

ФОРМАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАБОТ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ

Д.П. Хрущов¹, Е.А. Ремезова¹, Р.Я. Белевцев², Е.А. Яковлев³, А.Т. Азимов⁴, А.В. Иванова¹, А.П. Лобасов⁵,
Л.П. Босевская⁶, Р.Х. Греку¹, Т.В. Охолина¹

¹*Институт геологических наук НАН Украины, ул. О. Гончара, 55 б, Киев, Украина, 01054,
e-mail: khrushchov@hotmail.com*

²*Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», просп. Акад.
Палладина, 34, г. Киев, Украина, 03142.*

³*Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства Национальной академии наук
Украины, Чоколовский бульвар, 13, Киев, Украина, 03186.*

⁴*Государственное учреждение «Научный Центр аэрокосмических исследований Земли Института
геологических наук НАН Украины» ул. О. Гончара, 55 б, Киев, Украина, 01054.*

⁵*Свободный геолог.*

⁶*Украинский научно-исследовательский институт соляной промышленности «УкрНИИСоль» ул. Чкалова 1а,
г. Соледар, Бахмутский р-н, Донецкая область, Украина, 84545*

Представлена теоретическая схема информационного обеспечения исследований и работ по обращению с геологической средой (ИОИРОГС), базирующаяся на формационном подходе. Теоретический смысл концепции заключается в разработке формационных алгоритмов всего цикла действий ИОИРОГС, построенного на трех познавательных-функциональных уровнях: общей методологической основы, целевой методолого-методической разработки и методического комплекса ИОИРОГС. Это универсальная схема, контролирующая все направления геологической деятельности: фундаментальные и прикладные исследования недр, освоение минерально-сырьевых ресурсов, охрана и реабилитация геологической среды (этап пост-майнинга). Практическая значимость схемы просматривается в содержании последнего уровня, который охватывает два методических аппарата: прогнозно-реконструктивное ретроспективно-статическое моделирование и комплексную эколого-геологическую модель. Результативность этих аппаратов подтверждается обобщенным анализом многочисленных сфер геологической деятельности человека, а также примерами авторского опыта по многим направлениям обращения с геологической средой.

Ключевые слова: геоинформатика, геологическая среда, использование геологической среды, охрана геологической среды, информационное обеспечение геологических работ.

Введение. Актуальность представленной публикации определяется глобальными революционными вызовами цифровой трансформации жизнедеятельности мирового сообщества. В сфере геологической деятельности, точнее, обращения с геологической средой (ГС), адекватный отклик на эти вызовы обусловлен двумя главнейшими факторами: значительной долей указанной деятельности в национальной (и мировой) экономике (полезные ископаемые и другие аспекты использования недр), а также высокой капиталоемкостью всех мероприятий по обращению с ГС (включая действия по ее охране). Итак, поскольку геологическая деятельность составляет один из приоритетов стратегий устойчивого развития и национальной безопасности большинства развитых и развивающихся государств, которые формируются в этих странах, инновационная оптимизация ее информационного обеспечения на основе современных информационных технологий

является безальтернативной. Для Украины реализация такого производственно-технологического направления экономики чрезвычайно важна с экономической, политической и социальной точек зрения с учетом существенной роли минерально-сырьевых ресурсов в формировании ВВП и экспортных поступлений (до 40 %).

Цель настоящей публикации — представление авторской концепции теории информационного обеспечения исследований и работ по обращению с ГС (ИОИРОГС), базирующейся на учете формационных алгоритмов и методолого-методической научно-технологической разработки «Прогнозно-реконструктивный геолого-информационный комплекс моделирования обращения с ГС», демонстрация имеющихся наработок и примеров моделирования.

В связи с этой целью рассмотрены следующие вопросы:

— оценка состояния проблемы;

- методология и методы исследований;
- содержание работы, полученные результаты и примеры конкретных разработок;
- общая оценка полученных результатов и обозначение перспектив дальнейшего развития данного направления моделирования.

В основу статьи положены результаты многолетних исследований, проводившихся в рамках государственной тематики Института геологических наук (ИГН) и Института геохимии и минералогии рудных месторождений НАН Украины с привлечением внебюджетного финансирования научно-прикладных тематик по заказам Государственной геологической службы Украины, Министерства экологии и природных ресурсов Украины (1996—2012), а также совместных проектов НАН Украины и Российского фонда фундаментальных исследований (2012—2015) и др.

Состояние проблемы. Исходя из того что по самому упрощенному определению информационное обеспечение работ по использованию ГС — это определенная идея, по которой они должны выполняться, можно представить, что историческое начало лежит в глубоком прошлом складывающихся взаимоотношений человечества с геологической средой как главным депо техногенных воздействий на окружающую природную среду (до 70—90 %).

В анналах мировой и отечественной литературы имеется огромный массив публикаций методологического и методического, а также конкретно-объектового характера, направленных на обеспечение работ по обращению с ГС (по нашему определению — ИОИРОГС); приводить даже самый краткий перечень не имеет смысла. При этом нужно признать, что на основе таких разнонаправленных и предметно разобренных теоретических трудов осуществлялись объективно ориентированные разработки, которые обеспечивали выполнение реализационных работ, решавших с большей или меньшей степенью успешности намеченные задачи (вопрос о пространственно-временной и эколого-техногенной эффективности получаемых результатов пока не затрагиваем).

В историческом плане развитие ИОИРОГС обуславливалось императивом трех факторов: последовательным возрастанием спроса на разностороннее использование ГС, столь же последовательным ухудшением условий осуществления геологических работ (прежде всего эколого-техногенных параметров недр, определяющих эти условия) и, наконец, неизбежностью ужесточения требований к охране ГС. Этот социально-исторический процесс носил в основном эволюционный характер, сопрягаясь с прогрессом геологических знаний (касающихся обращения с ГС) и технологий познания ГС. К числу революционных событий, обеспечивших инновационные преобразования ИОИРОГС и его современное состояние, можно отнести внедрение геоинформационных систем (ГИС) и кибернети-

ческих подходов с производными методиками и технологиями геоинформатики (по В.Е. Гончарову, инфогеологии [9 и др.]) — цифровое моделирование геологических объектов, целевые программные системы, комплексы, экспертные системы и т. д.

Отметим, что в современном понимании основным методом ИОИРОГС по-прежнему является представление моделей геологических объектов, т. е. более или менее адекватных отображений их структуры, вещественного состава и функциональных свойств. Традиционная форма геологического моделирования — представление 2D картографических материалов с соответствующей интерпретацией. Качественно новым этапом развития геологического моделирования в последнее десятилетие стало внедрение цифрового формата.

Достижения в области геологического моделирования (в той или иной мере касающиеся предметов ИОИРОГС) отражаются в материалах международных форумов EUROGEO, GEOINFORMATICS, Международной картографической ассоциации, а также некоторых специализированных изданий. Общие факторы значимости геологической информации для проведения работ по использованию и охране ГС и в конечном счете для прогресса экономики и устойчивого развития приведены в новейших зарубежных публикациях [44, 49 и др.].

Общие теоретические основы геоинформатики с учетом геологических аспектов достаточно детально рассматривались в серии статей А.Е. Куликовича и Н.А. Якимчука «Геоинформатика: історія становлення, предмет, метод, задачі (сучасна точка зору)», опубликованная в журнале «Геоінформатика» 2006—2007 гг., [24] а также в публикациях в различных периодических и монографических изданиях.

Непосредственное освещение методологических аспектов проблемы формационных алгоритмов ИОИРОГС ограничено: оно охватывает такие методологические разделы: 1) структура формационных подразделений; 2) направления моделирования ГС, базирующиеся на учете формационных подходов.

Первый раздел основывается на многочисленных фундаментальных работах, отображающих особенности строения и других характеристик геологических формаций (Н.М. Страхов, В.В. Белоусов, Н.Б. Вассоевич, Н.С. Шацкий, Н.П. Херасков, А.Е. Лукин, И.В. Истратов и др.). Вопросы структуризации и иерархии в формационном анализе, как теоретической основы для формализации структуры геологических объектов, рассматриваются в работах А.С. Смирновой, И.В. Истратова, Ю.Н. Карагодина, С.В. Горяинова и др. [22, 23, 33].

Второй раздел охватывает две группы исследований, также базирующихся на формационных алгоритмах: целевое статическое моделирование геологических объектов (в современной версии — ЦСЛМ) и методолого-методические разработки, непосредственно направленные на ИОИРОГС.

По первой группе имеются публикации в программах и сборниках трудов последних форумов Европейского конгресса региональной геокартографии и информационных систем (EUREGEO), Всеукраинской ассоциации геоинформатики (GEOINFORMATICS), Международной картографической ассоциации, а также в специализированных периодических изданиях. Помимо примеров результативного крупномасштабного цифрового моделирования локальных перспективных геологических объектов с отображением функциональных и структурно-литологических характеристик [39, 46] особый интерес вызывает появление таких моделей зональной и региональной масштабности в форумах EUREGEO с 2014 г., что перекликается с нашей концепцией регионального цифрового структурно-вещественного моделирования [34], в связи с чем отдельного упоминания заслуживает проектное предложение создания единой распределенной модели геологического строения России [17].

Особо следует отметить различия геологических школ в отношении формационных исследований, наиболее четко сформулированных Л.А. Изосовым: «Следует подчеркнуть, что формационный анализ разработан и активно применяется именно в отечественной геологической науке. В зарубежной науке такого направления не существует. Известные английские термины «formation» и «group» имеют чисто стратиграфический смысл...» [19, с. 21]. Не требует доказательств факт преимущества формационного анализа как эффективного экспертного инструмента ИОИРОГС, который позволяет комплексное использование геологических, химических, механических, физических и других параметров, что повышает достоверность оценок и прогнозов разведки, вскрытия, разработки месторождений, а также реабилитации нарушений ГС (фаза пост-майнинга).

Современные геоинформационные средства (технологии) ИОИРОГС охватывают ряд специализированных научно-производственных систем, программ и комплексов различной направленности и сложности, среди которых можно выделить следующие группы.

1. Автоматизированные системы обработки данных геологоразведочных работ, основанные на аппаратном, алгоритмическом и программном обеспечении. Используются коммерческие программы: ArcGis, MapInfo, AutoCADGK и др. В отечественной практике применяется система РАПИД, позволяющая решать довольно широкий круг задач по обращению с ГС.

2. Системы построения электронных архивов, баз данных и картографических материалов для решения прикладных задач [27 и др.].

3. Системы геолого-экономической оценки месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых на основе геоинформационных техноло-

гий K-MINE и др. [21, 28, 29 и др.]. В зарубежной практике используются интегрированные горно-геологические системы: DataMine, MineScape, Lynx, MineSight, Surpac и др.; часть из них включает в себя модели, ориентированные на решение экологических проблем, т. е. подходы комплексных эколого-геологических моделей (см. далее).

Значительный объем публикаций посвящен геоинформационному моделированию в нефтегазовой геологии [6, 8, 10, 11]. Все эти методологические разработки в той или иной мере базируются на формационном подходе.

В одной из работ В.Е. Гончарова с соавт. [10] выдвигается идея цифрового моделирования стратиграфических подразделений (стратонев) в региональном масштабе, что перекликается с нашей разработкой регионального структурно-вещественного моделирования [34].

Еще одно перспективное направление комплексного геолого-технологического моделирования в сфере нефтегазовой промышленности — отображение системы: объекты эксплуатации (месторождения)—процессы бурения—процессы их разработки—техническое обустройство нефте- и газопромыслов [6].

Особо следует выделить целевые экспертные системы (ЦЭС) как наиболее прогрессивное направление ИОИРОГС. ЦЭС базируются на принципах целевого комплексного моделирования геологических объектов на основе современных компьютерных технологий с элементом введения искусственного интеллекта (ИИ). Методические основы этого направления изложены в публикации Б. М. Миллер [48] со ссылками на основополагающие методологические работы по ИИ [41 и др.], а также представлены реферированием научно-прикладных разработок 1980-х годов — ГИС (PROSPECTOR, MiPETROL и др.), направленных на прогнозирование полезных ископаемых и, прежде всего, на поиски и оценку запасов нефти в осадочных бассейнах [40, 42 и др.].

В настоящее время системы этого направления совершенствуются в целом как интенсивно (в развитии методолого-методической базы), так и экстенсивно (в расширении объектности, т. е. ряда полезных ископаемых) [9, 13].

В отечественной практике вопросы введения ИИ в экспертные системы рассматриваются в некоторых публикациях В.Е. Гончарова и других исследователей [9, 34]. Вообще внедрение геологических систем в Украине проходит неудовлетворительно. Институтом кибернетики совместно с ИГН НАН Украины разработана геоинформационная система «Надра-3», предназначенная для оценки и прогноза состояния ГС, прогноза опасных геологических явлений, динамики тепло-массопереноса в ГС; однако ее использование пока ограничивается моделированием гидродинамики подземных вод на локальных объектах [15, с. 16].

В ряде действующих производственных систем эта тенденция носит умопостигаемый характер, что признают и другие специалисты [9 и др.].

В развитии геоинформационных технологий сыграли значительную роль идеи системного анализа, отраженные в классических трудах В.И. Вернадского, Л. фон-Берталанфи, Н. Винера, Дж. Клира и др., а также в современных работах [18 и др.].

Особо следует рассмотреть направление комплексного моделирования геологических объектов (по нашему определению, комплексная эколого-геологическая модель, см. далее). В практике геологических исследований и работ комплексную геологическую характеристику применяют для геологических объектов различных рангов — от регионального до локального, однако наиболее распространены модели локальной масштабности, обычно целевого назначения. По существу, значительная часть как фундаментальных, так и прикладных геологических исследований проводится с учетом комплексности геологических дисциплин; это касается и большинства рабочих ГИС и комплексов.

В мировой практике показательным примером комплексного многоцелевого моделирования могут служить программы выбора и оценки участков для удаления радиоактивных отходов, о которых издано огромное число публикаций благодаря солидному финансированию национальных производителей атомной энергетики, Министерства энергетики США, АНДРА Франции, а также МАГАТЭ и других международных организаций [35, 43, 45].

Примером отечественной разработки такого рода является многоцелевой методолого-методический комплекс СТАГД (И.Д. Багрий и соавторы), предназначенный для информационного обеспечения работ по прогнозированию и освоению месторождений углеводородов, модифицируемый и для решения широкого круга задач по обращению с ГС [4]. В нормативно-методических документах содержатся рекомендации, касающиеся комплексных подходов при обосновании мероприятий по обращению с ГС [14, 27, 32 и др.]. Считаю необходимым отметить комплексный характер геоинформационных данных, используемых в ИОИРОГС в виде набора результатов как геолого-геофизических, так и аэрокосмических исследований Земли. Сущность последних заключается в представлении пространственно фиксированных (а часто и пространственно уточненных) отображений формационно-вещественного состава и структуры литосферы, а также динамики их изменений на основе специализированных предметных методов [1]. Особо выделяются: метод анализа спектральных яркостей земных покровов на основе компьютерной обработки аэрокосмических изображений, полученных в различных диапазонах электромагнитного спектра, метод структурного дешифрирования, метод комплексного линейного анализа, методы интерферометрии и др. [2].

Естественно, во всех указанных исследовательских работах подразумевается отображение тех или иных аспектов структуры и вещественного состава геологических объектов, что составляет основные задачи формационного анализа, однако системные представления его алгоритмов, необходимые для теоретического обоснования формализации методов моделирования, пока не приводились.

При обзоре отечественных программ и проектов географической и геоэкологической направленности становится явным, что в них фактически неизменно использованы основные методологические подходы ИОИРОГС, несмотря на формальное различие терминологической номенклатуры, целей и задач. Определенный сектор предмета этого обеспечения отвечает соответствующим разделам некоторых географических и общих информационных систем — как действующих или внедряемых, так и проектируемых (Атлас природных, техногенных и социальных небезопасных ситуаций, 2015; Национальный атлас Украины, 2007; Национальный атлас Украины, пілотна версія, 2009; Национальна інфраструктура просторових даних — НГІС, проектна розробка і др. [15 и др.]).

В информационное обеспечение геологической деятельности важный вклад вносит и региональное геологическое картирование, осуществляемое, как правило, национальными геологическими службами большинства стран. В Украине это составляет прерогативу Государственной службы геологии и охраны недр. Ответственной инициативой данного направления является проект «Единая геология», выдвинутый первоначально Международной программой геологических наук (МПГН) [50], в настоящее время выполняемый в виде международного проекта геологических служб с участием Украины.

В России аналогичные работы разворачивались уже к началу 21 в. — концепция электронной Земли [47 и др.]; особое место занимает упомянутое выше проектное предложение о создании единой распределенной компьютерной модели геологического строения России [17].

Определенные формулировки сферы информационного обеспечения геологических работ содержатся в законодательных актах Украины (Кодекс України про надра (с учетом Постановления Кабинета Министров Украины от 07.11.2018 № 939 про порядок оцифровування геологической информации), Гірничий закон України, закони: про нафту і газ, про наукову і науково-технічну діяльність, про охорону навколишнього природного середовища) и в нормативно-методических документах (Методичні рекомендації з проведення моніторингу та наукового супроводження надрокористування, 2012), а также методических и научно-учебных изданиях и справочниках, которые учтены при подготовке данной публикации.

Из всего изложенного следует, что целью гео-

рии ИОИРОГС пока не существует или, точнее, она фрагментарна. Один из пробелов в ее формировании — отсутствие формулировки формационных алгоритмов; развитие этого раздела будет способствовать дальнейшему совершенствованию методов формализации и систематизации при разработке геоинформационных технологий ИОИРОГС и, соответственно, формированию указанной теории как самостоятельного направления геологических наук.

Методология и методы. Основные используемые определения. Ниже приведены некоторые определения, отражающие авторское понимание отдельных предметов. Большая часть используемых определений и терминов соответствует общепринятым подходам либо имеет соответствующие ссылки и комментарии.

Геологическая деятельность (человека*) (human geological activity) — совокупность мероприятий по обращению с геологической средой (рис. 1).

Обращение с геологической средой (синоним — управление, management, handling) — совокупность мероприятий по использованию геологической среды и ее охране. Использование геологической среды (use) охватывает несколько аспектов — эксплуатация минеральных ресурсов (а также подземных вод), строительство (подземное, наземное) и некоторые другие (использование термальной энергии, агрономическая деятельность, рекреационные цели и т. д.).

Охрана геологической среды (protection) — включает в себя экологические аспекты геологической деятельности, т. е. обеспечение экологических тре-

* Уточнение, по нашему мнению, излишне, так как существительное «деятельность» может относиться только к одушевленным субъектам (см. первоисточник — словари: Ушакова; Психологический; Энциклопедический; БСЭ и др.).

бований при ее осуществлении, в том числе восстановление нарушенной (как техногенными, так и природными процессами) геологической среды, в том числе прогноз, ограничение и устранение последствий опасных геологических явлений.

Геологическая среда (geoenvironment, иногда geological medium) — верхняя часть литосферы, подвергающаяся воздействию геологической деятельности (по Е.М. Сергееву, «верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека» [30 и др.]).

Техногенно-геологическая система — часть геологической среды, вмещающая техногенные объекты; ограничивается пределами зон влияния геологической деятельности.

Пост-майнинг (post mining) — вид геологической научно-производственной деятельности по экологическому восстановлению и стабилизации геологической среды после снятия горного предприятия с эксплуатации.

Особо следует остановиться на понятии «алгоритмы». В специальной литературе существует множество формулировок этого понятия. Нами предлагается следующее, наиболее общее: *алгоритмы* — структуризация сущности материально-вещественно-временного единства Вселенной и ее элементов.

Методологические принципы целевых фундаментально-прикладных исследований, структура исследований геологической направленности. Общая систематика наук изложена в отечественных и зарубежных публикациях, что дает общие представления и о систематике геологических наук [31 и др.].



Рис. 1. Обращение с геологической средой
Fig. 1. Management of geological environment

Ниже приведены некоторые базовые используемые определения общей систематики научных исследований, предоставляемые законодательными актами. В Законе Украины про научную и научно-техническую деятельность (1991 г.) даны следующие определения:

- фундаментальные научные исследования — экспериментальная или теоретическая деятельность, направленная на получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития природы, общества, человека и их взаимосвязи;
- прикладные научные исследования — научная и научно-техническая деятельность, направленная на получение и использование знаний для практических целей.

При этом во многих методологических работах отмечается, что границы между фундаментальными

и прикладными исследованиями весьма условны ввиду тесных взаимосвязей.

В свете этих определений представляется правомерным использование объединяющего понятия: «целевые фундаментально-прикладные исследования» (ЦФПИ), по сути не отличающегося от бытующего в академической науке термина «целевые фундаментальные исследования», т. е. фундаментальные в своей основе, направленные на решение определенных практических проблем.

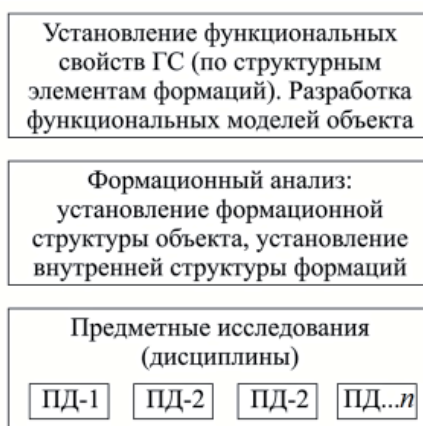
Фактически подавляющая часть тематических работ НАН Украины (в том числе геологического направления) относится к этой категории. Анализ тематических работ геологического профиля, выполняемых в странах ЕС, показывает аналогичные тенденции (ежеквартальник Research EU results magazine, 2014—2016, и др.).

О создании принципиальной схемы структуры

Ожидаемые результаты



Содержание работ



Подготовительный этап (запрос)

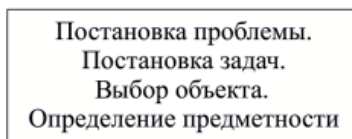


Рис. 2. Структура целевых фундаментальных исследований в геологии
Fig. 2. The structure of targeted basic research in geology

ЦФПИ геологического направления сведения пока как будто не приводились, вместе с тем для многих технических и природоведческих наук такие схемы известны.

Принципиальная схема структуры целевых фундаментально-прикладных исследований геологической направленности. На основе анализа, схематизации и систематизирования методологических основ предметных направлений геологии разработана принципиальная схема структуры ЦФПИ геологической направленности, которая оказалась сравнительно простой, логичной и понятной (рис. 2). Ниже кратко комментируется ее содержание.

Схема содержит три основных этапных раздела: подготовительный (обычно — запрос на постановку темы), содержание работ и полученные (ожидаемые) результаты. Вообще этапность и содержание научных исследований рассматривались в работах общетеоретического и методического характера (В.М. Михайлов, Б.И. Мокин, О.Б. Мокина, В.М. Романчиков и др.) и даже в законодательных актах. Рассматриваемая нами последовательность (этапность) геологических исследований в какой-то степени совпадает с некоторыми опубликованными схемами научных исследований, однако она настолько отличается по содержанию, что говорить о каком-либо подобии трудно.

Первый раздел — организационный, в комментариях не нуждается (он традиционный — постановка проблемы, постановка целей и задач, выбор объекта, обозначение предметности, разработка методологии — подбор методик, обозначение рамочных возможностей и ограничений, обозначение ожидаемых результатов и перспектив развития ЦФПИ).

Второй раздел — содержание работ, подразделяется на три этапно-предметных блока, отражающих как содержание предметных исследований, так и их последовательность.

Первоначальный блок — отображение предметных направлений исследований соответственно списку фундаментальных дисциплин геологии (стратиграфия, тектоника, литология, палеонтология, гидрогеология и т. д.), которые иногда именуются по предметам фундаментально-прикладных направлений (нефтегазовая геология, геология твердых полезных ископаемых, геоэкология, соответствующие направления гидрогеологии и т. д.). Для более специализированных исследований эти дисциплины разделяются по иерархическому принципу на подчиненные ранги. Каждое из направлений (дисциплин) характеризуется собственными методологическими подходами (отображаемыми в научных трудах соответствующей направленности). Анализ массива геологической информации показывает, что во всех предметных направлениях обязателен фактор формационной матрицы. Под формационной матрицей мы понимаем структурно-вещественную составляющую литосферы; это обобщенное понятие, охваты-

вающее следующий формационный иерархический ряд: формационный комплекс—формация—субформация—серия—свита—подсвита—пласт—слой.

Исходя из аксиомы обязательности фактора формационной матрицы *последующим (вторым) этапно-структурным блоком является формационный анализ.*

Согласно традиционным определениям, формационный анализ — это исследование структуры (внешней, внутренней), вещественного состава и условий образования геологической формации, как определяющей системы, во взаимодействии с окружающими системами.

При исследовании структурного строения формации могут использовать различные принципы. Литостратиграфический принцип иерархической структуры приведен выше. По генетическому подходу (П.П. Тимофеев) формация представляет собой сочетание фаций (фактически последние рассматриваются как реальные геологические тела). По литологическому принципу формация представляет собой сочетание литофаций, на этой основе строятся литологические карты различного целевого направления.

Вещественный состав можно отобразить в двух формах — породно-минеральной и геохимической. Для осадочных и «кристаллических» образований особенности отображения как структуры, так и вещественного состава различны.

В зависимости от масштабности объекта исследований (глобальный, межрегиональный, региональный, зональный) содержание исследований изменяется.

Все упомянутые методические подходы формационного анализа считаются корректными и используются для решения традиционных практических задач, а также с большей или меньшей степенью адекватности для формализации характеристик объектов, для математического и структурно-вещественного моделирования. Для различных предметных исследований (дисциплин) содержание формационной характеристики может модифицироваться.

Подготовленные характеристики (схемы, модели) составляют основу разработок последующего этапного блока.

Особый вопрос — методология позиционирования флюидов по отношению к формационной матрице. В масштабе земной коры (с концептуальным учетом роли верхней мантии и земного ядра) можно выделить внутрiformационные флюиды и трансформационные их потоки. Оба этих типа освещены в огромном информационном массиве классических и новейших трудов. С нашей позиции внутрiformационные флюиды рассматриваются методологически как элемент формации, являющейся квазизакрытой системой. Функциональная роль трансформационных потоков флюидов должна учитываться как комплекс процессов взаимодействия между системами [37 и др.].

Для территорий, нарушенных в результате недопользования, с учетом нарастания числа снятых с эксплуатации шахт и карьеров, площадей устанавливается режим пост-майнинга, который связан с особой фазой нарушения верхней зоны ГС. В целом этому этапу присущи следующие характеристики:

- 1) долговременность по сравнению с периодами геологического изучения и разработки;
- 2) проявление комплекса новых природных и техногенных процессов, в том числе опасных;
- 3) изменение механизмов взаимодействия ГС с подземной и поверхностной гидросферой, биосферой, приземной атмосферой [38].

В работе [34, с. 13] приведены принципиальные схемы взаимоотношений формационной матрицы и динамических процессов, которые могут использоваться в целевом формационном анализе.

Третий, завершающий блок — установление функциональных свойств ГС (по структурным элементам формации), разработка функциональных моделей объекта. Функциональные свойства — это характеристики и свойства, определяющие возможность тех или иных действий по обращению с геологической средой (см. рис. 1).

Традиционно установление функциональных свойств геологической среды проводится при ЦФПИ с большей или меньшей мерой успешности в соответствии с общепринятыми методологическими принципами и методическим набором предметных исследований либо комплексированием последних.

Начиная с этого блока соблюдается целенаправленное ориентирование предметных (и комплексных) исследований на решение конкретных проблем и задач обращения с ГС.

Реализация намеченного методолого-методического ряда задач осуществляется путем разработки функциональных моделей объекта.

Что такое функциональная модель?

Исходя из общего определения термина «модель» (формальное адекватное отображение — аналоговое, цифровое — геологического объекта, сохраняющее определенную часть его свойств, признаков, характеристик, создаваемое с целью познания, исследования и направления управленческих действий), формулируем: функциональная модель — это формальное адекватное отображение геологического объекта, включающее структурные и качественные его (или его структурных элементов) свойства, которые определяют возможность действий по обращению с ГС.

Традиционно к направлению функционального моделирования относились объемы информации, получаемые в ходе ЦФПИ (материалы описательных, картографических, расчетных и других форматов, в последние десятилетия в компьютерной обработке), отображающие определенные свойства ГС.

В развитие традиционных ЦФПИ нами пред-

ложены некоторые инновационные разработки, направленные на систематизацию, унификацию, внедрение эффективных технологий моделирования на базе ГИС (см. далее).

Последний раздел структуры ЦФПИ — ожидаемые результаты, комментариев не требует.

Теоретическая схема информационного обеспечения исследований и работ по обращению с геологической средой. Прогнозно-реконструктивный геолого-информационный комплекс моделирования обращения с геологической средой. В нашем видении, общую теоретическую схему информационного обеспечения исследований и работ по обращению с ГС можно представить соответствующим методолого-методическим комплексом (рис. 3).

В этом комплексе устанавливаются следующие познавательные-функциональные иерархические уровни.

1. Общая методологическая основа — формационный анализ (ФА) и соответствующие предметные исследования.

2. Целевая методолого-методическая разработка — прогнозно-реконструктивный геолого-информационный комплекс моделирования обращения с ГС (ПРГИКМ).

3. Методический комплекс информационного обеспечения исследований и работ по обращению с ГС:

- прогнозно-палеорекоgnитивная ретроспективно-статическая модель (ППРПСМ);
- комплексная эколого-геологическая модель (КЭГМ).

Разъяснение указанных уровней следующее.

1. ФА — исследование структуры (внешней, внутренней), вещественного состава и условий образования геологической формации (см. выше). Уместно напомнить одно из недавних определений: ФА — методология «выделения конкретных формационных тел, установление их форм, размеров, структуры и вещественного состава» [19, с. 21 и др.], которое как нельзя более отвечает задачам современного цифрового моделирования (см. далее).

2. ПРГИКМ — методолого-методическая разработка, конкретизирующая формирование предлагаемого направления геологического моделирования как более или менее универсального аппарата ИОИРОГС. При этом в определении «прогнозно-реконструктивный» имеются в виду две функции моделирования — прогнозная и реконструктивная.

Прогнозная функция охватывает три аспекта: прогнозирование перспективных геологических объектов (различной предметности, в различных масштабах), прогнозирование функциональных свойств ГС в пределах локальных объектов и, наконец, прогнозирование развития геологических процессов во времени.

Реконструктивная функция включает в себя установление структурных и литологических (со-

ответственно, и функциональных) характеристик геологических объектов (различных масштабнo-формационных рангов) как главную задачу ЦСЛМ и вместе с тем инструмент для выявления геологических процессов современности и реконструкции их в прошлом.

Таким образом, это широкое определение как бы охватывает все разнородные аспекты геологического моделирования данного направления. Определение «геолого-информационный» комментарий не требует, помимо того что подчеркивается именно геологическое предназначение разработки, не распространяющееся непосредственно на технические аспекты геологической деятельности.

Методологическая роль ПРГИКМ заключается в предоставлении теоретической базы для формирования методики информационного обеспечения по двум действиям процедуры моделирования:

структуризация и последующая формализация характеристик объектов и моделирование процессов (внутриформационных и трансформационных) настоящего, прошлого и прогнозируемых на будущее.

3. Методологический комплекс информационного обеспечения включает в себя два блока: прогнозно-палеорекоgnитивное ретроспективно-статическое моделирование (ППРРСМ) и комплексное эколого-геологическое моделирование. Определение ППРРСМ предполагает выделение двух познавательно-методологических разномасштабных уровней: прогнозных палеорекоgnитивных и ретроспективно-статического моделирования. Иначе говоря, методологическая суть ППРРСМ состоит в диалектическом объединении структурно-литологической модели объекта (СЛМ) (как статической) и исследований фациальных условий его формирования (ретроспективный аспект), а также корреляции послед-

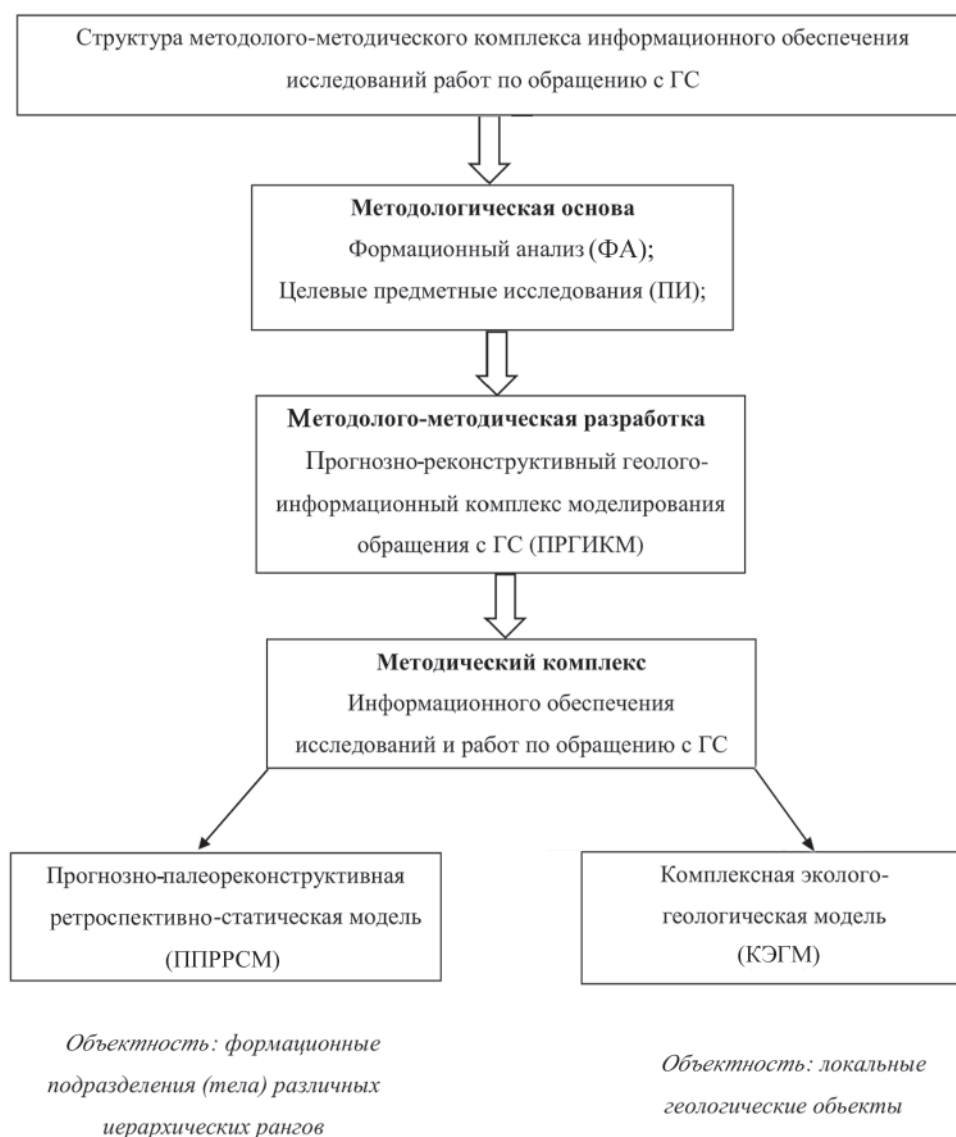


Рис. 3. Прогнозно-рекоgnитивный геолого-информационный комплекс моделирования обращения с ГС

Fig. 3. Predictive-reconstructive geological information complex for modeling of Geological medium management

них с исследованиями зонального и регионального масштабов (охватывающими палеогеографические, палеотектонические, палеогеоморфологические, палеогидрологические, палеоседиментационные и другие палеорекострукции) (рис. 4).

В основу методологического обоснования прогнозно-палеорекоструктивного направления положено множество классических и новейших работ (Н.М. Страхова, П.П. Тимофеева, А.Л. Яншина, П. Фивега, Р.Г. Гарецкого, Н.Г. Патык-Кара, Н.А. Шило, К. Рейнборда, У. Мильна, Я. Красона и др).

Цифровая структурно-литологическая модель — виртуальное объемное (3D) многостороннее отображение геологического объекта, содержащее его структурные и качественные характеристики.

Объектом структурно-литологического (в том числе цифрового — ЦСЛМ) моделирования могут быть формационные подразделения, т. е. литологические тела различных иерархических рангов начиная от формации и ниже, в том числе некоторые непластовые формы, например, соляные диапиры, трубы дегазации Земли, в частности грязевулканические структуры [37] и т. д.

Предметом моделирования могут служить любые подлежащие геометризации элементы намеченного объекта — тела полезных ископаемых, литофации, фации, участки (слои, зоны), обладающие определенными функциональными свойствами — геохимическими (в частности барьерными) или физико-механическими (например, коллекторскими или прочностными) и т. д., с одной стороны, либо отражающие определенные состояния геологической среды, например, напряженно-деформированное состояние, структурно-динамические характеристики (потенцию к развитию движения твердых флюидов — галокинезу, грязевому вулканизму) — с другой, и, наконец, зоны развития наложенных процессов, как природных (катагенеза, метаморфизма, гидротермальной переработки), так и техногенных.

Методика исследований ППРРСМ направлена на прогнозирование месторождений региональной и зональной масштабности, разработка ЦСЛМ — на информационное обеспечение разведки и эксплуатации перспективных объектов (месторождений). Построение КЭГМ предназначается для информационного обеспечения исследований и работ на локальных объектах, характеризующихся сложными сочетаниями структурно-литологических характеристик, горно-геологических и гидрогеологических условий, с развитием техногенно-геологических нарушений ГС (геоэкологических чрезвычайных ситуаций).

Программное обеспечение и форматы данных. Компьютерная реализация структурно-литологических моделей в рамках представляемого направления осуществляется на основе авторского комплекса

«многомасштабное многоцелевое 3D структурно-литологическое моделирование геологических формаций» [34].

Комплексная эколого-геологическая модель (КЭГМ) — это целевая модель высокого порядка, которая может состояться несколькими предметными моделями подчиненных рангов, базирующимися на структурно-литологической модели как матричной. Состав комплекса предметных моделей определяется предметом (системой мероприятий) обращения с намеченным геологическим объектом. К примеру, в составе теоретической КЭГМ оценки геологической среды для размещения объектов изоляции радиоактивных отходов (хранилищ геологического типа) принимают участие семь основных предметных моделей: структурно-тектоническая, литологическая (или петрологическая), геомеханическая и инженерно-геологическая, геохимическая, теплофизическая, гидрогеологическая (гидродинамическая, гидрохимическая) и гидрогеологическая миграционная [35].

Вообще в зарубежной практике научных исследований в сфере изучения радиоактивных отходов в хранилищах геологического типа (эффективно финансируемых МАГАТЭ, национальными правительственными ведомствами и соответствующими корпорациями развития стран) наиболее близким аналогом нашего понятия КЭГМ является «характеризация» (characterization), при этом термины modeling, models также употребляются. Наш методический подход, базирующийся на разработке комплексной модели, рассматривается в совместных публикациях как приемлемый. По сути, наша комплексная модель включает тот же перечень подчиненных предметных моделей, что и перечень «исследований» (investigations, research, characteristics, иногда — modeling), приводимый во всех национальных программах [43, 45 и др.], т. е. демонстрируется полная адекватность методологических подходов.

Реализация теоретических разработок. Полученные результаты и примеры моделирования. Ниже в аннотационной форме приведены примеры фундаментально-прикладных разработок авторского коллектива по нескольким научно-техническим направлениям (с соответствующими внедрениями), демонстрирующие согласованность с изложенными в данной статье положениями концепции формационных алгоритмов ИОИРОГС и подтверждающие ее адекватность.

1. *Региональное разномасштабное ЦСЛМ соленосных формаций Украины с разработкой крупномасштабных моделей перспективных объектов.* На основе общих методологических принципов ЦСЛМ, модифицированных для соленосных формаций, разработана методика разномасштабного моделирования. Построены соответствующие модели для всех соленосных формаций (разработка выполнена

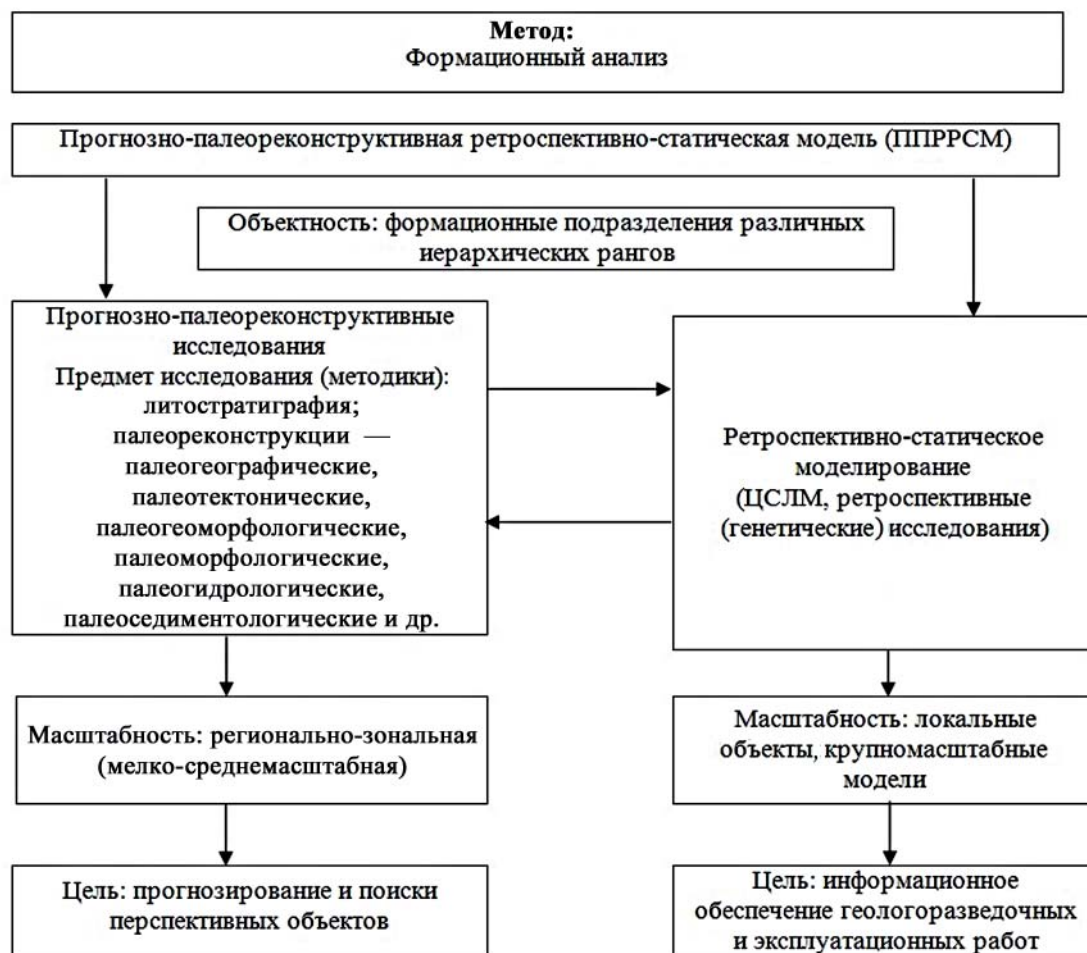


Рис. 4. Структура и содержание прогнозно-палеорекопструктивной ретроспективно-статической модели
 Fig. 4. The structure and content of predictive-paleoreconstructive retrospective-static model

с привлечением финансирования по заказу Государственной геологической службы Украины «Атлас соленосных формаций Украины», 2004 — 2012 гг.). Демонстрируются некоторые примеры производных ЦСЛМ (рис. 5, 6).

2. Разработка ППРРСМ россыпей тяжелых металлов (титана, циркона, золота) и касситерита на площадях Украинской россыпной провинции. Работы проводились в рамках госбюджетных тематик ИГН НАН Украины и совместных проектов НАН Украины и Российского фонда фундаментальных исследований (2012—2015). Модифицирование метода ППРСМ для россыпей тяжелых минералов (и других вещественных типов) осуществляется путем введения понятия *формационно-вещественная система россыпеобразования* (далее — ФВСР). ФВСР — единица целевого районирования россыпной формации, представляющая сочетание «россыпеобразующие формации—промежуточные коллекторы—россыпь» [26].

Для Украинской россыпной субпровинции рассматриваются пять примеров ФВСР, из них четыре относятся к миоцену (территории Тарасов-

ского месторождения (рис. 7) и прилегающих площадей, Самотканской группы месторождений, Краснокутского месторождения и прилегающих площадей, Иршанской группы месторождений), один — к нижнемеловым отложениям (территория Лебедин-Балаклеевской палеодолины). Разработка прогнозно-палеорекопструктивных блоков ППРРСМ обеспечивает прогнозирование перспективных участков в зональной масштабности, а ретроспективно-статических (т. е. ЦСЛМ) — информационное обеспечение работ по освоению конкретных объектов, т. е. месторождений. Эффективность разработки подтверждена внедрениями [34].

Выделены также ФВСР золотоносной специализации. По генетической природе они относятся к редуцированному типу, поскольку промышленные аллювиальные россыпи золота представляют группу ближнего сноса, для которой устанавливаются лишь два первых элемента: источник сноса и россыпь.

3. Разработка ЦСЛМ и цифровых структурно-петрологических моделей (ЦСПМ) — перспективных участков и месторождений агрономических руд (калийных солей, апатитов, фосфоритов). По ре-

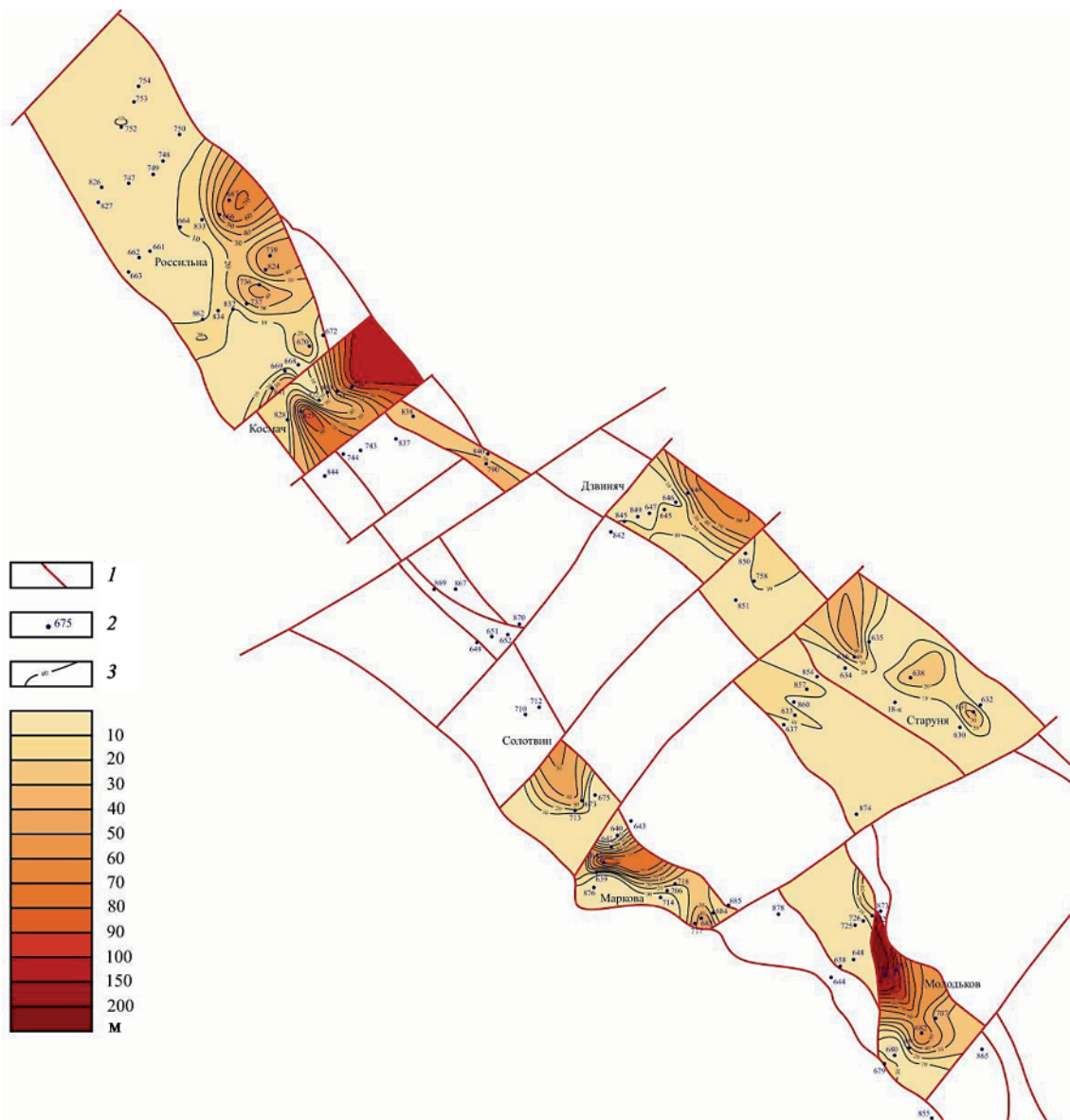


Рис. 5. Карта суммарной мощности калийных солей верхневоротыщенской соленосной толщи участка Россильна-Дзвиняч-Старуна, Предкарпатский прогиб. Масштаб 1:100 000: 1 — разрывные нарушения; 2 — скважина и ее номер; 3 — изолинии мощностей калийных солей, м

Fig. 5. Map of the total power of potash salts of the Upper Vorotyshcha salt-bearing strata of the Rossilna-Dzvinjach-Starunya site, Subcarpathian foredeep. Scale 1: 100,000. 1 — faults; 2 — well and its number; 3 — contours of potash salts thickness, m

зультатам выполнения госбюджетной тематики и в связи с подготовкой проекта «Агрономические руды Украины» построено несколько целевых ЦСЛМ по намеченным направлениям работ. Демонстрируется пример структурно-петрологической модели одного из перспективных месторождений фосфатного сырья — апатитов (рис. 8).

4. *Разработка ЦСЛМ участков, перспективных для строительства подземных хранилищ в соляных массивах и размещения рассолопромыслов.* Это направление является традиционным для ОНЗ НАН Украины. Разработана научно-техническая основа сооружений и эксплуатации подземных хранилищ различного назначения в соляных массивах (Л.Б. Ча-

банович, Д.П. Хрущов и др., 2008). В целях информационного обеспечения работ по созданию хранилищ нефти, нефтепродуктов, сжатых и сжиженных газов построены структурно-литологические модели ряда объектов как в пределах Украины, так и на территории других стран (Беларусь, РФ, Казахстан). При условии соответствующих заказов эти модели легко могут быть переведены в формат ЦСЛМ. В Украине детальные структурно-литологические модели разработаны для Каплинцевской, Солоницкой и Роменской солянокупольных структур.

5. *Обращение с территориями деятельности горнодобывающих предприятий соляной промышленности.* На основе теоретической схемы процессов,

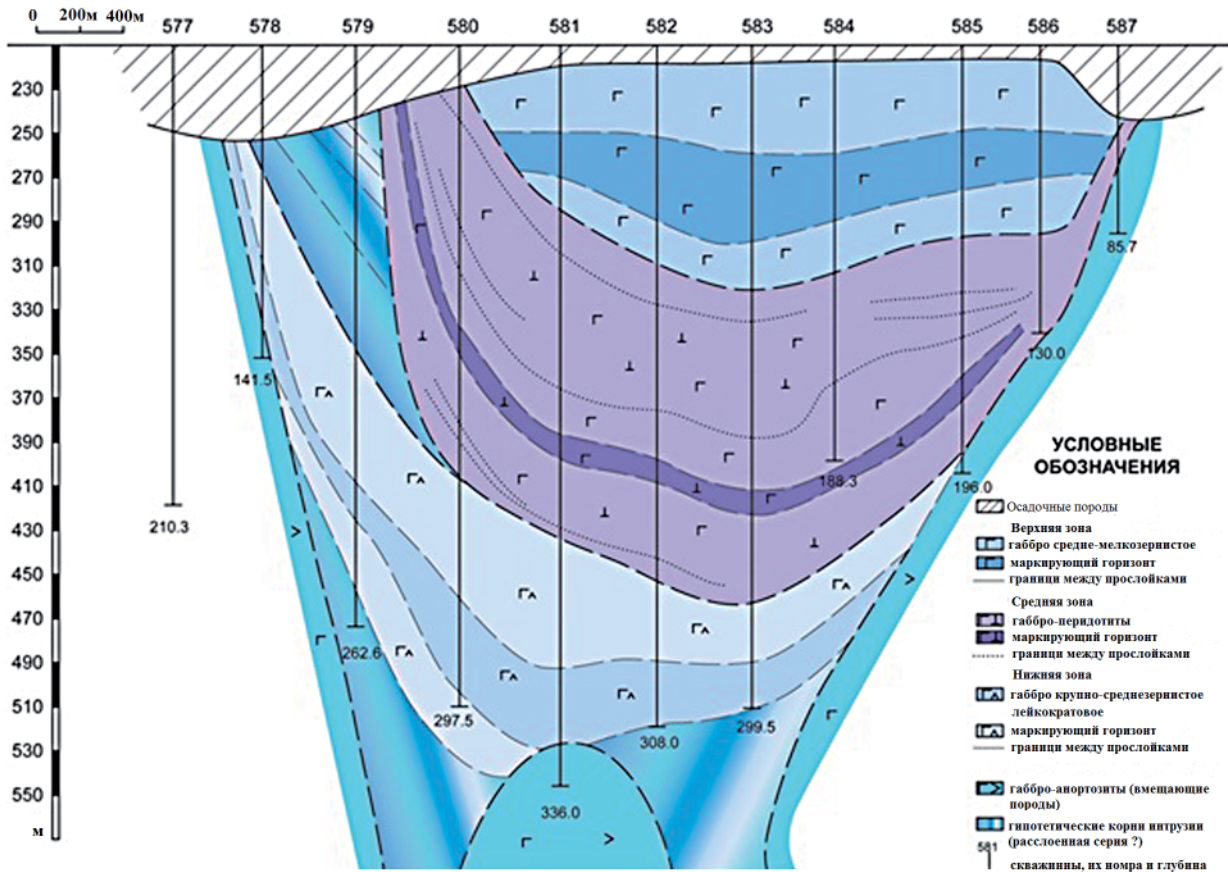


Рис. 8. Структурно-петрологический профиль Федоровского месторождения титаново-апатитовых руд
 Fig. 8. Structural — petrological profile of the Fedorovsky deposit of titanium-apatite ores

связанных с техногенным вторжением в ГС соляных массивов, разработана структура КЭГМ Солотвинского месторождения каменной соли, которая должна включать ЦСЛМ как матричную основу, а также гидрогеологическую (с гидродинамическим и гидрохимическим моделированием), геохимическую и инженерно-геологическую модели (рис. 9). На базе имеющегося предварительного варианта ЦСЛМ, а также гидрогеологических и геохимических данных разработан принципиальный механизм разрушения соляного тела и дан прогноз развития опасных геологических явлений, что отражено в особом разделе отчета миссии Европейского Союза. Дан перечень мероприятий по обращению с ГС территории месторождения [34]. Выделены три функционально-объектовых блока, требующих различных методологических подходов комплексного моделирования, — соляной массив, надсолевая толща и окружающая осадочная толща.

Разработана ЦСЛМ Тереблянской солянокупольной структуры как альтернативного объекта эксплуатации соляных ресурсов (рис. 10).

6. Выбор участков для размещения приповерхностных хранилищ токсичных отходов, обращение с территориями загрязнения ГС токсичными веществами, хранилища токсичных отходов геологического

типа и др. Разработаны принципы выбора и оценки ГС для размещения хранения приповерхностного и геологического типов на основе теоретических разработок в области барьерных свойств ГС, предложены принципиальные теоретические схемы комплексных оценочных моделей, базирующихся на структурно-литологической модели с установлением барьерных свойств и миграционных моделей [36].

7. Использование метода гравитационной томографии для создания предварительных объемных моделей глубинного строения Земли, предоставляющих основу для последующих разноцелевых геолого-геофизических исследований. Приведен пример Антарктики как полигона слабой геологической изученности, для которого применение предложенного метода весьма уместно. Данные, характеризующие этот сектор геоида, представлены в виде коэффициентов сферических функций гравиметрического потенциала. На рис. 11, а показан вертикальный томографический разрез распределения плотностных неоднородностей вдоль центральной части континента по всей его протяженности. Отображен подледный рельеф коренных пород по данным базы BEDMAP-2. Глубины приведены в логарифмическом масштабе для наглядного отображения глубинного строения по всему диапазону глубин

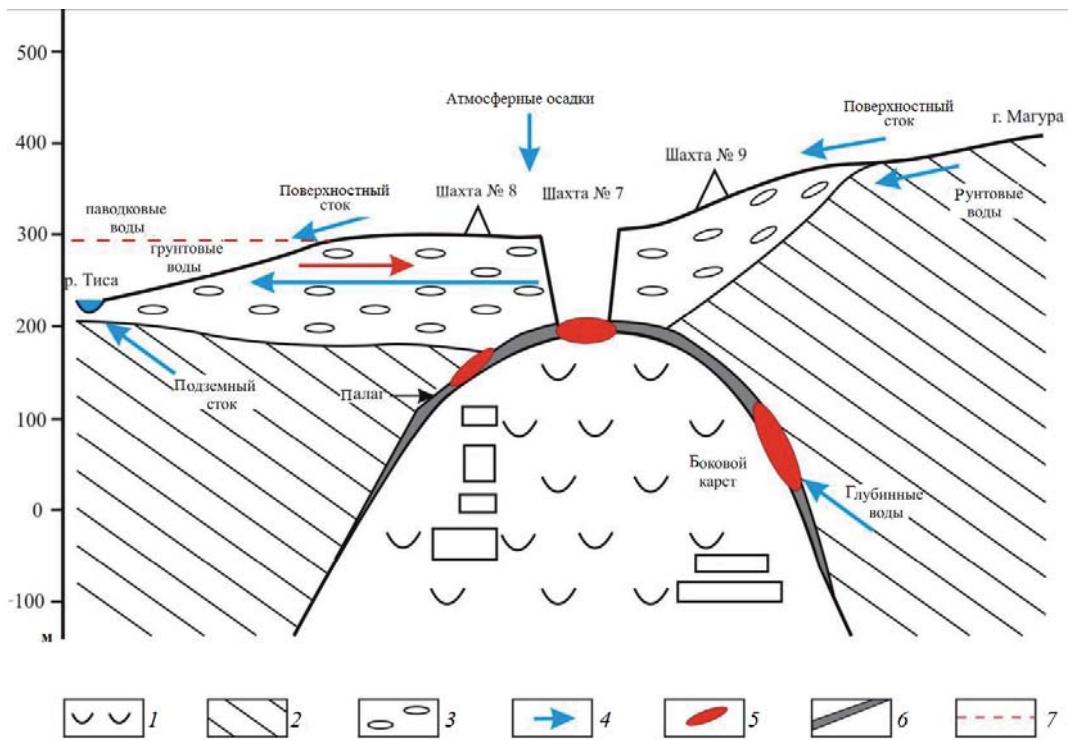


Рис. 9. Принципиальная схема структуры Солотвинского купола: 1 – каменная соль; 2 – отложения солотвинской свиты; 3 – галечники четвертичного возраста; 4 – направление движения подземных и поверхностных вод; 5 – участки карста с разрушением «палага» и боковой брекчии; 6 – «палага», боковая брекчия; 7 – уровень р. Тиса в период паводка

Fig. 9. Principal scheme of the structure of the Soltvino salt dome: 1 – rock salt; 2 – sediments of the Soltvino formation; 3 – Quaternary pebbles; 4 – the direction of movement of groundwater and surface water; 5 – areas of karst with the destruction of «palag» and lateral breccia; 6 – «palag», lateral breccia; 7 – the level of river Tysa flood

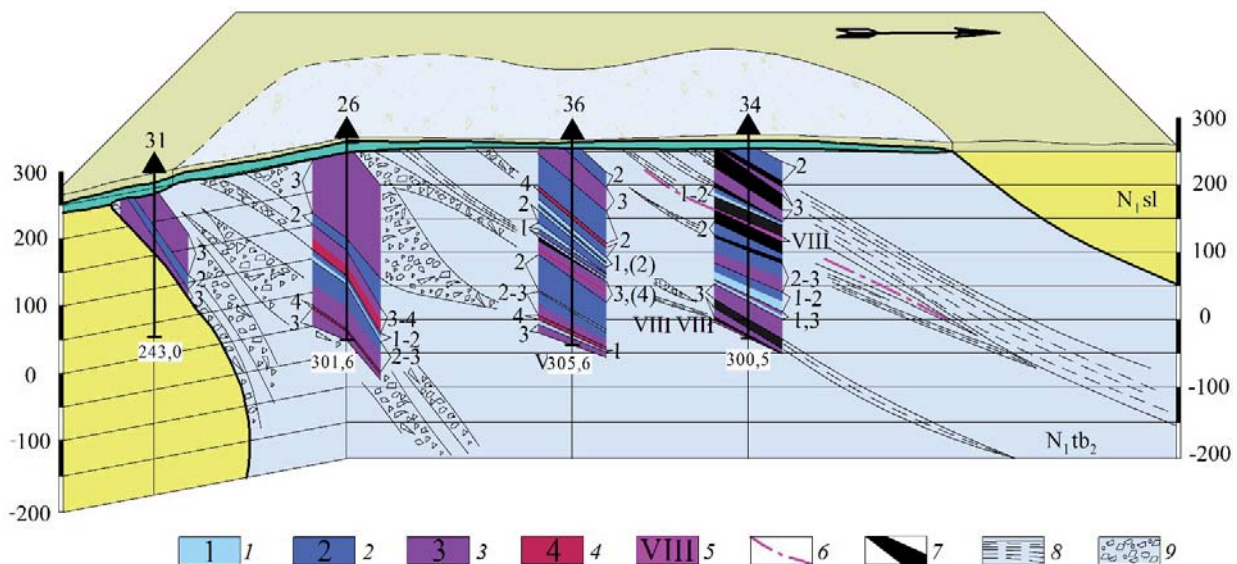
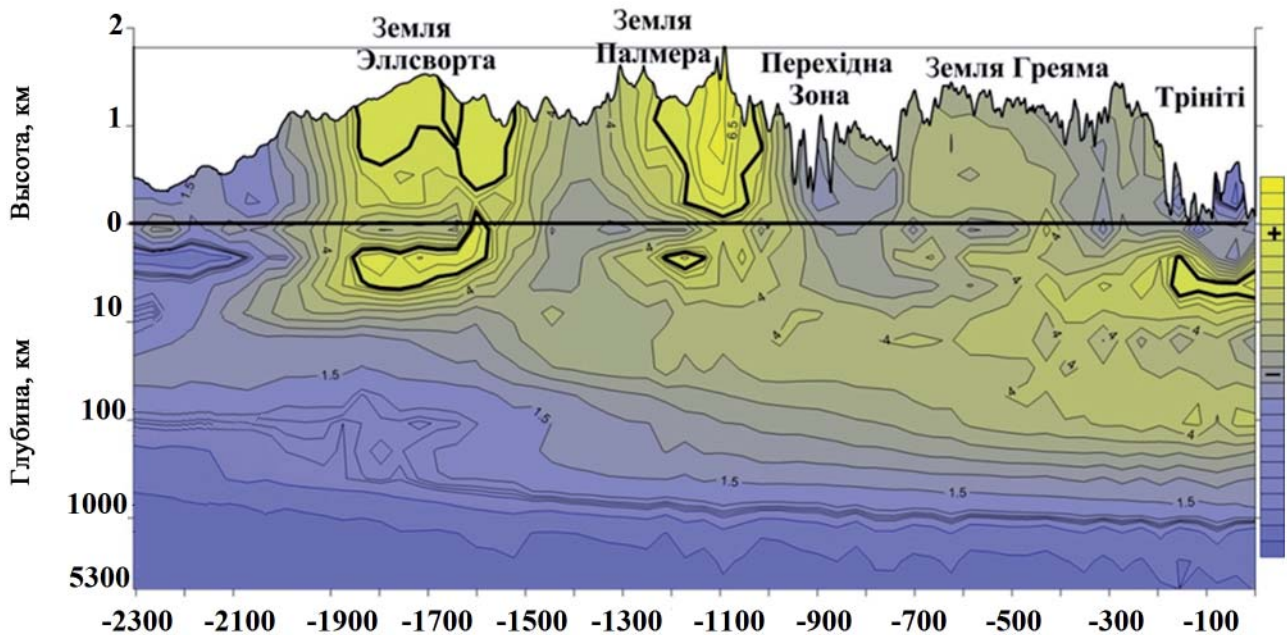
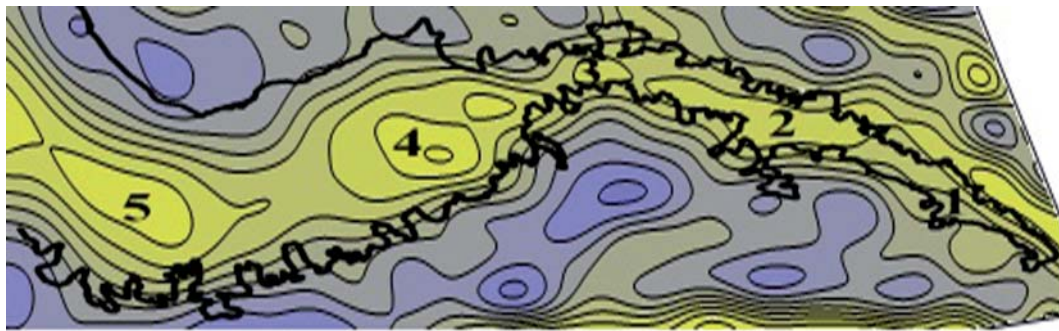


Рис. 10. Фрагмент 1 структурно-литологической модели (СЛМ) Тереблянского диапира (линия I – I): 1–4 – группы структурно-литологических типов соляных пород; 5 – типичная соляная порода зоны течения (СЛТ VIII); 6 – прогнозируемое развитие зон течения; 7 – фактически установленные слои несоляных пород; 8 – прогнозируемое развитие слоев несоляных пород; 9 – прогнозируемое развитие зон интенсивного брекчирования

Fig. 10. Fragment 1 of the structural - lithological model (SLM) of the Tereblya diapir (line I – I): 1–4 – groups of structural - lithological types of salt rocks; 5 – typical salt rock of the flow zone (SLT VIII); 6 – predicted development of flow zones; 7 – actually defined layers of non-salt rocks; 8 – the predicted presence of non-salt rocks layers; 9 – predicted development of intensive brecciation zones



a



b

Рис. 11. Модели глубинных зон земной коры Антарктиды
 Fig. 11. Models of Earth crust deep zones of Antarctica

от поверхности до 5300 км. Видно, что каждый из наблюдаемых блоков характеризуется различной структурой как в верхних горизонтах, так и на глубинах от 10 до 60–70 км. Все они разделены переходными зонами. Данные демонстрируются впервые. Географическое расположение геологических структур показано на рис. 11, б: 1 — Земля Тринити, 2 — Земля Греяма, 3 — Переходная зона, 4 — Земля Палмер, 5 — Земля Элсворта.

Выводы. Оценка полученных результатов и перспективы дальнейших исследований. В современной мировой практике существует значительное число методик, компьютерных программ и целевых экспертных систем, предназначенных для ИОИРОГС, причем некоторые из них претендуют на большую или меньшую степень универсальности. Однако общий анализ этих разработок свидетельствует о недостаточности базового теоретического фундамента, и самое главное — формационной основы. Представлена теоретическая схема ИОИРОГС, ба-

зирующаяся на формационном подходе. Авторы считают эту схему универсальной, контролирующей все направления геологической деятельности. Пока она представляется как фундаментальная разработка. Тем не менее практическая значимость ее уже просматривается в содержании последнего уровня, который охватывает два методических аппарата, предназначенных для ИОИРОГС геологических объектов разной масштабности.

Стратегическая цель дальнейших исследований — развитие теории ИОИРОГС. В рамках этой цели выделяются следующие подчиненные задачи (уже обеспеченные определенным заданием фундаментальных и прикладных исследований):

— развитие методолого-методического прогнозно-реконструктивного геолого-информационного комплекса моделирования обращения с двумя методическими аппаратами (прогнозно-палеореко-
 конструктивное ретроспективно-статическое моделирование; комплексная эколого-геологическая модель);

– экстенсивное расширение и специализация объектности моделирования;

– внедрение разработанного комплекса по всем направлениям обращения с геологической средой.

Данный комплекс предназначен для ИОИРОГС практически по всем направлениям обращения с ГС, т. е. разноцелевого использования и охраны. Ожидаемый результат внедрения — существенная оптимизация национальной геологической деятельности с соответствующими экономическими, экологическими и социальными эффектами.

Список библиографических ссылок

1. Азімов О. Основні методологічні принципи дослідження особливостей будови земної кори дистанційними технологіями. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2014. Вип. 1 (64). С. 73—77.
2. Азімов О.Т. Технологічна модульна схема оброблення—дешифрування—геологічної інтерпретації матеріалів аерокосмічних знімачів. *Геоінформатика*. 2014. № 2 (50). С. 43—55.
3. Аузин А.А., Глазнев В.В. Компьютерное трехмерное моделирование геологических объектов и процессов. Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: зб. наук. праць. Київ, 2004. Т. 1. С. 50—60.
4. Багрій І.Д. Фундаментальні розробки підгрунтя нових високоефективних технологій. Київ: Фоліант. 2017. 562 с.
5. Берлянт А.М., Кошкарєв А.В., Тикунов В.С. Картография, геоинформатика: итоги науки и техники. Серия картография. Москва: ВИНТИ, 1991. Т. 14. 179 с.
6. Білецький В., Сергєєв П., Фик М., Козирець С. Моделирование в нефтегазовой промышленности. *Геоинформатика*. 2018. № 1. С. 93—101.
7. Никулин С.Л. Специализированная геоинформационная система РАПИД: структура, технология, задачи. *Геоинформатика*. 2016. № 1(57). С. 22—34.
8. Гончаров В.Е. Геологическая информатика. Положение в системе наук про Землю. *Геоинформатика*. 2007. № 3. С. 19—24.
9. Гончаров В.Е. Инфогеология — объект и методы исследований. *Геоинформатика*. 2011. № 2. С. 5—12.
10. Гончаров В.Е., Кононенко Л.П., Каленська Г.Л. Розробка принципів зображення стратиграфічної інформації в інформаційно-геологічних дослідженнях. *Геоінформатика*. 2008. № 3. С. 56—68.
11. Гончаров В.Е. Геологічний напрям розвитку інформаційних технологій. *Геоінформатика*. 2016. № 2. С. 21—27.
12. Гребенніков С.Є., Лобасов О.П. Моделирование будови осадових басейнів у середовищі ArcView. *Мінеральні ресурси України*. 2003. № 4. С. 25—31.
13. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика. Москва: Наука, 2010. 327 с.
14. Державні будівельні норми України. Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків, споруд. ДБН А.2.12-1-2003. Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2004. 22 с.
15. Діяльність Національної академії наук України у 2009—2015 роках. Основні результати та показники. Київ, 2015. 178 с.
16. Долинський І.П. Апробація програм 3D регіонального моделювання на прикладі об'єктів ДДЗ. *Геоінформатика*. 2014. № 4(52). С. 37—46.
17. Единая распределенная компьютерная модель геологического строения территории России. Москва: ГЕОС, 2001. 192 с.
18. Згуровский М.З., Панкратьев Н.Д. Системный анализ. Проблемы методологии, приложения. Киев: Наукова думка, 2005. 743 с.
19. Изосов Л.А. Формационный анализ и его место в геологической науке. *Региональные проблемы*. 2011. Т. 14, № 2. С. 21—27.
20. Инструкция о проведении геологоразведочных работ по стадиям (твердые полезные ископаемые). Утв. приказом Министерства энергетики и природных ресурсов Республики Казахстан 27.02.2006 года, № 72. — 12 с.
21. Использование геоинформационной системы K-MINE в различных сферах деятельности. II Международный научно-практический семинар «SVIT GIS-2012»: сб. докладов. Кривой Рог: Дионис, 2012. 298 с.
22. Истратов И.В. Геометризация геологических тел. Москва: Недра, 1996. 112 с.
23. Карагодин Ю.Н. Региональная стратиграфия. Москва: Недра, 1985. 180 с.
24. Кулінкович А.Є., Якимчук М.А. Геоінформатика: історія становлення, предмет, метод, задачі (сучасна точка зору). *Геоінформатика*. 2007. № 3. С. 5—25.
25. Костриков С.В. Досвід ГІС — моделювання і візуалізації систем свердловин та геологічного середовища (на прикладі Грем'ячинського родовища калійної солі). *Геоінформатика*. 2009. № 2. С. 64—70.
26. Лаверов Н.П., Гожик П.Ф., Хрущев Д.П. и др. Цифровое структурно-литологическое моделирование месторождений тяжелых минералов. Киев; Москва: Интерсервис, 2014. 242 с.
27. Методичні рекомендації з проведення моніторингу та наукового супроводу надкористування. Київ: Держкомнадра, 2012. 12 с.
28. Рудько Г.І., Назаренко В.М., Назаренко М.В., Хоменко С.А. Автоматизовані системи експертної оцінки та техніко-економічного обґрунтування кондицій запасів корисних копалин. *Геоінформатика*. 2006. № 2. С. 86—89.
29. Рудько Г.І., Нецький О.В., Назаренко М.В. Геоінформаційні технології при геолого-економічному оцінюванні родовищ корисних копалин (на прикладі ГІС K-Mine). *Геоінформатика*. 2018. № 3(67). С. 14—24.
30. Сергєєв Е.М. Инженерная геология — наука об окружающей среде. *Инженерная геология*. 1970. № 1. С. 1—9.
31. Стегенко Д.М., Чмир О.С. Методологія наукового дослідження: підручник. 2-ге вид., перероблене і доповнене. Київ: Знання, 2007. 317 с.

32. Строительные нормы и правила. СНиП П-94-80. Подземные горные выработки. Москва: Госстрой СССР, 1980. 35 с.
33. Хахимов Е.М., Карогдин Ю.М., Мухаметшин Р.З. Проблеми класифікації об'єктів стратиграфії осадових басейнів. Системно-ієрархічний підхід. *Геоінформатика*. 2015. № 2 (54). С. 27–32.
34. Хрущов Д.П., Ковальчук М.С., Ремезова Е.А. и др. Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Интерсервис, 2017. 352 с.
35. Хрущев Д.П., Лялько В.И., Харитонов О.М. и др. Изоляция радиоактивных отходов в геологических формациях. Киев, 1993. 60 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т геол. наук; 93-3).
36. Черевко И.А., Хрущов Д.П., Лысенко А.Н. Принципы геологического обоснования выбора участков для строительства приповерхностных хранилищ токсичных отходов. *Геологический журнал*. 1997. № 3–4. С. 48–56.
37. Шестопалов В.М., Лукин А.Е., Згонник В.А. и др. Очерки дегазации Земли. Киев: Научно-инженерный центр радиогидрогеол. полигонных исследований НАН Украины; Ин-т геол. наук НАН Украины, 2018. 632 с.
38. Яковлев Є.О. Критичні зміни екологічного стану надр Донбасу. *Мінеральні ресурси України*. 2017. № 3. С. 34–40.
39. Bledinger W., Brack P., Norborg A.K., Pedersen E.W. Three-dimensional modelling of an isolated carbonate buildup (Triassic, Dolomites, Italy). *Sedimentology*. 2004. Vol. 51. P. 297–314.
40. Mc-Cammon R.B. The Mu PROSPECTOR mineral consultant system. *U.S. geological Survey Bulletin*, 1697. 1986. 35 p.
41. Candill M. Using neural nets — fuzzy decisions. Part. 2. *A.I. Expert*. 1990. Vol. 5, N 4. P. 59–64.
42. Duda R.O. AI and decision making — the PROSPECTOR system for mineral exploration. Final report. SRI Project 8172. Menlo Park, Calif.: Artificial Intelligence Center, SPRI International, 1980. 120 p.
43. Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide Review; Ed. by P.A. Witherspoon, G.S. Bodvarsson. University of California, Berkeley Lab. Dec., 2001. 335 p.
44. Hdgguist E. The economic value and use of geological information. Doctoral thesis. Lulee University of Technology, 2017. P. 34.
45. Khruschov D.P., Tabachny L. Deep Geological Disposal of Radioactive Waste in Ukraine. Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide; eds P.A. Witherspoon, G.S. Bodvarsson. University of California, Berkeley Lab. Dec. 2001. P. 283–290.
46. Kostic B., Suss P., Aigner T. Three-dimensional sedimentary architecture of Quaternary sand and gravel resources: a case study of economic sedimentology (SW Germany). *Int. Journal Earth Sci. (Geol. Rundsch)*. 2007. Vol. 96. P. 743–767.
47. Martynenko A.I. Electronic Earth as a methodology and technology of our time. XXII FIG Intern. Congress. Washington, 2002. P. 72–73.
48. Object oriented expert systems and their applications to sedimentary basin analysis. US Geological Survey Bulletin 2048, By Betty M. Miller. Washington: US government printing office, 1993. 34 p.
49. Scott M., Jones M. Management of Public Geoscience Data. International Mining for Development Centre. Perth: The University of Western Australia, 2017. 20 p.
50. Tales Set in Stone — 40 Years of the International GEO-SCIENCE Programme (IGCP); ed. Edward Derbyshire. Published in 2012 by the Global Earth Observation Section of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7. P=aris, France, 2012. 140 p.

Поступила в редакцію 29.01.2019 г.

ФОРМАЦІЙНІ АЛГОРИТМИ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ І РОБІТ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З ГЕОЛОГІЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Д.П. Хрущов¹, О.О. Ремезова¹, Р.Я. Белевцев², Є.О. Яковлев³, О.Т. Азімов⁴, А.В. Іванова¹, О.П. Лобасов⁵, Л.П. Босевська⁶, Р.Х. Греку¹, Т.В. Охоліна¹

¹Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара, 55 б, Київ, Україна, 01054, e-mail: khrushchov@hotmail.com

²Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», просп. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, Україна, 03142.

³Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Чоколівський бульвар, 13, м. Київ, Україна, 03186.

⁴Державна установа «Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» вул. О. Гончара, 55 б, м. Київ, Україна, 01054.

⁵Вільний геолог.

⁶Український науково-дослідний інститут соляної промисловості «УкрНІСоль» вул. Чкалова 1а, м. Соледар, Бахмутський р-н, Донецька область, Україна, 84545.

Наведено теоретичну схему інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем (ІЗДРПГС), що базується на формаційному підході. Теоретичний зміст концепції полягає у формулюванні принципової схеми формаційних алгоритмів усього циклу дій ІЗДРПГС, побудованого на трьох пізнавально-функціональних рівнях: загальної методологічної основи, цільової методолого-методичної

розробки та методичного комплексу ІЗДРПГС. Автори вважають цю схему універсальною, яка контролює всі напрями геологічної діяльності. Практична значущість її вже проглядається в змісті останнього рівня, який охоплює два методичні апарати: прогнозно-реконструктивне ретроспективно-статичне моделювання та комплексну еколого-геологічну модель. Результативність цих апаратів підтверджується узагальненим аналізом численних сфер геологічної діяльності людини, а також прикладами авторського досвіду з багатьох напрямів поведінки з ГС.

Ключові слова: геоінформатика, геологічне середовище, використання геологічного середовища, охорона геологічного середовища, інформаційне забезпечення геологічних робіт.

FORMATION ALGORITHMS OF INFORMATION SUPPORT FOR R&D ON GEOLOGICAL MEDIUM MENAGEMENT

D.P. Khushchov¹, E.A. Remezova¹, R.Ya. Belevtsev², E.A. Yakovlev³, A.T. Azimov⁴, A.V. Ivanova¹, A.P. Lobasov⁵, L.P. Bosevska⁶, R.Kh. Greku¹, T.V. Okholina¹.

¹*Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, O. Gonchara st., 55 b, Kiev, Ukraine, 01054, e-mail: khrushchov@hotmail.com*

²*State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», Acad. Palladina av., 34, Kiev, Ukraine, 03142.*

³*Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Chokolovsky Boulevard, 13, Kiev, Ukraine, 03186.*

⁴*State Institution «Scientific Center for Aerospace Earth Research of the Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine» O. Gonchara st., 55 b, Kiev, Ukraine, 01054.*

⁵*Free geologist.*

⁶*Ukrainian Research Institute of the Salt Industry «UkrNIISol» Chkalov ul., 1a, Soledar, Bakhmut district, Donetsk region, Ukraine, 84545.*

Purpose. The theoretical scheme of information support for R&D on geological medium management (ISR DGMM) based upon formation approach is presented.

Methodology. The methodological approach of the concept formulation is based upon the analysis and generalization of theoretic schemes for a number of human geological activity areas. A basis of these schemes and R&D connected with is represented by formation analysis as so as geological formations pose a matrix of the Earth crust, possessing certain properties (structure, material composition), defining their functional properties, which in their turn control all the processes, taking place in it. Hence, the theory of ISR DGMM has to be based upon foundation of geological medium formational algorithms.

Findings. The theoretical aspect of the concept consists in revelation of formation algorithms for all the cycle of ISR DGMM actions, comprising three cognitive-functional levels: general methodological basis, target oriented methodological-methodic elaboration and methodic ISR DGMM complex. Authors consider this scheme as universal one, controlling all the areas of mankind geological activity.

Practical significance. The practical significance of this scheme is expressed by third level, comprising two methodic apparatus: prognostic reconstructive retrospective-static modeling and complex ecological-geological model. The effectiveness of these apparatus is confirmed by generalized analysis of numerous areas of the mankind geological activity, as well author's experience in many branches of geological medium management.

Keywords: geoinformatics, geological medium, geological medium use, geological environment protection, information support of geological R&D.

References

1. Azimov O. Methodology of research into the Earth's crust structure via remote sensing technologies. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*. 2014. 1 (64). P. 73–77 [in Ukrainian].
2. Azimov O.T. Modular flowchart of transformation, decoding and geological interpretation of remote aerospace survey data. *Geoinformatika*. 2014. N 2 (50). P. 43–55 [in Ukrainian].
3. Auzin A.A., Glaznev V.V. Komp'yuternoe trekhmernoe modelirovanie geologicheskikh ob'ektov i protsessov. Teoreticheski ta prykladni aspekty heoinformatyky: zb. nauk. prats. Kyiv, 2004. T. 1. S. 50–60 [in Russian].
4. Bahrii I.D. Fundamentalni rozrobky pidgruntia novykh vysokoefektyvnykh tekhnolohiy. Kyiv: Foliant, 2017. 562 s. [in Ukrainian].
5. Berlyant A.M., Koshkarev A.V., Tikunov V.S. Kartografiya, geoinformatika: itogi nauki i tekhniki. Seriya kartografiya. M., VINITI, 1991, T. 14. 179 s. 5 [in Russian].
6. Biletskyi V., Serhieiev P., Fyk M., Kozyrets S. Modeling in the oil and gas industry. *Geoinformatyka*. 2018. N 1. P. 86–98 [in Ukrainian].
7. Busygin B.S., Nikulin S.L. Specialized geoinformation rapid system: features, structure, tasks. *Geoinformatyka*. 2016. N 1(57). P. 22–34 [in Russian]. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2016_1_4.

8. Goncharov V.E. Geologicheskaya informatika. Polozhenie v sisteme nauk pro Zemlyu. *Geoinformatyka*. 2007. N 3. P. 19–24 [in Russian].
9. Goncharov V.E. Infogeologiya — ob'ekt i metody issledovaniy. *Geoinformatyka*. 2011. N 2. P. 5–12. Available at: http://www.geology.com.ua/wp-content/uploads/2014/09/01_Goncharov.pdf [in Russian].
10. Honcharov V.E., Kononenko L.P., Kalenska H.L. Rozrobka pryntsyviv zobrazhennia stratehichnoi informatsii v informatsiino-geologichnykh doslidzhenniakh. *Geoinformatyka*. 2008. N 3. P. 56–68 [in Ukrainian].
11. Honcharov V.E. Geologichniy napriam rozvytku informatsiinykh tekhnolohiy. *Geoinformatyka*, 2006. N 2. P. 21–27 [in Ukrainian].
12. Hrebennikov S.Ye., Lobasov O.P. Modeliuvannya budovy osadovykh baseiniv u seredovyschi ArcView. *Mineralni resursy Ukrainy*. 2003. N 4. P. 25–31.
13. Dem'yanov V.V., Savel'eva E.A. Geostatistika: teoriya i praktika. Moscow: Nauka, 2010. 327 s. [in Russian].
14. Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Sklad i zmist materialiv otsinky vplyvu na navkolyshnie seredovyshe (OVNS) pry proektuvanni i budivnytstvi pidprijemstv, budynkiv, sporud. DBN. A.2.12-1-2003. Derzhavnyi komitet Ukrainy z budivnytstva ta arkhitektury. Kyiv, 2004. 22 s. [in Ukrainian].
15. Diialnist' Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy u 2009–2015 rokakh. Osnovni rezultaty ta pokaznyky. Kyiv: NAN Ukrainy, 2015. 178 s. [in Ukrainian].
16. Dolynskiy I.P. Aprobatsiia prohram 3D rehionalnoho modeliuvannya na prykladi ob'ektiv DDZ. *Geoinformatyka*. 2014. N 4 (52). P. 37–46. Available at: http://www.geology.com.ua/wp-content/uploads/2016/07/3_4_2014.pdf
17. Edinaya raspredelennaya komp'yuternaya model' geologicheskogo stroeniya territorii Rossii. Moscow: Geos, 2001. 192 s. [in Russian].
18. Zgurovskiy M.Z., Pankrat'ev N.D. Sistemnyy analiz. Problemy metodologiya, prilozheniya. Kiev: Naukova dumka, 2005. 743 s. [in Russian].
19. Izosov L.A. Formatsionnyy analiz i ego mesto v geologicheskoy nauke. *Regional'nye problemy*. 2011. T. 14, N 2. P. 21–27.
20. Instruksiya o provedenii geologorazvedochnykh rabot po stadiyam (tverdye poleznye iskopaemye). Utv. prikazom Ministerstva energetiki i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan 27.02.2006 goda, N 72. 12 p. [in Russian].
21. Ispol'zovanie geoinformatsionnoy sistemy K-MINE v razlichnykh sferakh deyatelnosti. II Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminaru «SVIT GIS-2012»: sbornik dokladov. Krivoy Rog: Dionis, 2012. 298 s. [in Russian].
22. Istratov I.V. Geometrizatsiya geologicheskikh tel. Moscow: Nedra, 1996. 112 p. [in Russian].
23. Karagodin Yu.N. Regional'naya stratigrafiya. Moscow: Nedra, 1985. 180 s. [in Russian].
24. Kulinkovych A.Ye., Yakymchuk M.A. Geoinformatyka: istoriia stanovlennia, predmet, metod, zadachi (suchasna tochka zoru). *Geoinformatyka*. 2007. N 3. P. 5–25 [in Russian].
25. Kostykov S.V. Dosvid HIS — modeliuvannya i vizualizatsii system sverdlovin ta geologichnoho seredovyscha (na prykladi Hremiachynskoho rodovyscha kaliinoi soli). *Geoinformatyka*. 2009. N 2. P. 64–70 [in Ukrainian].
26. Laverov N.P., Gozhik P.F., Khrushchev D.P. i dr. Tsifrovoe strukturno-litologicheskoe modelirovanie mestorozhdeniy tyazhelykh mineralov. Kiev; Moskva: Interservis, 2014. 242 p. [in Russian].
27. Metodychni rekomendatsii z provedennia monitorynhu ta naukovooho suprovodu nadrokorystuvannya. Kyiv: Derzhkomnadra, 2012. 12 p. [in Ukrainian].
28. Rudko H.I., Nazarenko V.M., Nazarenko M.V., Khomenko S.A. Avtomatyzovani systemy ekspertnoi otsinky ta tekhniko-ekonomichnoho obgruntuvannya kondytsii zapasiv korysnykh kopalyn. *Geoinformatyka*. 2006. N 2. P. 86–89 [in Ukrainian].
29. Rudko H.I., Netskiy O.V., Nazarenko M.V., Geoinformatsiini tekhnologii pry geologo-ekonomichnomu otsiniuvanni rodovysch korysnykh kopalyn (na prykladi HIS K-Mine). *Geoinformatyka*. 2018. N 3 (67). P. 14–24 [in Ukrainian].
30. Sergeev E.M. Inzhenernaya geologiya — nauka ob okruzhayushchey brede. *Inzhenernaya geologiya*. 1970. N 1. P. 1–9 [in Russian].
31. Stehenko D.M., Chmyr O.S. Metodolohiia naukovooho doslidzhennia. Pidruchnyk, 2e vydannia pereroblene i dopovnene. Kyiv: Znannia, 2007. 317 s. [in Ukrainian].
32. Stroitel'nye normy i pravila. SNiP P. 94–80. Podzemnye gornye vyrabotki. Moscow: Gosstroy SSSR, 1980. 35 p. [in Russian].
33. Khakymov E.M., Karohodin Yu.M., Mukhametshyn R.Z. Problems of classification of stratigraphy objects of stand-by tanks. systematic hierarchical approach *Geoinformatyka*. 2015. N 2 (54). P. 27–32 [in Ukrainian] Rezhim dostupa: http://www.geology.com.ua/wp-content/uploads/2015/07/5_Hakimov_2_2015.pdf
34. Khrushchov D.P., Koval'chuk M.S., Remezova E.A. i dr. Strukturno-litologicheskoe modelirovanie osadochnykh formatsiy. Kiev: Interservis, 2017. 352 p. [in Russian].
35. Khrushchev D.P., Lyal'ko V.I., Kharitonov O.M. i dr. Izolyatsiya radioaktivnykh otkhodov v geologicheskikh formatsiyakh. Kiev, 1993. 60 p. (Prepr. NAN Ukrainy. In-t geol. nauk; 93-3). [in Russian].

36. Cherevko I.A. Khrushchov D.P. Lysenko A.N. Printsipy geologicheskogo obosnovaniya vybora uchastkov dlya stroitel'stva pripoverkhnostnykh khranilishch toksichnykh otkhodov. *Geologicheskij zhurnal*. 1997. N 3—4. P. 48—56 [in Russian].
37. Shestopalov V.M., Lukin A.E., Zgonnik V.A. Ocherki degazatsii Zemli. Kiev: Nauchno-inzhenernyy tsentr radiogidrogeologicheskikh poligonnykh issledovaniy NAN Ukrainy. Institut geologicheskikh nauk NAN Ukrainy, 2018. 632 p. [in Russian].
38. Jakovljev Je.O. Krytychni zminy ekologichnogo stanu nadr Donbasu. *Mineraljni resursy Ukrainy*. 2017, N 3.P. 34—40 [in Ukrainian].
39. Bledinger W., Brack P., Norborg A.K., Pedersen E.W. Three-dimensional modelling of an isolated carbonate buildup (Triassic, Dolomites, Italy). *Sedimentology*. 2004. Vol. 51. P. 297—314.
40. Mc-Cammon R.B. The Mu PROSPECTOR mineral consultant system; U.S. geological Survey Bulletin, 1697. 1986. 35 p.
41. Candill M. Using neural nets — fuzzy decisions. Part. 2. *A.I. Expert*. 1990. Vol. 5, N 4. P. 59—64.
42. Duda R.O. AI and decision making — the PROSPECTOR system for mineral exploration. Final report. SRI Project 8172. Menlo Park, Calif.: Artificial Intelligence Center, SPRI International, 1980. 120 p.
43. Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide Review ed.; eds P.A. Witherspoon, G.S. Bodvarsson. University of California, Berkeley Lab. Dec., 2001. 335 p.
44. Haggquist E. The economic value and use of geological information. Doctoral thesis. Lulee University of Technology, 2017. P. 34.
45. Khruschov D.P., Tabachny L. Deep Geological Disposal of Radioactive Waste in Ukraine. In: Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide ed.; P.A. Witherspoon, G.S. Bodvarsson. University of California, Berkeley Lab. Dec., 2001. P. 283—290.
46. Kostic B., Suss P., Aigner T. Three-dimentional sedimentary architecture of Quaternary sand and gravel resources: a case study of economic sedimentology (SW Germany). *Int. Journal Earth Sci.(Geol. Rundsch)*. 2007. Vol. 96. P. 743—767.
47. Martynenko A.I. Electronic Earth as a methodology and technology of our time. XXII FIG Intern. Congress. Washington, 2002. P. 72—73.
48. Object oriented expert systems and their applications to sedimentary basin analysis. US Geological Survey Bulletin 2048, By Betty M. Miller. Washington: US government printing office, 1993, 34 p.
49. Scott M., Jones M. Management of Public Geoscience Data-International Mining for Development Centre. Perth: The University of Western Australia, 2017. 20 p.
50. 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.

Received 29/01/2019