «Магматическая формация – закономерно повторяющееся сообщество преимущественно монофациальных магматических пород и связанных с ними метаморфических и гидротермальных образований, возникших в общих структурно-геологических условиях при одинаковом тектоническом режиме в связи с единым этапом тектоно-магматической эволюции (ТМЭ). Отношения между всеми членами магматической формации определяются единством либо магматического источника, либо только структурообразующего и порообразующего процессов».

Добавим к этому более позднее определение О.А. Богатикова с соавторами (1987): «Магматическая формация – определенная совокупность магматических горных пород, имеющая конкретный геологический, петрографический и петрогеохимический состав». Таким образом, можем констатировать, что если для осадочных образований при идентификации осадочных формаций предпочтительным является парагенетический подход [Хрущев, Компанец, 1988 и др.], то для «кристаллических» формаций приоритетным является вещественно-генетический критерий идентификации.

Однако остановившись на общем принятии этих определений формации, обнаруживаем, что мы не можем их использовать для формализации с целью моделирования. Как выясняется при анализе отечественной специальной литературы, в употреблении этого термина существует такой значительный разнобой, при котором он фактически переходит в термин свободного пользования (что не удовлетворяет требованиям моделирования).

Тем не менее установилась достаточно адекватная с методологической точки зрения номенклатурная иерархическая система терминов стратиграфического назначения: комплекс – серия – свита [Кирилюк, 2013 и др.], которая может быть дополнена терминологическими обозначениями геологических тел более низких рангов – подсвит, толщ и т.д. Применительно к «кристаллическим» образованиям фундаментом выделение этих номенклатурных подразделений производится на основе совокупного учета геолого-структурных и хроностратиграфических взаимоотношений (последовательности). Вещественные (породные и геолого-формационные) признаки учитываются как дополнительные критерии. По нашему мнению, данный подход нельзя считать полностью соответствующим задачам моделирования.

Для целей РЦСПМ оптимальной разрешающей способностью обладает формационный подход, в котором определенную роль играет установление вещественных и структурно-текстурных признаков пород. Однако развитие этого подхода пока тормозится отсутствием методологического определения формации как базового номенклатурного

подразделения формационного анализа по крайней мере для условий УЩ как намеченного исследовательского полигона. Исходя из формулировки такого определения, мы сможем установить и место прижившихся в отечественной номенклатуре стратиграфических терминов: комплекс – свита – толща и т.д. в формационной понятийной системе.

Особого рассмотрения заслуживает вопрос учета возраста формационных подразделений. Помимо различия методологических принципов определений возраста (преимущественно биостратиграфических для осадочных образований и изотопного датирования – для «кристаллических») отличается и роль возрастных определений. Для осадочных образований эта роль незначительна ввиду достаточности критериев структуризации, а для кристаллических образований возрастные определения являются важным критерием диагностирования формаций и их подразделений наряду с вещественными характеристиками.

Корректность и точность вначале формационных, а затем геолого-стратиграфических построений чрезвычайно важна для установления и формационной (а следовательно, стратиграфической, тектоно-генетической и т.д.) принадлежности породных комплексов. Примером корректного подхода к этим построением является обнаружение в последние годы ряда принципиально новых и ранее неизвестных геоструктур. Так с использованием указанных подходов нами обнаружены Берестовецкая, Чистопольская и Новогоровская зеленокаменные структуры в Западном Приазовье; доказано природу Софиевской структуры [Бобров, 2015, 2016; Бобров, Бестужев, Кузь, 2010; Бобров и др., 2010; Bobrov, 2002], всегда считавшейся габброидным массивом.

Тем не менее, различия подходов формационного анализа и роли генетических определений не противоречат определяющему принципу моделирования, предложенного для осадочных образований: «СЛМ являются статическими, т.е. отражают состояние объекта на данный момент (с учетом генетических, динамических и других аспектов как вспомогательных средств решения частных вопросов)» [Хрущев, Лобасов, Гейченко и др., 2010].

Итак, для «кристаллических» образований объектом моделирования могут быть формационные подразделения, т.е. петрологические тела различных иерархических рангов начиная от формации и ниже, выделяемые по вещественному принципу (с учетом генетических и других данных), а также определенные объемы породного массива, устанавливаемые по каким-либо функциональным признакам.

Предметом моделирования могут служить любые качественные характеристики структурных элементов объекта, подлежащих геометризации – породные ассоциации, минеральные ассоциации, фации *p, t*-условий, участки (зоны, тела), обладающие определенными функциональными свойствами – геохимическими (в частности, барьерными) или физико-механическими (например, прочностными или фильтрационными, коллекторскими), либо отражающие определенные состояния породного массива – например, напряженно-деформированное состояние, структурно-динамические характеристики (потенцию к развитию движения твердых флюидов), и, наконец, зоны развития наложенных процессов – как природных (метаморфизма, гидротермальной переработки), так и техногенных (химических, тепловых и т.п.) воздействий.

Методика РЦСПМ базируется на целевом развитии общих принципов статического моделирования геологических объектов, модифицированных с учетом особенностей строения и состава «кристаллических» образований на основе базовых методов формационного анализа (петрологических, геохимических, минералогических), которые отражены во многих классических (и новейших) работах Ф.Ю. Левинсон-Лессинга, В.И. Лучицкого, А.П. Виноградова, А.Б. Ронова, Ф.У. Кларка, Н.П. Семеновича, Я.Н. Белевцева, А.Б. Боброва, Е.К. Лазаренко, Б.Ф. Мицкевича, И.С. Усенко и др.

Процедура разработки моделей охватывает два действия: подготовка исходных материалов и компьютерная обработка.

Подготовка исходных материалов заключается, как указывалось выше, в выполнении двух операционных задач: структурирование геологических объектов и осуществление их вещественного наполнения.

Структурирование геологических объектов выполняется на основе общепризнанных теоретических представлений о структуре «кристаллических» формаций с конкретизацией для местных условий.

Вещественное наполнение структурных элементов осуществляется на основе унификации существующих современных представлений о номенклатуре и классификации «кристаллических» пород [Бородин, 1987; Заварицкий, 1955; Магматические..., 1955; Igneous Rocks..., 2002; Teylor, Mc.Lenan, 1985 и др.].

Особенности компьютерных технологий моделирования «кристаллических» образований. Принцип цифрового структурно-вещественного (в нашем случае петрологического) моделирования заключается в получении объемной комплексной модели в цифровом (векторном) формате, отображающей внешнее и внутреннее строение геологического объекта с вещественными характеристиками составляющих его структурных элементов на основе всей заложенной в базу данных первичной информации (включающей две составляющие: фактографическую – опорные разрезы, получаемые по всем видам геологических и частично геофизических работ, и фактографически-априорную – имеющиеся двухмерные (при наличии и трехмерные) картографические материалы (геологические и геолого-геофизические профили и карты), а также экспертные представления об объекте.

На основе имеющихся представлений о строении и составе «кристаллических» образований можно полагать, что цифровому моделированию подлежат следующие объектные формы (по типам образований):

- магматические породы (интрузивные: согласные – силы, лакколиты и др.; несогласные – батолиты, дайки, штоки; эффузивные – потоки, покровы, дайки, купола и др.);
- метаморфические породы (регионально и контактово метаморфизованные);
- метасоматические породы (региональные и локальные метасоматиты).

Для метаморфических и метасоматических образований регионального типа характерны сложные пространственные конфигурации, в общем соответствующие региональным измерениям глубинных энер-

гетических потоков и динамических воздействий, а также структурных и петрологических особенностей самих регионов. Образованиям локального типа присущи различной сложности и пространственной ориентации секущие формы. В эффузивных образованиях встречаются также стратоподобные и пластовые формы, в метаморфических и метасоматических – реликты слоистых форм и текстур.

В условиях древних платформ все указанные типы образований подвергнуты дислокациям как пликативным (складки, флексуры и др.), так и дизъюнктивным (разломы и др.). Сочетание первых и вторых образует наиболее сложный региональный структурный тип – складчато-блоковый. Отдельно следует рассматривать сводовые, кольцевые и другие специфические структурные типы.

Таким образом, самостоятельное значение для моделирования, т.е. пространственного отображения в ЦСПМ, имеют следующие структурные элементы и формы:

- дизъюнктивные нарушения тектонической природы, образующие границы блочных структур различных иерархических рангов (преимущественно плоскостного характера);

- границы магматических тел – интрузивных, эффузивных (криволинейные, в основном замкнутого характера);

- границы зон метаморфизма и метасоматоза (криволинейные замкнутого, семизамкнутого и семиоткрытого характера);

- штоки, купола (субцилиндрические, криволинейно-куполовидные, семизамкнутого характера);

- дайковые, жильные образования (усложненной криволинейной формы семизамкнутого характера);

- контуры кор выветривания (плоско-субгоризонтальные слоеподобные тела).

Сразу заметим, что с методологической точки зрения компьютерное моделирование указанных форм имеет аналогию с таковым для основных форм осадочных образований. А методика моделирования последних фактически уже может считаться более или менее отработанной (и внедряемой) [Хрущев, Лобасов, 2006; Хрущев, Гейченко и др., 2010 и др.]. Добавим, что

методика модельного отображения внутреннего и внешнего строения секущих форм была отработана на примерах сложно построенных соляных диапиров, а складчато-блоковых тектонических стилей – на примерах соленосных формаций Предкарпатья.

Исходя из приведенного, ниже представляются основные методические подходы технологии ЦСПМ для условий (структурных и петрологических) «кристаллических» образований.

Первым этапом процедуры является экспертная идентификация тектонической структуры геологического объекта регионального масштаба и построение базовой тектонической (структурной) подмодели с отображением системы разломно-блоковых элементов, разделяемых сетью разломов высокого порядка (пример приведен в разд. 2).

Последующий этап, основной – компьютерное (цифровое) структурирование отдельных выделенных разломно-блоковых структурных элементов более низких иерархических рангов в итерационном порядке.

Методика компьютерного отображения основных структурных форм освещена в ряде публикаций и фондовых материалов (отчетов) и здесь нами не приводится.

Если комплексный объект состоит из более чем одного из описанных выше объектов, необходимо провести согласование построенных объектов. Согласование производится с помощью специальной таблицы, отражающей структурные взаимоотношения фигурирующих форм.

Вещественное наполнение структурных элементов ЦСПМ может осуществляться в двух формах: породно-минеральной и породно-геохимической. Возможно также введение в модель некоторых функциональных свойств – физико-механических, емкостно-фильтрационных и т.д. Это же касается генетических признаков (фаций метаморфизма и метасоматоза и т.д.) как самостоятельных параметров, так и вспомогательных для идентификации структурных элементов (наряду с вещественными и структурно-текстурными характеристиками).

Исходя из определения РЦСПМ как составной, методика моделирования предполагает получение интегрированной модели геологического региона (как базовой структурно-территориальной единицы в пределах государственной территории) посредством прямого объединения множества моделей отдельных структурных подразделений (блоков, структурно-фациальных зон и т.д.).

Процедура моделирования. На основе намеченных методолого-методических принципов с учетом особенностей строения и состава «кристаллических» образований вообще и пород фундамента Украины, прежде всего УЩ, как базового исследовательского полигона в частности (см. разд. 2), можно представить общую схему процедуры РЦСПМ.

Подготовительным этапом должна быть разработка целевой унифицированной номенклатурной структурной и формационной основы.

По этой структурно-формационной основе должна быть коллекционирована и модификационно обработана база данных (по сути рассредоточенная в огромном массиве первоисточников).

База данных в целом соответствует традиционным принципам и включает фактографическую основу: данные буровых скважин, горных выработок и обнажений, а также имеющиеся геологические и геолого-геофизические картографические материалы – плановые (карты, карто-схемы), профильные, и, наконец, существующие двух- и трехмерные геолого-геофизические построения.

В основе процедурного процесса должна находиться базовая структурная схема объекта (геологического региона, например, УЩ) в цифровой форме с выделением блоковых (и других) структур, подлежащих последующим стадиям моделирования.

Вещественное наполнение намеченных структурных элементов выполняется на формационном принципе. Для петрологических характеристик составляются номенклатурные классификаторы. Исходные данные подготавливаются в виде стандартизованных матричных таблиц с отражением вещественных, при наличии – количественных характеристик, с кодированием номенклатурных определений.

Таким образом, процедура моделирования охватывает следующие этапные операции: целевая обработка базы данных, разработка структурной основы модели, формационно-вещественное наполнение структурных элементов, компьютерная обработка.

Процедура компьютерной обработки подготовленных исходных материалов базы данных охватывает три последовательных действия: комплектация и ввод данных, компьютерная обработка по целевым (в значительной мере авторским) программам, функционирование модели.

Все модели отдельно моделируемых структурных элементов (блоков) различных масштабов в границах всего объекта объединяются, и в результате получается интегрированная сплошная модель регионального масштаба.

Функционирование модели (РЦСПМ) подразумевает ее использование потребителями с учетом ее действия как постоянно действующей, т.е. с возможностью перманентного обновления путем ввода новых данных с соответствующей автоматической (и экспертно-автоматической) корректировкой.

Компьютерная обработка в рамках нашей концепции технически осуществляется на основе разрабатываемого программного комплекса (авторской технологии) «Многомасштабное многоцелевое 3D структурно-вещественное моделирование геологических формаций литосферы».

Отличие предлагаемой технологии от множества целевых программных комплексов крупной (локальной) или средней масштабности заключается в двух определяющих свойствах: многомасштабности и многосторонности.

Многомасштабность обеспечивается методически традиционными (частично модифицированными) техническими приемами компьютерных технологий.

Многосторонность заключается в отображении многих свойств геологической среды, имеющих функциональное значение. Многосторонность обеспечивается двумя главными условиями:

– методологическим – использованием априорной экспортной разносторонней информации, касающейся: а) отображения

структуры геологических тел различных иерархических рангов; б) пространственной изменчивости вещественного состава этих тел (см. выше);

– методической обеспеченностью отображения указанных (структурных и вещественных) характеристик геологических тел техническими средствами компьютерных технологий.

В отличие от аналогичных программных комплексов, ориентированных, преимущественно, на моделирование локальных геологических объектов (месторождений), характеризующихся достаточной обеспеченностью равномерно распределенными данными, настоящая разработка позволяет работать с региональными объектами, включающими в себя в общем случае участки недостаточной изученности. Нерегулярность данных компенсируется обязательным использованием формализованной априорной информации в виде внутренней симметрии объекта, цикличности его строения, картографической информации, полученной в результате предыдущих исследований или экспертных представлений.

В сегодняшнем состоянии разрабатываемого программного комплекса числовые модели структурных и литологических параметров сохраняются в виде бинарных файлов в структуре картографической базы программного комплекса «Geomapping». Входная информация системы «Geomapping» представляется в формате shp ГИС ArcView.

2. Целевая характеристика объектов моделирования, обоснование выбора исследовательского полигона.

Имеющиеся наработки моделирования

Как обозначено в постановке проблемы, полной задачей РЦСПМ является отображение всего объема «кристаллических» образований как части земной коры вплоть до верхней мантии (даже с возможным на современном уровне данных отражением влияния последней на структуру и вещественный состав земной коры). Масштабность этой задачи предполагает, во-первых, системность ее выполнения на основе адекватного теоретического представления всего объекта (т.е. кристаллического

фундамента в пределах всей государственной территории) и, во-вторых, поэтапность выполнения, т.е. изучение определенного исследовательского полигона как первого этапа работ. По ряду условий, рассматриваемых далее, таким полигоном должен быть УЩ. Для обоснования стратегии реализации проекта ниже приводится сжатая характеристика кристаллического фундамента всей территории Украины и УЩ как исследовательского полигона.

2.1. Характеристика фундамента и других кристаллических образований Украины

Следует с удовлетворением отметить, что в настоящее время в результате многолетних разнопрофильных геологических и геолого-геофизических работ уже сложилась цельная геологическая картина сплошного развития фундамента в границах территории Украины.

подавляющая часть площади развития фундамента (около 95%) приходится на платформенные структуры, около 5% – на подвижные молодые структуры.

В общей тектонической схеме фундамента территории Украины выделяются три платформенные структуры (надпорядкового ранга): Восточно-Европейская платформа (ВЕП), Западно-Европейская платформа (ЗЕП) и Центральноевразийская плита (ЦЕП). В число подвижных структур включаются: альпийские сооружения Карпат, киммерийско-альпийские системы Горного Крыма и его восточного продолжения, герциниды Донбасса и цокольные образования Северной Добруджи. Особенности строения всех перечисленных тектонических структур высоких порядков хорошо освещены в многочисленных классических и современных трудах тектонистов.

Установлена общая схема стратиграфической последовательности образований фундамента. Согласно Стратиграфическому кодексу Украины для докембрия в составе архейской эонотемы выделены эратемы: эоархейская, палеоархейская, мезоархейская и неоархейская, в составе протерозойской эонотемы – палеопротерозойская, мезопротерозойская и неопротерозойская эратемы. Разработана региональная хроностратиграфическая шкала с соответствующими региональными подразделениями

(Великанов, Михницкая, 2012 и др.). Установлены изотопные даты границ стратиграфических подразделений (Стратиграфічний кодекс України, 2012).

Для образований фундамента фанерозойского возраста также разработаны как стратиграфические схемы, так и изотопные датировки основных стратиграфических подразделений.

Стратиграфически-временная последовательность формационно-вещественного состава фундамента в наиболее общем масштабе выражена в образованиях двух структурно-вещественных слоев земной коры: гранитном и базальтовом. В более детальном масштабе – трансрегиональном (ВЕР и смежных платформ – ЗЕР и ЦЕР) намечена следующая схема стратиграфической последовательности. По докембрийским разрезам Волинско-Двинского трансрегионального пояса установлены два структурно-вещественных этапа [Галецкий, Черненко, 2001]: нижний – архейский гранулит-базальтовый и верхний – нижне-, среднепротерозойский (интрузивные вулканические и ультраметаморфические образования).

Существует ряд региональных схем формационного состава фундамента.

2.2. Обоснование выбора исследуемого полигона. УЩ и его целевая характеристика

Из всех геологических регионов развития «кристаллических» образований наиболее изученным является УЩ, что и послужило основным аргументом для выбора его как исследовательского полигона. Территория развития фундамента здесь покрыта густой сетью буровых скважин, горных выработок, обнажений. Имеется большой объем описательных данных и картографических материалов по результатам геологических и геолого-геофизических работ. Все это слагает массив фактографических и интерпретационных данных, достаточный для создания целевой базы данных и обеспечения необходимой априорики.

Ниже приводится *целевая характеристика УЩ* как референтного исследовательского полигона (целевая, т.е. направленная на обозначение структурных и качественных характеристик – вещественных, струк-

турно-текстурных, функциональных, которые могут служить предметом цифрового моделирования, см. выше).

УЩ является типичным литосферным блоком континентального типа. Мощность литосферы здесь составляет 35-45 км, достигая в отдельных зонах 55-60 км.

В общем плане структура УЩ представляет мозаичную систему крупных блоков, разделенных глубинными разломами и так называемыми шовными зонами (рис. 1).

В понимании объема блоков, их породного наполнения, пространственных границ существует большое разнообразие подходов и вариантов их визуализации в виде различных версий карт. Представляется логичным использование последнего официального варианта Тектонической карты масштаба 1:1 000 000 [Тектонічна..., 2007], в которой отражены самые современные данные, с учетом материалов ряда предыдущих картографических изданий (Карта геологічних формацій..., 1991; Геодинамічна карта, 1993 и др.).

Различными авторами выделяются от трех до шести блоковых структур высокого порядка («геоблоков», «сегментов», «мегаблоков», «зон»).

В пределах мегаблоков выделяются более мелкие блоки (второго, третьего и последующих порядков), разделенные межблочными зонами и разрывными нарушениями более низких порядков.

Формационно-генетическое наполнение «сегментов» как блоковых структур высокого ранга (по отношению к УЩ – как надпорядковой структуры – первого) различна. Волино-Подольский (Днестровско-Бугский мегаблок) и Приазовский (Западно-Приазовский) мегаблоки сложены в разной степени диафорированными чарнокит-гранулитовыми структурно-формационными комплексами, объединяющими в своем составе как стратифицируемые суперкрупные, так и «условно-стратифицируемые» наборы формаций плутоно-метаморфических классов, поскольку последние замещают суперкрупные без изменения характера их залегания при ультраметаморфических изменениях субстрата. Для всех мегаблоков характерен ареальный и монофациальный метаморфизм гранулитовой

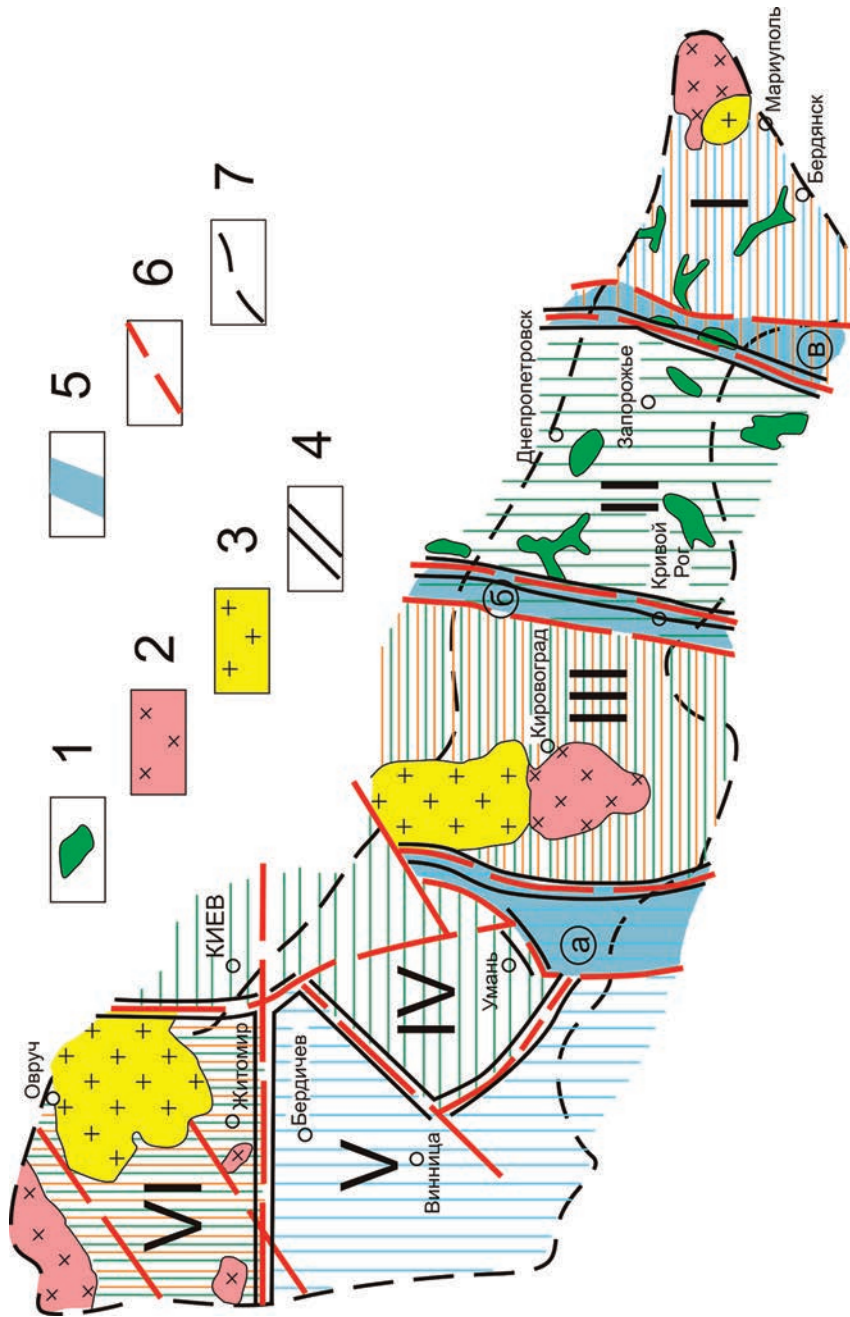


Рис. 1. Схема блокового деления УЩ (по Есипчуку К.Е., Гурскому Д.С., 2006)

1 – архейские зеленокаменные структуры; 2 – палеопротерозойские габбро-диорит-гранитные массивы; 3 – мезопротерозойские габбро-анортозит-рапакивигранитные плутоны; 4 – мегаблоки и их границы; 5 – Приазовский (гранулит-амфиболито-гнейсовый с корнями зеленокаменных структур), II – Среднеприднепровский (гранит-зеленокаменный), III – Ингульский или Кировоградский (гранит-амфиболито-гнейсовый), IV – Росинско-Тихичский или Белоцерковский (гранит-амфиболитовый), V – Днестровско-Бугский или Подольский (гранулит-гнейсовый), VI – Северо-Западный или Волынский (гранит-амфиболито-гнейсовый); 6 – межблоковые шовные зоны; а – Орехово-Павлоградская, б – Ингулецко-Криворожская, в – Голованевская; 6 – главные глубинные разломы; 7 – граница УЩ

Fig. 1. Geological structure of the Ukrainian shield

1 – Archean greenstones; 2 – Paleoproterozoic gabbro-diorite-granite masses; 3 – Mesoproterozoic gabbro-anortozite-rapakivi granites and gabbro-syenites plutons; 4 – Borders of megablocks; the megablocks: I – Nearazov, II – Middle Neadnieper, III – Ingul (Kirovograd), IV – Ros-Tykich, V – Dnister-Bug (Podolian), VI – North-Western (Volyn); 5 – Inter-blocks suture zones; а – Orichovo-Pavlograd, б – Ingulets-Krivoi Rog, в – Golovanevsk; 6 – Main deep faults; 7 – Borders of the Ukrainian shield

фации, специфическая тектоническая инфраструктура – сочетание овоидальных и линейных сложноскладчатых (наложение многоэтапных деформаций) стилей тектонических деформаций.

На сегодня общепризнанным является представление о том, что в составе природных комплексов УЩ выделяются природные парагенетические ассоциации четырех петроструктурных классов: супракристалльные, метаморфизованные, плутоно-метаморфические и плутонические, которые по принципу пространственного сонахождения и устанавливаемой при их дальнейшем камеральном изучении генетической связи группируются в несколько структурно-формационных комплексов: чарнокит-гранулитовые, плагиогранит-амфиболитовые, тоналит-зеленокаменные, гранитоидно-метатерригенные, плутонические и вулканогенно-осадочные. Структурно-формационный комплекс большинством авторов понимается как естественно-историческая общность генетически взаимосвязанных породных ассоциаций полигенной природы, возникшей вследствие реализации различных типов литогенеза и петрогенетических процессов (метаморфизма, ультраметаморфизма, диафореза, магматизма, метасоматоза, гидротермальных изменений и т.д.).

С точки зрения моделирования сложность породного состава «кристаллических» образований УЩ не является серьезным препятствием, поскольку сама по себе идентификация петрологических типов пород представляет собой рутинную задачу благодаря разработке номенклатурно-типизационных систем, приведенных в классических трудах Н.П. Семененко, Я.Н. Белевцева, Н.П. Щербакова, И.С. Усенко, Л.Г. Ткачука, И.Б. Щербакова, Е.М. Лазько, В.П. Кирилюка и др.

2.3. Имеющиеся наработки в сфере моделирования

Среди конкретных примеров имеющихся наработок можно выделить две группы по системе завершенности. Первая – более или менее завершенные цифровые модели различной масштабности для участков земной коры, представляющие определенный интерес с точки зрения региональной

геологии или определенных перспектив прогнозирования полезных ископаемых. В качестве примера приводятся разномасштабные геолого-геофизические модели геоструктур Приазовского мегаблока, изученных с разной степенью детальности, перспективных в отношении металлоносности и алмазоносности (рис. 2). К этой же группе относятся крупномасштабные цифровые модели локальных перспективных геологических объектов (месторождений), готовящихся к эксплуатации или детальной разведке. Известен ряд таких моделей, разработанных в системах Micromine (Сергеевское, Майское, Сурожское, Клинцовское месторождения и др.) и ГИС K-MINE научно-производственным предприятием «Кривбассакадеминвест» и др.

Вторая группа представлена значительным числом комплексных разномасштабных отображений геологических объектов в среде кристаллического фундамента, поданных в виде традиционных двумерных картографических материалов – карт, профилей, разрезов, а также блок-диаграмм, которые по степени отражения объемности можно рассматривать как двумерные составные модели. По характеру структуризации они сравнительно легко (для подготовленных специалистов) могут быть векторизованы и на основе разработанных нами методических приемов переведены в формат цифровых структурно-петрологических моделей.

3. Содержание проектируемых работ

Разработана структура предполагаемых работ с обозначением состава работ, направлений обеспечения и сроков работ.

Выполнение намеченного комплекса работ имеет межведомственный характер. В качестве заказчика должна выступать государственная структура – Геологическая служба Министерства природных ресурсов Украины. Методологическое обеспечение и методическое сопровождение – ИГМР, ИГН, ИГОС НАН Украины. Выполнение основных работ по РЦСПМ – ИГМР, ИГН НАН Украины, отраслевые институты, научно-исследовательские и производственные организации Геологической службы, научно-исследовательские сектора университетов Украины.

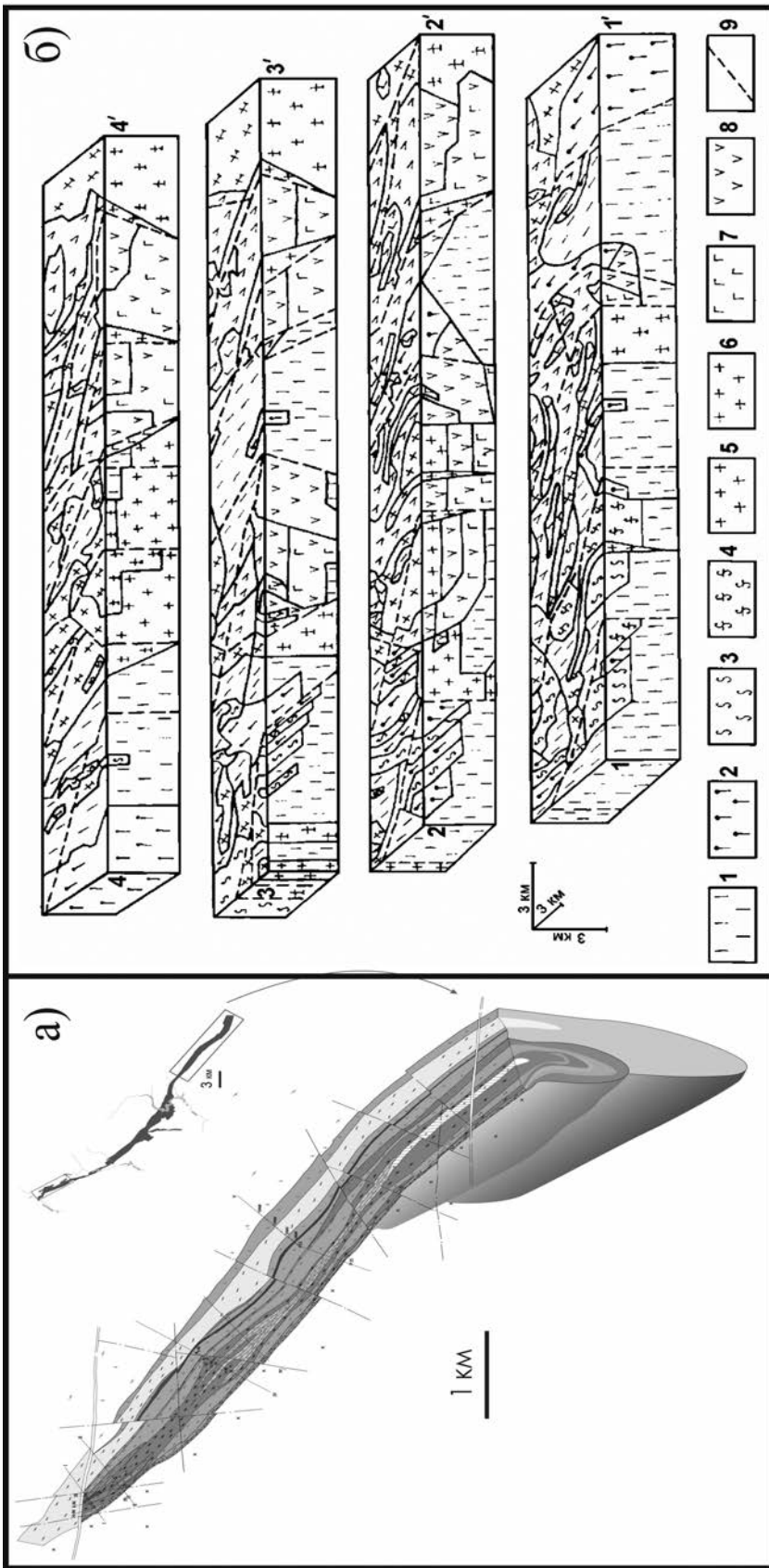


Рис. 2. Объемные модели геологического строения геоструктур крупного (1:10 000) масштаба (а – южная часть Сорокинской структуры) и среднего (1:200 000) масштаба (б – площади Володарского и Кременевского массивов)

1 – гнейсы биотитовые; 2 – гнейсы амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые; 3 – кристаллические сланцы биотитовые, амфибол-биотитовые; 4 – кристаллические сланцы пироксен-амфиболовые; 5 – щелочные сиениты; 6 – граниты; 7 – мигматиты; 8 – габбро, габбро-перидотиты; 9 – тектонические нарушения, установленные по геолого-геофизическим данным

Fig. 2. 3-D models of geological construction for geostuctures: а – large scale, 1:10 000 (the southern part of Sovokino area); б – middle scale, 1:200 000 (Volodarsk and Kremnevskij massives)

1 – gneisses biotitic; 2 – gneisses amphibol-biotitic, amphibol-pyroxenic; 3 – shists pyroxenic-amfibolitic; 4 – shists biotitic, amphibol-biotitic; 5 – alkaline sienites; 6 – granites; 7 – migmatites; 8 – gabbro, gabbro-peridotites; 9 – tectonic disjunctives, defined on geological-geophysical data

Заключение

В данной публикации изложена концепция РЦСПМ «кристаллических» образований фундамента в пределах государственной территории Украины с освещением основ методологии и методов, имеющих предпосылок и наработок, целей, задач и ожидаемых результатов. При разработке концепции использовалась идея основных подходов регионального цифрового моделирования осадочной оболочки с соответствующей модификацией методологии, а также методических приемов, с принятием инновационной технологии цифрового структурно-литологического моделирования как базовой.

Предполагается реализация этой концепции в виде соответствующего проекта.

Цель такого проекта – создание РЦСПМ как электронного (цифрового) образа кристаллического фундамента территории Украины, отображающего его структурные, вещественные и функциональные характеристики, что должно служить основой для информационного обеспечения всех направлений геологической деятельности.

В качестве первоначального объекта моделирования предлагается УЩ по соображениям практической значимости и оптимальной геологической изученности, а также доступности для целевого доизучения. Дополнительной предпосылкой к выполнению проекта являются наличие примеров цифрового моделирования перспективных объектов локальной масштабности (месторождений), а также значительного числа традиционных двухмерных картографических материалов, которые могут быть переведены в цифровой формат. К этому следует добавить факт разработанности номенклатур магматических, метаморфических и метасоматических образований, а также региональных хроностратиграфических схем, что является теоретической основой для структурирования геологических объектов на формационной основе.

Однако ожидаются существенные трудности в реализации части базовых методологических вопросов – это общепризнанный факт разноречия имеющихся структурных и формационных схем (и даже отсутствие опорного определения самого термина

«формация»). В связи с этим возникает задача создания унифицированной системы указанных схем на основе унифицированных же определений.

Предлагаемый проект по стратегическому замыслу является частью составного проекта (программы) «Региональная цифровая структурно-вещественная модель земной коры Украины», цель которого – построение соответствующей супермодели как сплошного компьютерного (цифрового) образа всей земной коры, охватывающего кристаллический фундамент и осадочную оболочку в пределах государственной территории Украины.

Таким образом, ожидаемый результат – построение сплошной комплексной объемной супермодели земной коры – является инновационной системой многоцелевого информационного обеспечения всех направлений геологической деятельности по использованию и охране геологической среды, а также углубленного ее познания на уровне современных геоинформационных технологий.

Исходя из общегосударственной стратегической значимости проекта, понятно, что его реализация составляет прерогативу государственной же структуры – Геологической службы Министерства природных ресурсов Украины. Это определяет необходимость целевого госбюджетного финансирования в составе утвержденного перечня работ, ориентированного на выявление и изучение территорий под инвестиционные предложения.

Однако первичные затраты госбюджетного финансирования целесообразны с точки зрения текущих и долгосрочных (перспективных) факторов. Текущий фактор заключается в том, что затраты госбюджетного финансирования могут быть ограниченными, поскольку целевые научно-исследовательские работы по проекту (программе) должны проводиться главным образом в рамках бюджетов участвующих научно-исследовательских институтов.

Долгосрочный (перспективный) фактор экономической целесообразности включает следующие эффекты:

– повышение эффективности всех видов геологической деятельности за счет их раз-

деления на те, которые должны финансироваться из госбюджета и те, которые должны финансироваться инвесторами, а также внедрения инновационной технологии информационного обеспечения;

– реструктуризация задач государственного обеспечения геологической деятельности (государственной геологической съемки и региональных геологических исследований и др.), с учетом интересов инновационной деятельности.

Таким образом, создаются предпосылки для инновационного преобразования функций и структуры государственной геологической службы, а также оптимизации информационного обеспечения национальной геологической деятельности.

Инновационная оптимизация информационного обеспечения геологической деятельности неизбежно определяет повышение ее результативности по всем направлениям с соответствующими экономическими, производственными и социальными эффектами.

В связи со стратегической значимостью предлагаемого проекта с точки зрения государственной политики стаби-

лизации экономики Украины целесообразна постановка соответствующих научно-технических работ в рамках фонда и программ фундаментальных исследований с перспективой обоснования государственной программы с необходимым законодательным, материально-финансовым и научным обеспечением.

Предлагаемый проект не имеет прямых аналогов в мировой практике, тем не менее тенденции глобализации геологических идей отмечаются в деятельности международных геологических организаций (Международного геологического союза, Международной программы геологических наук ЮНЕСКО и др. – проект 624 «Единая геология»). Это предполагает неизбежность продвижения идеи регионального геологического моделирования раньше или позже, в той или иной форме в международной геологической деятельности. Поэтому является также своевременным представление данного проекта на международном уровне для организации сотрудничества с использованием существующих международных научно-технических фондов и программ.

Список литературы / References

1. Галецький Л.С. Атлас «Геологія і корисні копалини України». М-б 1:5 000 000 / Л.С. Галецький, Н.М. Чернієнко. – К., 2001. – 168 с.

Galets'ky L.S., Cherniyenko N.M., 2001. An Atlas of the geology and mineral deposits of Ukraine. Scale 1:5 000 000. Kyiv, 168 p. (in Ukrainian).

2. Белевцев Р.Я. Генезис и прогнозирование золотого и уранового оруденения в докембрии Украинского щита / Р.Я. Белевцев, А.Р. Белевцев, С.Д. Спивак и др. // Пошукова та екологічна геохімія. – 2011. – № 1 (11). – С. 66-78.

Belevtsev R.Ya., Belevtsev A.R., Spivak S.D. et al., 2011. Genesis and prognosis of ore and uranium mineralization in Precambrian of Ukrainian shield. *Poshukova ta ekologichna geohimiya*, № 1 (11), p. 66-78 (in Russian).

3. Бобров О.Б. Геологічна будова Софіївської зеленокам'яної структури (Середнє Придніпров'я, Український щит) / О.Б. Бобров, О.М. Бестужев, В.Д. Кузь // Мінер. ресурси України. – 2004. – № 4. – С.21-26.

Bobrov O.B., Bestujev O.M., Kuz V.D., 2010. Geological construction of Sofievka greenstones

structure (Middle Dnieper area, Ukrainian shield). *Mineralni resursy Ukrainy*, № 4, p. 21-26 (in Ukrainian).

4. Бобров О.Б. Зеленокам'яні структури Оріхово-Павлоградської зони: перший досвід геологічного опису. Ст. 1. Новогорівська структура / О.Б. Бобров // Мінерал. журн. – 2015. – № 4. – С. 68-77.

Bobrov O.B., 2015. Greenstones structures of Orekhovo-Pavlograd zone: the initial experience of geological description. Paper 1. Novogorivska structure. *Mineralogichnyy zhurnal*, № 4, p. 68-77 (in Ukrainian).

5. Бобров О.Б. Зеленокам'яні структури Оріхово-Павлоградської зони: перший досвід геологічного опису. Ст. 2. Чистопільська структура / О.Б. Бобров // Мінерал. журн. – 2016. – № 1. – С. 32-41.

Bobrov O.B., 2016. Greenstones structures of Orekhovo-Pavlograd zone: the initial experience of geological description. Paper 2. Chistopolska structure. *Mineralogichnyy zhurnal*, № 1, p. 32-41 (in Ukrainian).

6. Бобров О.Б. Гранулитовые структурно-формационные комплексы Украинского щита – европейский эталон. Путеводитель геологических экскурсий / О.Б. Бобров, В.П. Кирилюк, С.В. Гошовский и др. – Львов: ЗУКЦ, 2010. – 160 с.

Bobrov O.B., Kyryluk V.P., Goshovskiy S.V., Stepanuk L.M., Gurskiy D.S., Lysak A.M., Sivoronov A.A., Bezvinniy V.P., Zultsle V.V., Prihodko V.L., Shpylchak V.A., 2010. Granulite structural-formations complexes of the Ukrainian shield – the European standart. The handbook for geological excursions. Lvov: ZUKTS, 160 p. (in Russian).

7. Бородин Л.С. Петрохимия магматических серий / Л.С. Бородин. – М.: Наука, 1987. – 261 с.

Borodin L.S., 1987. Petrochemistry of magmatic series. Moscow, Nauka, 261 p. (in Russian).

8. Босевська Л.П. Структурно-літологічна характеристика соляних діапірів Закарпаття (у зв'язку з проблемами створення підземних сховищ, використання і охорони соляних ресурсів): автореф. дис. ... канд. геол. наук: спец. 04.00.21 «Літологія». – К., 2012. – 24 с.

Bosevska L.P., 2012. Structural-lithologic characteristics of the Transcarpathia salt diapirs (in view of the underground storage facilities construction, salt resources use and protection): the assay of candidate's thesis, spec. 04.00.21 Lithology. Kyiv, 24 p. (in Ukrainian).

9. Геодинамическая карта Украины / Гос. комитет Украины по геологии и использованию недр ГГП «Геопрогноз». Киев, 1993.

The geodynamic map of the Ukraine. State committee on geology and mineral resources, state geological party «Geoprognozis», Kiev, 1993 (in Russian).

10. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы / А.Н. Заварницкий. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 479 с.

Zavarytskiy A.N., 1955. Igneous rocks. Moscow: Izdatelstvo AN SSSR, 479 p. (in Russian).

11. Карта геологічних формацій докембрію Українського щита масштабу 1:500 000. Пояснювальна записка. – К.: ЦТЕ, 1991. – 116 с.

Map of geological formations of Precambrian, scale 1:500 000. Kyiv, CTE, 1991, 116 p. (in Ukrainian).

12. Кирилюк В.П. Особенности стратиграфических исследований нижнего докембрия / В.П. Кирилюк // Геол. журн. – 2013. – № 3 (344). – С. 101-113.

Kyryluk V.P., 2013. Peculiarities of Lower Precambrian stratigraphic investigations. *Geologichnyy zhurnal*, № 3, p. 101-113 (in Russian).

13. Круглов С.С., Арсірій Ю.О., Бобров О.Б. та ін. Тектонічна карта України масштабу 1:1 000 000. Київ: ДГС, 2007.

Kruglov S.S., Arsiiry Yu.O., Bobrov O.B., Veklych Yu.M., Velikanov V.Ya., Vyshnyakov I.B., Geychenko M.V., Gintov O.B., Dzyuba B.M., Yentin V.A., Znamenska T.O., Kalinin V.I., Lysak A.M., Lukin O.Yu., Nechayeva T.S., Pashkevych I.K., Pedanyuk G.I., Popaduk I.V., Poluhtovych B.M., Radzivil A.Ya., Rybakov V.M., Samsonov V.Y., Holodnyh A.B., Shymkiv L.M., Yatsojynskiy O.M., 2007. Tectonic map of the Ukraine, scale 1:1 000 000. Kyiv: DGS (in Ukrainian).

14. Магматические горные породы: классификация, номенклатура, петрография / под ред. О.А. Богатикова, В.И. Гоньшаковой и др. – М.: Наука, 1983. – Т. 1. – 365 с.

Magmatic rocks: classification, nomenclature, petrography / Bogatikov O.A., Gonsharova V.I. Moscow: Nauka, 1983, vol. 1, 365 p. (in Russian).

15. Хрущев Д.П., Компанец Г.С. Литология галогенных и красноцветных формаций Предкарпаття / Д.П. Хрущев, Г.С. Компанец. – Киев: Наук. думка, 1988. – 191 с.

Khrushchev D.P., Kompats G.S., 1988. Lithology of evaporite and red coloured formations. Kiev: Naukova Dumka, 191 p. (in Russian).

16. Хрущев Д.П. Структурно-литологические модели перспективных осадочных формаций / Д.П. Хрущев, А.П. Лобасов, М.В. Гейченко, Е.А. Ремезова, Л.П. Босевская, Ю.В. Кирпач, А.В. Степанюк // Мінер. ресурси України. – 2010. – № 4. – С. 39-44.

Khrushchev D.P., Lobasov A.P., Geychenko M.V., Remezova E.A., Bosevskaya L.P., Kyrpach Yu.V., Stepaniuk A.V., 2010. Structural-lithological models of promising sedimentary formations. *Mineralni resursy Ukrainy*, № 4, p. 39-44 (in Russian).

17. Хрущев Д.П. Региональное структурно-литологическое моделирование осадочной оболочки / Д.П. Хрущев // Геол. журн. – 2013. – №3 (344). – С. 51-62.

Khrushchev D.P., 2013. Regional structural-lithological modeling of sedimentary cover. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (344), p. 51-62 (in Russian).

18. Бобров А.В. Main types of rock complexes and mineral deposits in the Ukrainian Shield // Geological Excursion Guidebook. – Kyiv: Geografika, 2002. – 168 p.

Bobrov A.B., 2002. Main types of rock complexes and mineral deposits in the Ukrainian Shield. *Geological Excursion Guidebook*. Kyiv: Geografika, 168 p. (in English).

19. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks* / Ed. R.W. Le Maitre. 2nd ed. – Cambridge University Press. 2002. – 236 pp.

Igneous Rocks, 2002. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks / (Ed. R.W. Le Maitre). 2nd ed. – Cambridge University Press., 236 p. (in English).

20. *Tales Set in Stone – 40 Years of the International GEOSCIENCE Programme (IGCP)* (Ed. Edward Derbyshire). Published in 2012 by the Global Earth Observation Section of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7. – Paris, France, 2012. – 140 p.

Tales Set in Stone – 40 Years of the International GEOSCIENCE Programme (IGCP) (Ed. Edward Derbyshire). Published in 2012 by the Global Earth Observation Section of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7, Paris, France, 2012, 140 p. (in English).

21. *Taylor S.R.* The continental crust: its composition and evolution / S.R. Taylor, S.M. McLennan. Blackwell, Oxford, 1985. – 356 p.

Taylor S.R., McLennan S.M., 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 356 p. (in English).

Статья поступила

04.05.2016