

УДК 504+550+551+552+624

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних та геоінформаційних досліджень викладачів та наукових співробітників геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Приведены результаты геологических, стратиграфических, палеонтологических, гидрогеологических, геофизических и геоинформационных исследований преподавателей и научных сотрудников геологического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Visnyk deals with results of geological, stratigraphic, paleontological, hydrogeological, geophysical and geoinformational investigations carried out by lectures and scientific researches of geological faculty, Kyiv Taras Shevchenko University.

For scientists, professors, aspirants and students.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф. І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. відп. ред.); О.І. Меньшов, канд. геол. наук (відп. секр.); С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; В.Ф. Грінченко, д-р геол. наук, проф.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.; В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, доц.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, доц.; В.М. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.І. Лукієнко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.Ю. Митропольський, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, доц.; В.А. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.; В.В. Огар, д-р геол. наук, доц.; М.І. Орлюк, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; В.І. Павлишин, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Г.Т. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.І. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; Ю.К. Тяпкін, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; С.Є. Шнюков, д-р геол. наук, доц.; В.М. Шуман, д-р фіз.-мат. наук, проф.; М.А. Якимчук, чл.-кор. НАН України, д-р фіз.-мат. наук, проф.
Адреса редколегії	03022, Київ-22, ГСП-1, вул. Васильківська, 90; ☎ (38044) 259 70 30
Затверджено	Вченою радою геологічного факультету 10 квітня 2013 року (протокол № 12)
Атестовано	Вищою атестаційною комісією України. Постанова Президії ВАК України № 1-05/6 від 12.06.02
Зареєстровано	Міністерством юстиції України. Свідоцтво про Державну реєстрацію КВ № 16181-4653Р від 25.12.09
Засновник та видавець	Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет" Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02
Адреса видавця	01601, Київ-601, 6-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43 ☎ (38044) 239 3172, 239 3222; факс 239 3128

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Шевчук В., Іванік О., Цибульська О.	
Негативний вплив селів на функціонування природно-техногенних систем та оцінка селенебезпеки притоків різних порядків басейнів річок Мокрянка та Брустурянка.....	5
Жабіна Н., Анікєєва О.	
Унікальні відслонення відкладів верхньої юри на території Українського Передкарпаття	9
Попова Л.	
Палеоекологічні умови існування ранньоготеривської Первомайської рифової споруди (правобережжя р. Бодрак, Гірський Крим)	14
Тустановська Л.	
Неотектогенез Канівського Придніпров'я на основі структурної морфометрії.....	19
Андрієць Т.	
Методичні засади структурно-морфометричних досліджень гірського рельєфу (на прикладі Карпатського модельного полігону)	23

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Онищук Д., Онищук В.	
Петроелектрична модель основних типів порід кембрію Володимирської площі Волино-Поділля	26
Малицький Д., Павлова А.	
Порівняльний аналіз методів в задачах поширення сейсмічних хвиль в шаруватих анізотропних середовищах.....	31
Хоменко Р., Бондар К., Попов С.	
Нова малоглибинна багатоелектродна установка вимірювання електричного опору	36

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Лижаченко Н., Ніколаєвський В.	
Перспективи використання ресурсної бази Завалівського родовища графіту	41
Антаков Є.	
Сучасний стан світового та українського ринку марганцю: основні проблеми та тенденції	44

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Шевченко О., Корнєєнко С., Діхтярук О.	
Аналіз причин збільшення концентрації заліза у підземних водах водозаборів міста Шепетівка	48
Диняк О.	
Інженерно-геологічне районування з метою виявлення ділянок можливого розвитку небезпечних геологічних процесів на базі ГІС та картографічного моделювання	53

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Вижва С., Продайвода Г., Віршило І., Козіонова О.	
Проблеми інформаційного забезпечення інтерпретаційних технологій геофізичної томографії	57
Захарій Н., Поліновський В.	
Аналіз та синтез різнорідних геопросторових даних (побудова метамоделі для геологічної інформації)	62
Лавренюк М.	
Напружено-деформований стан вологонасиченого масиву під дією гравітації.....	66
Вижва З.	
Статистичне моделювання сейсмічного шуму у чотиривимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища	69

ЕКОНОМІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Курило М., Бондар Ю.	
Перспективи освоєння геологічних пам'яток Криворіжжя з метою науково-пізнавальної та туристичної діяльності	71

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Шевчук В., Иваник Е. Цибульская О.	
Негативное влияние селей на функционирование природно-техногенных систем и оценка селеопасности притоков различных порядков бассейнов рек Мокрянка и Брустурянка	5
Жабина Н., Аникеева Е.	
Уникальные обнажения отложений верхней юры на территории украинского Предкарпатья	9
Попова Л.	
Палеоэкологические условия существования раннеготеривской Первомайской рифовой постройки (правобережье р. Бодрак, Горный Крым)	14
Тустановская Л.	
Неотектогенез Каневского Приднепровья на основе структурной морфометрии	19
Андриец Т.	
Методические основы структурно-морфометрических исследований горного рельефа (на примере Карпатского модельного полигона)	23

ГЕОФИЗИКА

Выжва С., Онищук Д., Онищук В.	
Петроэлектрична модель основных типов пород кембрия Владимирской площади Волыно-Подолья	26
Малицкий Д., Павлова А.	
Сравнительный анализ методов в задачах распространения сейсмических волн в слоистых анизотропных средах	31
Хоменко Р., Бондарь К., Попов С.	
Новая малоуглубинная многоэлектродная установка измерения электрического сопротивления	36

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лыжаченко Н., Николаевский В.	
Перспективы использования ресурсной базы Завальевского месторождения графита	41
Антаков Е.	
Современное состояние мирового и украинского рынка марганца: основные проблемы и тенденции	44

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Шевченко А., Корнеев С., Дихтярук А.	
Анализ причин увеличения концентрации железа в подземных водах водозаборов города Шепетовка	48
Дыняк А.	
Инженерно-геологическое районирование с целью выявления участков возможного развития опасных геологических процессов на базе ГИС и картографического моделирования	53

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Выжва С., Продайвода Г., Виршило И., Козионова О.	
Проблемы информационного обеспечения интерпретационных технологий геофизической томографии	57
Захарий Н., Полиновский В.	
Анализ и синтез разнородных геопространственных данных (построение метамодели для геологической информации)	62
Лавренюк Н.	
Напряженно-деформованное состояние влагонасыщенного массива под воздействием гравитации	66
Выжва З.	
Статистическое моделирование сейсмического шума в четырехмерной области переменных для определения частотных характеристик геологической среды	69

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Курило М., Бондарь Ю.	
Перспективы освоения геологических памятников Криворожья с целью научно-познавательной и туристической деятельности	71

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Shevchuk V., Ivanik O., Tsybulska O. Negative influence of debris flows on the functioning of natural and industrial systems and evaluation of debris flow hazard of tributary streams of different order within Mokryanka and Brusturianska river basin	5
Zhabina N., Anikeyeva O. The unique outcrops of Upper Jurassic deposits in Ukrainian Precarpathian	9
Popova L. The paleoenvironmental conditions of the Pervomaisky biogenic buildup community (Hauterivian of the river Bodrak area, Crimea mountains)	14
Tustanovska L. Neotectonics of Kanevsky Pridniprovia based on structural morphometry	19
Andriets T. Methodological principles of structural and morphometric analyzes of mountain relieve (case study from Carpathian modeling polygon)	23

GEOPHYSICS

Vyzhva S., Onyshchuk D., Onyshchuk V. Petroelectrical model of main types of Cambrian rocks from Volodymyrska area of Volyno-Podolia	26
Malytsky D., Pavlova A. Comparative analysis of methods in problems of seismic waves propagation in layered anisotropic media	31
Khomenko R., Bondar K., Popov S. New high-resolution shallow-depth multi-electrode device for electrical resistivity tomography	36

MINERAL RESOURCES

Lyzhachenko N., Nikolaevskyj V. Prospects for the use of the resource base Zavallya graphite deposits	41
Antakov I. The current state of world and Ukrainian market of manganese: major problems and trends	44

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ECOLOGICAL GEOLOGY

Shevchenko O., Korneienko S., Dihtiaruk O. Analysis of reasons increase concentration of iron in groundwater intake in Shepetivka town	48
Dyniak O. Engineering-geological zoning for detection of possible areas of hazardous processes based geological GIS and cartographic modeling	53

GEOLOGICAL INFORMATICS

Vyzhva S., Prodaivoda G., Virshilo I., Kozionova O. The problems of information support of geophysical tomography interpretive technologies	57
Zakchary N., Polinovskyi V. Analysis and synthesis of dissimilar geospatial data (construction of metamodells for geological information)	62
Lavrenyuk M. Stress-strain state of saturated landslide subjected to gravitation forces	66
Vyzhva Z. The statistical simulation of 4-D seismic noise for frequency characteristics of geology environment determination	69

ECONOMICAL GEOLOGY

Kurylo M., Bondar Y. Prospects for development of geological monuments of Kryvyi Rih for scientific, educational and tourism activities	71
---	----

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 551(477)

В. Шевчук, д-р геол.-мін. наук,
О. Іванік, д-р геол. наук, О. Цибульська, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ СЕЛІВ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ ТА ОЦІНКА СЕЛЕНЕБЕЗПЕКИ ПРИТОКІВ РІЗНИХ ПОРЯДКІВ БАСЕЙНІВ РІЧОК МОКРЯНКА ТА БРУСТУРЯНКА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. О.І. Лукіємком)

Визначено та проаналізовано основні види негативного впливу селевих потоків на функціонування природно-техногенних систем. Схарактеризовано геолого-геоморфологічну будову басейнів річок Мокрянка та Брустуриянка з точки зору селенебезпеки. Наведено результати моделювання динамічного впливу селів, що виникають по притоках різних порядків на інженерні споруди. Описано алгоритм та створений на його основі програмний модуль "Mudflows", який було використано для розрахунків. Проаналізовано вплив зволоженості ґрунтів та густини потоку на гідродинамічну силу та повний тиск.

Вступ. Карпатський регіон характеризується гетерогенною геологічною будовою, що обумовлює виникнення відмінностей в особливостях протікання, інтенсивності та екстенсивності прояву селевих процесів. Аналіз останніх досліджень та публікацій, а також проведення польових досліджень у межах Закарпатської області підтверджує істотний вплив селевих потоків на руйнування населених пунктів, сільськогосподарських об'єктів, залізниць, автошляхів тощо. Занесення долин річок селевим матеріалом робить їх непридатними для подальшого освоєння. Досліджуваний регіон характеризується значною привабливаністю з рекреаційної точки зору. У його межах знаходиться велика кількість джерел мінеральних вод, наявність яких послугувала базою для побудови багатьох оздоровчих закладів, мережа яких з кожним роком розширюється. У зв'язку з цим виникнення будь-яких катастрофічних ситуацій із негативними наслідками погіршує рекреаційний потенціал цієї території і потребує обов'язкової розробки превентивних заходів щодо унеможливлення катастрофічного прояву небезпечних геологічних процесів. За даними Державної служби геології та надр України селеві потоки в Карпатах розвиваються на 70% гірських водозборів. Міністерство з питань надзвичайних ситуацій зазначає, що тільки впродовж останніх років в Україні виникла значна кількість надзвичайних ситуацій природного характеру, де геологічні чинники були визначальними. Для мінімізації економічних збитків, пов'язаних із небезпечними селевими процесами нагальною є необхідність розробки заходів протидії селям для басейнів з різною геолого-геоморфологічною будовою.

Постановка завдання. Важливими завданнями є: визначення критичних параметрів селевих потоків, що впливають на їх силові ефекти в басейнах річок Мокрянка та Брустуриянка (басейн р. Тиса); аналіз селенебезпеки притоків різних порядків; оцінка негативного впливу селів на функціонування природно-техногенних систем для складчастих Карпат вцілому. Вибір модельного полігону обґрунтований активним селевим режимом, що притаманний притокам різних порядків річок Мокрянка та Брустуриянка. У всіх цих ділянках у різні періоди відбулося катастрофічне сходження селевих потоків. Ця територія є досить густо заселеною. На сільську забудову мають вихід гирла струмків, що впадають у р. Брустуриянку (с. Лопухів), лівобережні притоки р. Мокрянка в межах селищ Руська та Німецька Мокра. По долині р. Мокрянка до гирла струмка Прислоп і далі за західну межу вивченої території прокладено газопровід "Союз".

Характеристика об'єкта досліджень. Басейни річок Мокрянка та Брустуриянка, в межах яких проводи-

лись польові дослідження, мають досить складну геологічну будову та сприятливі умови для формування селевих потоків. Довжина струмків на ділянках детальних досліджень коливається від 800 м до 6000 м і більше. Чим менша довжина струмків, тим простіша його будова. Більш протяжні струмки мають деревовидний рисунок в плані, з багатьма бічними притоками, а більш короткі мають прямолінійний характер у вигляді ущелини на схилі, причому в меженний період вони, як правило, безводні, тобто поверхневий, русловий стік по них припиняється. Всі струмки мають значний нахил русла від витoku до гирла. Так, наприклад, струмок Нижній Плаїк при довжині 1300 м має перевищення 500 м, що складає 10 м на 100 м або 21°. У більш протяжних струмках з розробленою долиною нахил русла в нижній течії значно менший, але в верхів'ях приблизно такий же самий. Профіль долин струмків V-подібний, рідше коритоподібний. Ширина днища у струмків з коритоподібним профілем долини коливається від 3–5 м до 10–20 м. Потужність алювіальних відкладів сягає від 0,2–0,3 м до 1–4 м. Тераси, як правило, відсутні. Ширина днища русла або долини струмка безпосередньо пов'язана з літологією порід по яких протікає струмок. Якщо потік перетинає пласти пісковиків – долина приймає прямокутну форму з практично вертикальними обривистими бортами. Якщо струмок протікає в аргілітах, алевролітах – долина розширюється, кількість уламкового матеріалу у долині зростає [2].

Прояв та постійне оновлення селевих потоків в межах описаних територій дозволяє використовувати їх як ілюстративні об'єкти для детальних досліджень та збору інформації, визначення емпіричних залежностей та при дії селевих потоків та їх наступного використання у режимі ситуативного та прогнозного моделювання [1].

Викладення основного матеріалу. Виникаючи у басейнах гірських річок селеві потоки завдають значної шкоди. Виділено два принципово різні **види негативного впливу селів [4]:**

1) *Динамічний вплив*, що полягає у руйнуванні чи пошкодженні інженерних споруд, що розташовані у зоні транзиту чи акумуляції селевого потоку. Селі, що несуть загрозу руйнування різноманітних об'єктів виникають переважно по притоках, що характеризуються незначною довжиною, прямим руслом та значним ухилом русла. У басейні р. Тиса це притоки 4-го і вище порядків, що характеризуються відповідними параметрами (результати оцінки динамічного впливу селів наводяться нижче) (рис. 1, а).

2) *Занесення територій селевими тілами* – відбувається у басейнах річок, притоки яких характеризу-

ються активним селевим режимом. Так, наприклад, р. Тересва не є селенебезпечною. Проте її притоки 2-го і вище порядків є селеактивними та постачають матеріал селевого походження (селеві тіла) у русло основної водотоки. Відбувається транспортування алювію селевого походження (селевих тіл) вниз за течією. У місцях де долина річки виположується і подальше перенесення твердого матеріалу стає неможливим відбувається накопичення селевих відкладів. Долина річки поступово заноситься уламковим матеріалом, що робить її непридатною для народногосподарського використання. Необхідно зауважити наступне: старі поліфазні селеві ті-

ла, що вистеляють гирла струмків і долини річок Мокрянка та Брустуранка, по площі і потужності значно перевищують сучасні (свіжі). Потужність пролювіальних та селевих відкладів в гирлах деяких струмків сягає 10–15 м, площа, яку займають селеві тіла сягає кількох гектарів [2]. Процес занесення територій селевим матеріалом є досить тривалим, проте, враховуючи природно-рекреаційні ресурси Карпат, сумарно наносить більше збитків, ніж перший. Таким чином, селеві потоки, розвантаження яких не несе загрози динамічного характеру, сумарно приносять не менше шкоди ніж ті, що можуть мати значний силовий вплив (рис. 1, б).



Рис. 1. Наслідки негативного впливу селевих потоків: а) динамічний вплив (пошкодження житлових споруд у долині р. Яблуниця) [2]; б) занесення долини р. Тересва селевими тілами

Аналіз селенебезпеки притоків різних порядків за результатами моделювання. Для визначення динамічного впливу селевих потоків на інженерні споруди необхідним є моделювання та використання програмних модулів. Вчені різних країн світу використовують різні підходи у моделюванні та прогнозі впливу селів. Малет та ін для моделювання використовували програмні продукти Cemagref 1-D, BING (для досліджень однофазного селевого потоку), Віцент Медіна та ін. використали двовимірний програмний продукт FLATModel для моделювання грязь-камяного потоку на Іберійському півострові. У США досить відомою є модель О'Браяна, який на основі квадратного рівняння реологічної моделі створив двовимірну модель руху потоку FLO-2D для моделювання різних типів селів (від "floods" до "debris flows"). Більше тридцяти селевих процесів було виявлено завдяки використанню цієї моделі. Цей же програмний продукт був використаний у роботах деяких італійських вчених.

Авторами статті, а також М.В. Лавренюком, В.І. Лавренюком, проводилась розробка методології та системи заходів спрямованих на прогнозування селевих явищ на прикладі басейну р. Абранка Карпатського регіону України. Результатом досліджень стала розробка геологічної моделі селевого процесу та алгоритму оцінки селенебезпеки, що базується на емпіричних даних по Карпатському регіону та фундаментальних законах гідродинаміки. Він демонструє необхідність вибору розрахункових формул та величин, визначення яких є можливим у конкретних ситуаціях та відповідних геолого-геоморфологічних умовах [6].

Нижче наведемо основні формули, що були покладені в основу алгоритму для визначення необхідних параметрів селевих потоків [6]. Для визначення повного тиску, що діє на споруду використано формулу І.І. Херхеулідзе:

$$P_{\text{повний}} = 0,1 \gamma_c (5H_0 + v_c^2), \quad (1)$$

де $P_{\text{повний}} \left[\frac{\text{т}}{\text{м}^2} \right]$ – повний тиск; $\gamma_c \left[\frac{\text{т}}{\text{м}^3} \right]$ – середня густина (питома вага) селевого потоку; $H_0 \left[\text{м} \right]$ – глибина селевого потоку; $v_c \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$ – швидкість селевого потоку.

Для прогнозних розрахунків повного стоку використана формула Н.Є. Долгова:

$$Q_{\text{max}} = k_p a \alpha F, \quad (2)$$

де k_p – коефіцієнт розмірності; a – середня інтенсивність зливи; α – коефіцієнт стоку; F – площа басейну.

Інтенсивність зливи розраховується за формулою:

$$a = \frac{c}{1 + bt}, \quad (3)$$

де b та c – параметри, що визначаються за метеорологічними даними для певного кліматичного району. Шляхом відповідної зміни параметра b можна варіювати співвідношенням розрахункової інтенсивності коротких тривалих дощів. Параметр c дозволяє враховувати більшу чи меншу інтенсивність дощів рівної тривалості. Для східноєвропейської території ця формула набуває вигляду (розрахована на основі даних багаторічних метеорологічних спостережень за 28 метеостанціями у цьому регіоні):

$$a = \frac{5}{1 + 0,06t} \quad (4)$$

Задаючи інтенсивність зливи – H_t , її тривалість у годинах – T , площу території, на яку він випав – F_v , здатність ґрунту вбирати воду – коефіцієнт α та передбачувану довжину русла для даної місцевості – L , обчислюємо швидкість та витрати селевого потоку – v_c і Q_c . З іншого боку, ці величини пов'язані із площею русла селевого потоку наступним співвідношенням:

$$Q_c = v_c \cdot S, \quad (5)$$

де S – площа поперечного перерізу русла селевого потоку.

Гідродинамічна сила, що діє на споруду, обчислюється за формулою:

$$F = P_{\text{повний}} \cdot S. \quad (6)$$

Представлений алгоритм, що базується на емпіричних даних по Карпатському регіону та фундаментальних законах гідродинаміки, демонструє необхідність вибору розрахункових формул та величин, визначення яких є можливим у конкретних ситуаціях та відповідних геолого-геоморфологічних умовах. На основі викладеного в роботі [6] алгоритму створено програмний модуль для розрахунку навантажень, що передаються на інженерну споруду під впливом зовнішнього середовища. Даний модуль дозволяє проводити моделювання впливу селевих потоків, сформованих у межах Карпатського регіону, на техногенні об'єкти різного призначення із урахуванням параметрів як самих потоків, так і геолого-геоморфологічних і гідрометеорологічних даних [6].

Викладення результатів розрахунків. Використовуючи розрахунковий модуль проведено розрахунки селевої небезпеки у басейнах річок Брустурянка та Мокрянка, які дозволили визначити головні параметри, що впливають на гідродинамічну силу потоку та відповідно його силовий вплив на різноманітні інженерні споруди у населених пунктах Руська Мокра, Німецька Мокра, Лопухів та Яблунця. Оскільки емпірично визначене критичне значення цього параметру складає 1,9 Т, то наступні розрахунки проводились із врахуванням цього значення. На основі архівних матеріалів, польових досліджень та комп'ютерного моделювання встановлено необхідні для підрахунків параметри. Слід зазначити, що русла річок Мокрянка та Брустурянка можуть бути селенебезпечними лише на певних відрізках, а основний негативний вплив, що вони спричиняють полягає у транспортуванні селевого матеріалу та його акумуляції у нижніх ділянках долини. Основну селенебезпеку несуть їх притоки. Тому підрахунки силового впливу проводились для притоків річок 1-го та 2-го порядків. Слід зазначити, що довжина притоків р. Мокрянка коливалась в межах 1 500–14 000 м (ліві притоки), 850–5 000 м (праві притоки), площі водозбору змінювались від 0,55 до 55,25 км² (ліві притоки) 0,4–10,61 км² (праві притоки), досить різними були і профілі русла, що безсумнівно вплинуло на показники селенебезпеки. Для притоків 1-го порядку р. Брустурянка довжина змінювалась в межах 300–6 000 м, а площа водозбору – 0,1–61,3 км². Притоки 2-го порядку характеризуються меншими значеннями: довжина – 347–3900 м, площа водозбору – 0,05–2,2 км², переважають потоки з V-подібним поперечним профілем русла. У результаті використання розрахунково-аналітичного модуля "Mudflows" визначено диференційованість показників селенебезпеки річок Мокрянка та Брустурянка та їх приток у залежності від морфометричних параметрів русел селевих потоків, літологічних та фізико-механічних характеристик потенційних селевих мас, площі водозбірного басейну та гідрометеорологічних чинників формування селю (табл. 1, 2).

Так, було проаналізовано вплив зволоженості ґрунтів на такі показники селенебезпеки, як повний тиск селевого потоку та гідродинамічну силу, що діє на споруду (табл. 1, 2). Наступні розрахунки проводились із використанням таких усереднених параметрів, при яких відбувався селевий потік: тривалість зливи 40 хв, густина потоку – 1,5 т/м³. Аналіз фактору зволоженості ґрунтів продемонстрував, що найбільші значення витрат селевих потоків та їх силового впливу характерні за умов повного зволоження ґрунтів (табл. 1). Ці особливості витрат у свою чергу обумовлені значеннями коефіцієнту стоку, який, як відомо, залежить не тільки від кількості опадів і характеру ґрунтів, але більшою

мірою від попереднього зволоження ґрунтів та від умов зволоженості території у цілому, а також від характеру рослинного покриву. Наприклад, для правих притоків р. Мокрянка показники гідродинамічної сили та тиску за поганого зволоження ґрунтів (сухі ґрунти) коливаються відповідно від 0,49 до 26,64 Т – гідродинамічна сила та 1,48–6,04 т/м² – повний тиск селевого потоку. Для пере-зволожених ґрунтів гідродинамічна сила змінюється в межах 5,77–310,89 Т, а повний тиск – 4,08–16,39 т/м². Для притоків р. Брустурянка 2-го порядку за надмірного зволоження ґрунтів гідродинамічна сила коливається в межах 0,51–47,00 Т, а повний тиск – 2,24–9,34 т/м².

Залучення натурних параметрів до розрахунків у режимі комп'ютерного моделювання дозволило визначити такий важливий параметр селевого процесу як коефіцієнту стоку, обрахунок якого у гірських районах Карпат є проблемним питанням у зв'язку із складністю ландшафтно-орografічної обстановки та зміни фізико-механічних параметрів відкладів. Обрахований таким чином коефіцієнт стоку, що визначається співвідношенням величини стоку до кількості опадів, складає 0,35. Однак слід зазначити, що цей параметр може змінюватись не тільки у залежності від вищезазначених факторів, але й впродовж певного, достатньо короткого терміну часу унаслідок зміни інтенсивності опадів, площинного схилового стоку із винесенням певної частини матеріалу зі схилу, зміни механічних властивостей відкладів тощо [6].

У басейнах обох річок для приток усіх порядків спостерігається закономірне зростання повного тиску та гідродинамічної сили зі збільшенням густини потоку. Значення густини потоку, що задавалися під час обрахунків змінювались в межах 1,2–2 т/м³. Наприклад, для лівих притоків р. Брустурянка за густини потоку 1,2 т/м³ гідродинамічна сила змінюється в межах 3,80–2054,67 Т, а повний тиск від 4,53 до 28,29 т/м². За густини 2 т/м³ гідродинамічна сила змінюється від 3,91 до 2209,04 Т, а повний тиск – 6,05–41,62 т/м². Зі зростанням насиченості селевого потоку твердим матеріалом підвищуються параметри його силового впливу. Густина селевого потоку (його об'ємна вага) впливає на транспортуючу здатність потоку. Крім того, якщо сіль характеризується значною в'язкістю і густиною, він здатен транспортувати великі важкі включення значно більших розмірів і ваги, ніж водний.

Розрахунки підтверджують, що найбільш критичним параметром селевого потоку є його густина, а селевого басейну – попередня зволоженість порід, що його складають, площа водозбору, характеристики русла (профіль, довжина, ухил) та басейну потоку. Не менш важливим параметром є також інтенсивність та тривалість зливи [6].

Важливим результатом досліджень є встановлення залежностей між класифікаційними типами селевих басейнів, виділених для Карпатського регіону та показниками селенебезпеки. У межах складчастих Карпат за складністю рисунка гідрографічної сітки виділено два типи селевих басейнів: простий та складний, що, в свою чергу, поділяється на підтипи – "розгалужений" та "каскадний". У селевих басейнах простого типу селеві русла прямі, незначної довжини (500–3000 м), мають прямолінійний повздовжній профіль, V-подібний поперечний профіль. Розрахунками та емпіричними даними доведено, що басейни такого типу за необхідних гідрометеорологічних умов є сприятливим середовищем для формування селів, що матимуть високі показники силового впливу на споруди. У басейнах складного типу для формування селів значної потужності необхідною є більша кількість опадів. Якщо у нижній течії спостерігається виположення русла, це призводить до зниження гідродинамічної сили потоку у зоні розвантаження.

Таблиця 1

Вплив зміни зволоженості ґрунтів на показники селенебезпеки для притоків 1-го порядку р. Мокрянка

№ пр.	Площа водозбору, км ²	Тип ґрунтів	Ширина селевої течії на дні, м	Перевищення, м	Довжина проекції потоку, м	Кут нахилу лівого схилу, °	Кут нахилу правого схилу, °	Швидкість течії, м/с	Глибина селевого потоку, м	Повний тиск селевого потоку, Т/м ²	Гідродинамічна сила, що діє на споруду, Т
1	10,9	Сухі	5	750	4400	67	35	6,04	0,77	6,04	26,64
1	10,9	Вологі	5	750	4400	67	35	8,26	1,71	11,51	129,83
1	10,9	перезволожені	5	750	4400	67	35	9,82	2,57	16,39	310,89
3	0,55	Сухі	3,2	500	1500	40	63	3,64	0,11	2,08	0,76
3	0,55	Вологі	3,2	500	1500	40	63	4,98	0,27	3,93	3,71
3	0,55	перезволожені	3,2	500	1500	40	63	5,93	0,44	5,60	8,88
4	4,35	Сухі	4	500	2700	50	64	4,95	0,50	4,04	8,68
4	4,35	Вологі	4	500	2700	50	64	6,77	1,15	7,73	42,47
4	4,35	перезволожені	4	500	2700	50	64	8,05	1,78	11,05	102,06

Таблиця 2

Вплив зміни густини селевого потоку на показники селенебезпеки для притоків 1-го та 2-го порядку р. Брустуриянка

№ пр.	Площа водозбору, км ²	Густина потоку т/м ³	Ширина селевої течії на дні, м	Перевищення, м	Довжина проекції потоку, м	Кут нахилу лівого схилу, °	Кут нахилу правого схилу, °	Швидкість течії, м/с	Глибина селевого потоку, м	Повний тиск селевого потоку, Т/м ²	Гідродинамічна сила, що діє на споруду, Т
Притоки 1-го порядку											
1	2,9	1,2	4,5	550	2800	40	70	7,43	1,22	7,36	49,07
1	2,9	1,5	4,5	550	2800	40	70	7,43	1,22	9,19	61,34
1	2,9	2	4,5	550	2800	40	70	7,43	1,22	12,26	81,79
2	61,3	1,2	8	900	6000	45	50	14,42	5,54	28,29	2054,67
2	61,3	1,5	8	900	6000	45	50	14,42	5,54	35,36	2568,34
2	61,3	2	8	900	6000	45	50	14,42	5,54	47,15	3424,46
4	0,1	1,2	0,6	100	300	10	36	3,87	0,28	1,96	0,87
4	0,1	1,5	0,6	100	300	10	36	3,87	0,28	2,46	1,08
4	0,1	2	0,6	100	300	10	36	3,87	0,28	3,27	1,45
Притоки 2-го порядку											
5	0,2	1,2	1	400	800	55	50	5,28	0,47	3,63	2,35
5	0,2	1,5	1	400	800	55	50	5,28	0,47	4,53	2,94
5	0,2	2	1	400	800	55	50	5,28	0,47	6,05	3,91
7	1,6	1,2	3	500	1800	35	25	7,26	0,84	6,82	25,70
7	1,6	1,5	3	500	1800	35	25	7,26	0,84	8,53	32,13
7	1,6	2	3	500	1800	35	25	7,26	0,84	11,37	42,84

Режими зростання швидкостей до критичних (селеутворюючих) рівнів у басейнах простого типу (високопорядкові притоки) із значними ухилами і порівняно вузькими долинами швидко досягаються при короткотривалих зливах і, навпаки, у басейнах складної будови (довгих потоках (річках)) із терасованими долинами досягнення критичних швидкостей можливе лише при тривалих зливах, котрі, формуючи однопікові повені на крупних річках, викликають багатопікові паводки на коротких [3, 6]. Разом з цим, у долинах різних типів швидкості стабілізуються, сягаючи певного рівня при будь-якій тривалості опадів. Якщо ж басейн відноситься до "каскадного" підтипу – рисунок гідрографічної сітки має пір'ясту будову – форма площі водозбору та режим добігання обумовлюють також високу ступінь селенебезпеки у притоках і головному руслі, але при суттєво більшій тривалості опадів. У потоках довжиною понад 5 км селенебезпечними можуть бути лише певні інтервали, хоча повені достатньо регулярні при відповідній тривалості злив.

Встановлено, що більшість селенебезпечних потоків у долинах рр. Мокрянка та Брустуриянка за необхідних умов можуть створювати значні силові ефекти, що впливають на споруди, розташовані на їх шляху. Підтвердженням цього є весняна та осіння повені відповідно 1998 та 1999 рр. У населених пунктах Німецька та Руська Мокра, Усть-Чорна та Лопухів в результаті сходження селів було приведено в непридатність та зруйновано житлові будівлі. Річковими наносами (гравій, брили тощо) захаращені присадибні ділянки та окремі

відрізки автодороги, яка крім того зазнала часткової руйнації. Пролувальним матеріалом селевих конусів виносу було частково засипано присадибні ділянки. У с. Руська Мокра селевий потік струмка Нижній Плаїк зруйнував житловий будинок, що призвело до трагічної загибелі чотирьох мешканців. У присілку Яблуниця (поздовж однойменного струмка) с. Лопухів паводком та селевими конусами виносу було зруйновано кілька сільських садиб [1].

Висновки. Таким чином, проаналізовано два види негативного впливу селів: динамічний вплив, що полягає у руйнуванні чи пошкодженні інженерних споруд, що розташовані у зоні транзиту чи акумуляції селевого потоку та занесення територій селевими тілами, яке відбувається у басейнах річок, притоки яких характеризуються активним селевим режимом. Розрахунки показників силового впливу селів на інженерні споруди продемонстрували наступні залежності з типами селевих басейнів: режими зростання швидкостей до критичних (селеутворюючих) рівнів у басейнах простого типу (високопорядкові притоки) із значними ухилами і порівняно вузькими долинами швидко досягаються при короткотривалих зливах і, навпаки, у басейнах складної будови (довгих потоках (річках)) із терасованими долинами досягнення критичних швидкостей можливе лише при тривалих зливах, котрі, формуючи однопікові повені на крупних річках, викликають багатопікові паводки на коротких; найбільш селенебезпечними є прості селеві басейни; у басейнах складного типу головне русло пе-

реважно буває селенебезпечним на певних відрізках. Встановлено, що зі зростанням густини селевого потоку збільшуються показники селенебезпеки (гідродинамічна сила та повний тиск). Теж саме спостерігається при зростанні зволоженості ґрунтів, що складають селевий басейн. Заходи протидії селям мають бути різними для різних притоків, оскільки основною загрозою, що несуть високопорядкові притоки є силовий вплив, а притоки нижчих порядків (річки) – занесення долин селевими тілами. Засобів боротьби з селями, що виникають у басейнах простого типу та несуть значну загрозу динамічного характеру практично не існує. Головними рекомендаціями протидії цим несприятливим процесам є зведення запрудних ухоплювачів у межах селенебезпечних русел, протидія ерозійним процесам на схилах потоків, посилення формуванням стежок та випасання худоби, розчищення русел від завалів дерев та тіл зсувів, контроль за засмічуванням шляхів транспортування деревини, що зменшить вірогідність утворення загат та запрудних озер. Для зменшення площ долин, що заносяться селевими тілами та стають непридатними для

народногосподарського освоєння головним заходом є зарегулювання русел річок, що стримуватиме їх міграцію в межах долини.

Список використаних джерел

1. Гуда О.В. Порівняння факторів формування селевих процесів в басейні річки Тиса (Закарпаття) / О.В. Гуда // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2012. – Вип. 56. – С. 8–12.
2. Звіт про геологічну зйомку масштабу 1:50 000 аркушів М-34-132-Б, М-34-132-Г (Усть-Чорна) на площі 684 кв. км. Геологічна будова та корисні копалини басейнів рік Мокрянка і Молода, площа Усть-Чорна / Гречко В.П., Приходько М.Г. та ін. – Львів, 2008. – Кн. 1. – 177 с.
3. Іванік О.М. Головні особливості взаємозалежностей факторів формування селевих потоків у межах басейну р. Абранка / О.М. Іванік // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2008. – Вип. 43. – С. 16–19.
4. Перов В.Ф. Селеведение: Учебное пособие / В.Ф. Перов. – М.: Изд-во МГУ, 2012. – 274 с.
5. Флейшман С.М. Сели / Флейшман С.М. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 312 с.
6. Шевчук В.В. Розробка засобів комп'ютерного моделювання селевої небезпеки в межах Карпатського регіону / В.В. Шевчук, О.М. Іванік, М.В. Лавренюк // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К, 2009. – С.307–318.

Надійшла до редколегії 10.01.13

В. Шевчук, д-р геол.-мін. наук, Е. Іванік, д-р геол. наук, О. Цибульская, асп.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ СЕЛЕЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ И ОЦЕНКА СЕЛЕОПАСНОСТИ ПРИТОКОВ РАЗЛИЧНЫХ ПОРЯДКОВ БАСЕЙНОВ РЕК МОКРЯНКА И БРУСТУРЯНКА

Определены и проанализированы основные виды негативного воздействия селевых потоков на функционирование природно-техногенных систем. Охарактеризовано геолого-геоморфологическое строение бассейнов рек Мокрянка и Брустурянка с точки зрения селеопасности. Приведены результаты моделирования динамического воздействия селей, возникающих по притокам различных порядков, на инженерные сооружения. Описан алгоритм и созданный на его основе программный модуль "Mudflows", который был использован для расчетов. Проанализировано влияние увлажненности почвы и плотности потока на гидродинамическую силу и полное давление.

V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), O. Tsybul'ska, PhD student
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

NEGATIVE INFLUENCE OF DEBRIS FLOWS ON THE FUNCTIONING OF NATURAL AND INDUSTRIAL SYSTEMS AND EVALUATION OF DEBRIS FLOW HAZARD OF TRIBUTARY STREAMS OF DIFFERENT ORDER WITHIN MOKRYANKA AND BRUSTURIANKA RIVER BASIN

The main types of debris flows negative influence on the functioning of natural and industrial systems were identified and analyzed. Geological and geomorphological structure of Mokryanka and Brusturianka river basins was characterized. The model results of debris flows' dynamic effects on engineering construction were reviewed. The Algorithm and created on its basis a software module "Mudflows", which was used for the calculations, were outlined. The influence of soil moisture and flux density on the hydrodynamic force and total pressure were analyzed.

УДК 551.762.3:56.074.6:551.8(477.8)

Н. Жабіна, д-р геол. наук, О. Анікєєва, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

УНІКАЛЬНІ ВІДСЛОНЕННЯ ВІДКЛАДІВ ВЕРХНЬОЇ ЮРИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ПЕРЕДКАРПАТТЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.В. Шевчуком)

Наведено результати польових досліджень відкладів верхньої юри у відслоненнях в долині р. Дністер. Описані найбільш показові відслонення. Визначені вік, фаціальний склад, стратиграфічна належність та співвідношення цих відкладів у відслоненнях і у розрізах свердловин. Це проілюстровано геологічними профілями та фотографіями.

Вступ. Відклади верхньої юри в Українському Передкарпатті простягаються субмеридіональною смугою шириною близько 60 км вздовж Карпатської гірської системи та поширені на території Передкарпатського прогину і південно-західного краю Східноєвропейської платформи. Вони залягають на значних глибинах, розкриті численними свердловинами, а відслонюються лише на обмеженій території по правому та лівому берегах р. Дністер на схід від м. Івано-Франківськ. Ці утворення в обсязі оксфорду, кімериджу і титону-беріасу належать до рифового комплексу Північно-Тетичної провінції, у їхньому складі виділяються фаціальні пояси в межах від передрифової до прибережних фацій. На денну поверхню виходять лише зарифові та мілководно-морські відклади верхнього кімериджу – нижнього беріасу.

Історія. Вперше відслонення верхньої юри на Дністрі були досліджені австрійськими та польськими геологами наприкінці XIX ст. Виявлені вони були у 1873 р. М. Ломницьким в долині р. Золота Липа (лівий приток Дністра), згідно чого докладні дослідження юри у відслоненнях здійснили у 1875 р. А. Альт і Ф. Беняш. Вони провели польові роботи по вивченню відкладів, що виходять на денну поверхню в околицях селищ Буківна, Нижнів, Кутище, Бжежина, Гарасимів. Результати цих досліджень викладені в роботах "Нижнівський вапняк та його скам'янілості" А. Альта [1] і "Атлас геології Галіції" Ф. Беняша [2].

А. Альт вперше описав, що верхньояурські вапняки, які він назвав "нижнівськими", виходять на денну поверхню по обох берегах Дністра між селищами Буківна і Незвисько, визначив, що вони залягають на девоні, а пере-

криваються верхньою крейдою. На основі аналізу стратиграфічного поширення численних органічних решток, які він ідентифікував з колекції, зібраної у цих вапняках Ф. Беняшем, А. Альт вперше датував ці відклади. Ним був досліджений і детально описаний великий комплекс фауни з відслонень правого борту долини Дністра біля с. Буківна, складений черевоногими (переважно нерінеї) та двостулковими молюсками, коралами, водоростями, нечисленними брахіоподами та форамініферами, на основі якого вік порід був датований кімеридж-портландом. Відклади з відслонень у районах Бжезини, Затурина, Нижніва та в долині р. Золота Липа були віднесені ним до більш молодих утворень (портланду-пурбеку). Робота А. Альта є першою і єдиною на сьогодні монографічною працею, в якій наведений детальний аналіз та опис макропалеонтологічних решток (179 видів) із верхньоярських вапняків Українського Передкарпаття.

Ф. Беняш в "Атласі геології Галиції" докладно охарактеризував розрізи верхньої юри, крейди, неогену і четвертинних відкладів, що виходять на поверхню по берегах Дністра та в долині р. Золота Липа. Це єдина на теперішній час робота, в якій наведена детальна характеристика відслонень верхньої юри. Ф. Беняш вперше визначив поширення юрських конгломератів та вапняків, стратиграфічні границі девону та юри, юри та крейди, охарактеризував фауну, що міститься в цих породах.

У 1937 р. відомості про верхньоярські відклади, що відслонюються в басейні р. Дністер, були доповнені польським геологом К. Глажевським. У роботі "Юра в Городенке і розміщення юри на Подолі" К. Глажевський вперше охарактеризував юрські вапняки та конгломерати у відслоненнях на Дністрі як відклади єдиного морського басейну, встановив зміни потужностей юри та поширення цих відкладів на південь від відслонень на Дністрі (це було підтверджено знахідками юрських вапняків у шурфах та при бурінні свердловин), виявив значну еродованість поверхні палеозою та залягання юрських конгломератів на антиклінальних підняттях палеозойської плити, встановив наявність тектонічних порушень, які виникли до юрської морської трансгресії, що сприяло ерозії поверхні девону. У 1949 р. була опублікована спільна робота К. Глажевського та відомого палеонтолога Дж. А. Кешмена [3], у якій автори підсумовують висновки, зроблені під час польових робіт Глажевського у 1937-39 рр. Вони наводять опис і зображення 25 видів форамініфер, відібраних з верхньоярських вапняків у районі с. Буківна, та відносять відклади до кімеридж-портланду згідно до висновків А. Альта.

У повоєнні роки з розвитком геологознімальних та геологорозвідувальних робіт із застосуванням буріння, схожі відклади верхньої юри були розкриті численними свердловинами. Згідно чинної схеми стратиграфії [6], подібні відклади належать до нижньовісської світи та датуються титон-беріасом. Товща доломітизованих вапняків і доломітів з конгломератами у підшві відноситься до нижньої підсвіти, органогенні вапняки входять до складу верхньої підсвіти.

Постановка проблеми. Докладні описи відкладів верхньої юри у відслоненнях Українського Передкарпаття не проводились, принаймні не публікувались вже майже сторіччя. За цей час ситуація з відслоненнями дещо змінилась. З'явилися нові відслонення, а кілька з описаних вже не існують – деякі в результаті природних процесів, інші завдяки техногенному фактору. Проте саме зарифові утворення кімериджу – нижнього беріасу являють собою колекторський комплекс у відомому на Передкарпатті нафтогазовому родовищі Лопушна і є одним з основних об'єктів нафтогазопошукових робіт.

На теперішній час вони недостатньо вивчені для подальшого прогнозування перспективності верхньої юри у регіоні. Дослідження таких порід у відслоненнях, проведене нами з 2001 р. протягом кількох польових сезонів, дозволило уточнити послідовність розрізів, вік та стратиграфічні співвідношення цих відкладів, визначити мікрофаціальний склад та умови седиментації. Юрські відклади, що відслонюються в басейні Дністра, поділяються на дві різновікові товщі: вапняково-доломітові породи з конгломератами в підшві (кімеридж-середній титон), і біогермні вапняки верхнього титону-нижнього беріасу. Оскільки ці товщі були утворені у різний час та в різних умовах, запропоновано виділити їх в окремі світи – нижньовісську і буківненську [4, 7].

Результати польових досліджень. Авторами були досліджені розрізи, що виходять на денну поверхню в басейні середньої течії р. Дністер – в околицях сс. Незвисько, Підвербці, Будзин, Гориґляди, Буківна, Кутище, Новосілка, Коржова, та по берегах притоків Дністра – р. Золота Липа і Тлумач.

На берегах р. Дністер від Устя Зеленого до Незвиська, а найбільш повно – в околицях селищ Будзин і Гориґляди, поширена нижньовісська світа. Розріз представлений вапняками і доломітами з горизонтом конгломератів у підшві та датується пізнім кімериджем-середнім титон-ом. Конгломерато-брекчії світло-сірі, жовтуваті, плямисті, складені з уламків палеозойських та верхньоярських порід. Вапняки і доломіти світло-сірі, кремові, жовтуваті до білих, містять малопотужні прошарки та лінії зеленкуватих мергелів та темно-сірих вапнистих аргілітів. Вапняки переважно мікритові, онколітові, біокластичні, нерівномірно глинисті, доломітизовані, перекристалізовані, часом крейдоподібні, іноді з домішкою дрібноалевритового кварцу, пористі. Породи містять рештки губок, спори водоростей, копроліти. У нижніх верствах вапняків визначені рештки макрофауни кімериджського віку. Це відклади, утворені на периферії зарифового басейну. Вони залягають на еродованій поверхні палеозою (сірих середньодевонських доломітах і пісковиках або строкатих нижньодевонських товщах "old-red"). Середньодевонські породи утворюють "кишені" глибиною до декількох метрів, а відклади "old-red" місцями вивітрілі та на них простежується "кора вивітрювання" потужністю 2–3 м (строкатозабарвлені глинисто-алевритові шари). Перекриваються вапняками верхньої крейди, місцями пісковиками альбу. Потужність розрізу нерівномірна, досягає 65 м.

У діючому кар'єрі на околиці с. Коржова в долині лівого притоку Дністра – р. Золота Липа розкриті утворення прибережної мілководної ділянки, що також належать до нижньовісської світи. Вони залягають на нерівній покрівлі середньодевонських доломітів (еродований палеорельєф пізньоярської берегової зони) і представлені мілководно-прибережними утвореннями – вапняками з прошарками аргілітів потужністю 1,5–2 м. У підшві вапняки місцями піскуваті й переходять у вапнисті пісковики з включенням гальки палеозойських порід. Вони перекриваються конгломератами сеноману, які містять гальку і валуни верхньоярських вапняків внаслідок розмиву верхньої юри у пізньокрейдовий час. Покрівля юри тут нерівна і дуже еродована.

У цій місцевості – в долині р. Золота Липа до другої половини ХХ ст. дослідниками спостерігались інші відслонення, сьогодні задерновані. І.Д. Гофштейном описаний розріз потужністю 20–25 м, що виходив на денну поверхню в околицях с. Коржова, представлений внизу конгломератами з валунами і галькою девонських доломітів, вище – цегляно-червоними глинами, а в покрівлі – мергелями та щільними вапняками. Вони залягають на девоні і перекриваються конгломератами сеноману [5].

Подібний розріз розкритий у 20 км на південний захід від с. Коржова свердловиною Блудники (поблизу м. Галич) (рис. 1). Юрські відклади тут починаються конгломератами, які трансгресивно залягають на палеозої і перекриваються пісковиками, сірими і червоними аргілітами з прошарками гіпсу та ангідриту (відповідають рава-руській світі) (схема). У цих відкладах були

знайдені молюски кімериджського віку. Перекриваються вони товщею сірих та жовтих вапняків, в нижній частині доломітизованих [8], які аналогічні нижнівській світі. Отже, можна вважати, що на південний захід від кар'єру в с. Коржова розріз верхньої юри наращується і на рава-руській світі (з конгломератами в підшві) залягає нижнівська світа.

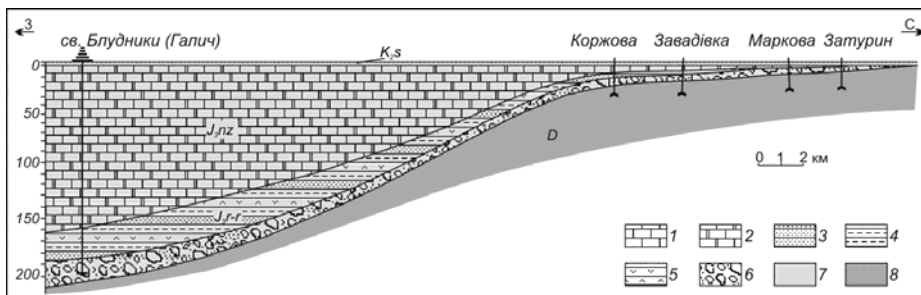


Рис. 1. Схематичний геологічний профіль через розрізи верхньої юри від околиць м. Галич до околиць с. Затурин:

1 – вапняки; 2 – доломітизовані вапняки; 3 – пісковики; 4 – аргіліти; 5 – гіпси та ангідрити; 6 – конгломерати; 7 – відклади верхньої юри; 8 – відклади девону

У відслоненнях верхньоярські верстви поступово закриваються на південний захід, з виходів на денну поверхню зникають спочатку конгломерати, а потім вапняково-доломітова товща нижнівської світи, і біля с. Буківна спостерігаються тільки розрізи буківненської світи (рис. 2). Вони складені біогермними вапняками верхнього титону-нижнього беріасу. Вапняки кремові, світло-сірі, білі, деколи з прошарками вапнякової брекчії. Вапняки мікритові, біомікритові, біокластичні, крейдоподібні, іноді онколітові, подекуди з інтракластами. Органічні рештки часто вилугувані і частково заміщені кристалічним кальцитом,

що надає породі "сітчастого" вигляду. Породи містять численні рештки двостулкових та червоногих молюсків, моховаток, вапнистих губок, коралів, зелених та багрянених водоростей, остракоди, агрегати ціаней, деколи луску та зуби риб, аптихи амонітів та ін. Ці розрізи належать до смуги окремих дрібних біогермів вздовж рифового бар'єру, утвореної на мілководній ділянці зарифового басейну у пізньому титоні-ранньому беріасі. Підстильні відклади тут не відслонюються. Перекриваються пісковиками сеноману. Потужність – 5–10 м. У цих відслоненнях буківненська світа значно розмита.

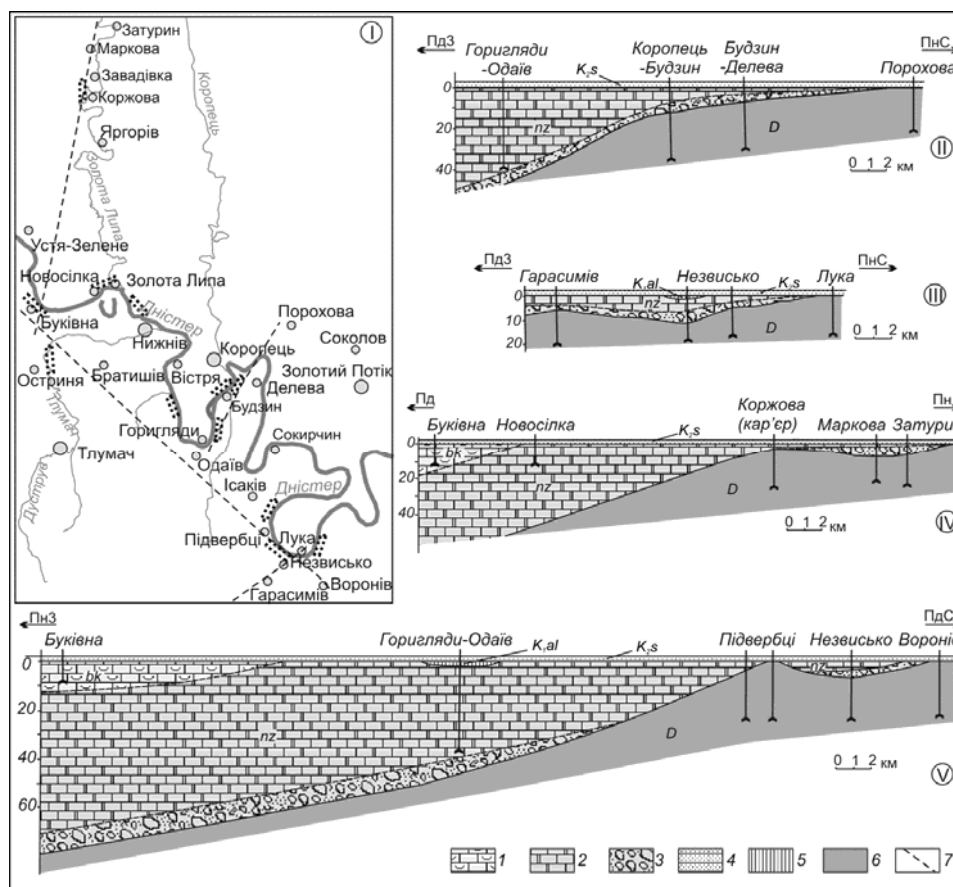


Рис. 2. Відслонення відкладів верхньої юри в басейні р. Дністер:

I – схематична карта району відслонень; II – V – схематичні геологічні профілі через розрізи верхньої юри, що відслонюються на Дністрі: II – в околицях сіл Будзин і Горигляди; III – в околицях сіл Незвисько і Гарасимів; IV – від с. Буківна до с. Затурин; V – від с. Буківна до с. Незвисько. Умовні позначення: 1 – органогенно-уламкові вапняки буківненської світи; 2 – доломітизовані вапняки нижнівської світи; 3 – базальні конгломерати верхньої юри; 4 – пісковики сеноману; 5 – пісковики і конгломерати альбу; 6 – відклади девону; 7 – лінії профілів

Коротка характеристика найбільш показових відслонень.

"Горигляди-Одаїв"

Правий берег Дністра вниз по течії від с. Одаїв навпроти східної околиці с. Горигляди. Відслонення у п'яти ярах у стрімкому схилі (рис. 3.7).

Відслонення починається на 0,7 м вище від рівня води. На денну поверхню тут виходить товща вапняків з поодинокими прошарками глин (до 5 см). Вапняки світлі (білі, кремові, сірі, жовтуваті) мікритові, біомікритові (подекуди з лінзами та прошарками крупночерепашкового вапняка), грудкуваті, місцями брекчієподібні, різною мірою доломітизовані та глинисті (прошарками переходять у доломіти та мергелі) масивні, шаруваті, плитчасті, ділянками дрібнопористі, місцями тріщинуваті. Глини сірі та чорні піскуваті нерівномірної карбонатності, іноді з включеннями вапнистої речовини. Загалом видима потужність до 36 м. Залягають на породах палеозою (відслонюються на лівому березі Дністра в с. Горигляди), перекриваються глауконітовими пісковиками альбу або сеноманськими конгломератами (відслонюються дещо вище юрських вапняків). Контакти задерновані. Верхньоярські вапняки належать до нижнівської світи. У покрівлі розрізу (до 0,5 м потужністю) в крутому уступі відслонюються крупночерепашкові кремові вапняки, подібні до вапняків буківненської світи, але на теперішній час вони не досліджувалися, оскільки недоступні для відбору зразків.

"Будзин-Делева"

Правий берег Дністра вниз по течії від с. Горигляди. Відслонення на північному сході від с. Будзин навпроти с. Делева (рис. 3.1).

У верхній частині гори в стрімкому схилі над червоноколірними відкладами нижнього девону ("old-red"), на денну поверхню виходять верхньоярські конгломерато-брекчії потужністю до 8 м, які перекриваються вапняками видимою потужністю до 3 м. Конгломерато-брекчії плямисті, складені строкатозабарвленими блоками (до 0,5 м), уламками та гальками палеозойських порід (до гори розрізу менші за розмірами) та світлим (сірим, кремовим, жовтуватим) вапняком мікритовим, піскуватим, ділянками пористим, тріщинуватим, з поодиноким макрофауною. Вапняки світлі жовтуваті до білих масивні міцні плитчасті крейдоподібні, ділянками жовтуваті оолітові з інтракlastами та макрофауною.

Конгломерати та вапняки відносяться до низів нижнівської світи. Вони залягають безпосередньо на строкатозабарвлених породах палеозою (рис. 3.4). Контакт з перекривними породами задернований. Вище по розрізу в кар'єрі с. Делева відкриті верхньокрейдодіклади, в підшві яких залягають конгломерати сеноману.

"Коропець-Будзин"

Лівий берег Дністра на південь від с. Коропець навпроти с. Будзин.

В 20 м вище від рівня води над еродованими строкатозабарвленими аргілітами, або доломітами та пісковиками палеозою спостерігається підшва нижнівської світи (місцями вилугуваний контакт між палеозоєм та юрою близько 1 м) (рис. 3.2, 3.5). Безпосередньо у підшві юри залягають конгломерати (потужність до 6 м), складені різнокольоровими обкатаними та напівобкатаними гальками палеозойських порід та жовто-сірим та світло-сірим вапняково-доломітовим цементом (рис. 3.6). Вище над задернованою покрівлею конгломератів відслонюються жовтуваті-сірі оолітові та кремово-білі піскуваті мікритові доломітизовані вапняки видимою потужністю понад 7 м. У цементі конгломератів та вапняках містяться поодинокі рештки макрофауни.

"Незвисько"

Правий берег Дністра, на сході від с. Незвисько. Відслонення вниз по течії в другому яру від потоку, що впадає в Дністер в с. Незвисько.

Розріз починається на відстані 8 м від ріки доломітами палеозою. На контакті палеозою та юри залягає шар до 10 см сіро-зеленої плитчастої невапнистої глини. Вище по обох бортах яру відслонюються конгломерати нижнівської світи видимою потужністю до 7 м. Вони складаються з уламків палеозойських порід (гравій та галька різного ступеню обкатаності) і жовтуваті-сірого доломітово-вапнякового цементу. Місцями конгломерати заміщуються жовтуватими та кремово-сірими піскуватими глинистими вапняками з гальками різних порід. Над конгломератами залягає товща (до 12 м) світлих жовтуватих, сірих та кремових піскуватих доломітів та доломітизованих вапняків. Вапняки мікритові, місцями біомікритові, доломітизовані пористі. Місцями вапняки переходять у вапнисті пісковики та містять гальки різних порід і непотужні прошарки темно-сірої глини. У покрівлі залягають світлі кремово-сірі біомікритові вапняки, подібні до буківненської світи (видима потужність до 1 м). Вони перекриваються конгломератами та вапняками незвиської світи нижньої крейди.

"Буківна"

Відслонення в околицях с. Буківна на правому березі Дністра на сході та заході від стародавнього перевозу, а також в ярах від Дністра біля церкви та дороги на перевал. Тут виходять на денну поверхню однотипові розрізи буківненської світи видимою потужністю до 7 м (рис. 3.12–3.15). Вони складені світлими кремовими та білими біомікритовими крупночерепашковими вапняками з інтракlastами та великою кількістю вилугуваної макрофауни. Вони залягають на оолітових вапняках нижнівської світи, які зустрінуті у нижній частині розрізу (до 0,8 м) лише у відслоненні на березі ріки 200 м на захід від перевозу. В інших місцях підшва буківненської світи задернована. Ерозійні пустоти на поверхні юрських відкладів заповнені пісковиками сеноману, які залягають вище по розрізу.

"Коржова"

Кар'єр на околиці с. Коржова в долині лівого притоку Дністра – р. Золота Липа.

На нерівній покрівлі середньодевонських доломітів залягають вапняки з прошарками аргілітів потужністю 1,5–2 м, які належать до нижнівської світи (рис. 3.16). У підшві вапняки місцями піскуваті й переходять у вапнисті пісковики з включенням гальки палеозойських порід. Покрівля юри тут нерівна і дуже еродована. Її перекривають конгломерати сеноману, які містять валуни і гальку верхньоярських вапняків.

В інших відслоненнях розкрита нижнівська світа та перекривні верхньокрейдодіклади – в околицях с. Нижнів на правому березі Дністра (товща вапняків з конгломератами у підшві потужністю до 8 м, контакт з верхньою крейдою задернований), на сході від устя р. Золота Липа (товща вапняків до 3,5 м перекривається глауконітовими пісковиками альб-сеноману) (рис. 3.10–3.11), на скелях вздовж автомобільного шосе біля с. Новосілка (понад 6 м вапняків юри, що перекривається пісковиками сеноману) (рис. 3.8–3.9), в околицях с. Кутище (пісковики верхньої крейди залягають безпосередньо на покрівлі вапняків юри); а також підшва нижнівської світи з контактом палеозойських утворень – у лісі на східній околиці с. Нижнів (конгломерати юри залягають безпосередньо на палеозойських доломітах) (рис. 3.3), в ярах по правому берегу Дністра біля устя р. Тлумач (конгломерати юри (до 4 м) залягають на еродованій поверхні палеозою та вище переходять у товщу вапняків понад 7 м потужністю), на пів-

нічній околиці с. Підвербці вапняки нижнівської світи розкриті вище строкатих аргілітів палеозою, а вище за розрі-

зом у кар'єрі відслонюються вапняки верхньої крейди (контакти задерновані).



Рис. 3. Фотографії відслонень:

1 – верхньоярські конгломерати (уступ) залягають на відкладах "old-red" (нижній девон) (с. Будзин); 2 – еродована поверхня палеозою ("hard ground"), на якій залягають конгломерати кімериджу (поблизу м. Коропець); 3 – конгломерати юри (східна околиця с. Нижнів); 4–6 – контакт палеозойських пісковиків і конгломератів кімериджу (4 – с. Будзин; 5, 6 – поблизу м. Коропець); 7 – відслонення верхньоярської вапняково-доломітової товщі поблизу с. Горигляди; 8, 9 – відслонення поблизу с. Новосілка: 8 – верхньоярські вапняки і доломіти, 9 – контакт верхньоярських вапняків і пісковиків сеноману; 10, 11 – відслонення біля устя р. Золота Липа: 10 – загальний вигляд відслонень, 11 – контакт верхньоярських вапняків і конгломератів сеноману; 12–16 – відслонення поблизу с. Буківна: 12, 13 – масивні нешаруваті вапняки буківненської світи, 14 – "сітчасті вапняки", 15 – сучасний ерозійний рельєф підкреслює куполоподібну форму буківненських біогермів, 16 – прибережні відклади (кар'єр в с. Коржова)

Висновки. Отже, за нашими даними, відклади верхньої юри, поширені у середній течії р. Дністер, представлені нижнівською світою верхнього кімериджу–

середнього титону та буківненською світою верхнього титону–нижнього беріасу. Ці відклади утворені в зарифовій зоні Опарського бар'єрного рифу. Переважно у

відслоненнях представлена нижнівська світа, а буківненська поширена локально внаслідок значного розміру. Стратиграфічні співвідношення цих світ проілюстровані на схематичних геологічних профілях (див. рис. 2).

Оскільки це унікальні відслонення відкладів юри на території Українського Передкарпаття, доцільно в подальшому продовжити детальні літологічні та палеонтологічні дослідження даних порід, опублікувати докладні описи кожного розрізу і внести ці відслонення до геологічних пам'яток України.

Список використаних джерел:

1. *Alth Alojzy*. Wapień niżniowski i jego skamieliny // *Pamiętnik Akad. Umiejętności w Krakowie*. – Krakow: Wydzia matematyczno – przyrodniczy, 1881. – Т. 6. – С. 1–141.
2. *Bieniasz Fr.* Objasnienia szczegotowe do map Tysmienicy–Tlumacza i Monasterysk // *Atlas Geologiczny Galicji*. Text do zeszytu pierwszego. – Krakow: Hyd. Komisji Firjograf. Akad. Umiejstn., 1887. – С. 41–49.

Н. Жабина, д-р геол. наук, Е. Аникеева, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

УНИКАЛЬНЫЕ ОБНАЖЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕЙ ЮРЫ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНСКОГО ПРЕДКАРПАТЯ

Представлены результаты полевых исследований обнажений верхнеюрских отложений в долине р. Днестр. Описаны наиболее показательные обнажения. Уточнены возраст, фациальный состав, стратиграфическая принадлежность и соотношения этих отложений в обнажениях и в разрезах скважин. Это иллюстрировано геологическими профилями и фотографиями.

N. Zhabina, Dr. Sci. (Geol.), O. Anikayeva, Cand. Sci. (Geol.)
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

THE UNIQUE OUTCROPS OF UPPER JURASSIC DEPOSITS IN UKRAINIAN PRECARPATHIAN

The results of field studies the Upper Jurassic deposits in outcrops in the valley of the Dniester river are given. The most representative outcrops are described. The age, facies composition, stratigraphic attachments and correlation of these deposits in outcrops and in well-sections are defined. These illustrated by geological profiles and photos.

УДК 563.6.001.33

Л. Попова, канд. геол. наук, наук. співроб.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПАЛЕОЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ІСНУВАННЯ РАНЬОГОТЕРИВСЬКОЇ ПЕРВОМАЙСЬКОЇ РИФОВОЇ СПОРУДИ (ПРАВОБЕРЕЖЖЯ Р. БОДРАК, ГІРСЬКИЙ КРИМ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.В. Шевчуком)

Первомайська органогенна споруда (готерив межиріччя Бодрака і Альми) формувалася по класичній схемі – "береговий риф – атол", а потім була перекрита відкладами навікопорифових фацій відкритого моря. Зміни в трофічній структурі угруповання, а також в спектрі морфологічної мінливості і кривих смертності популяцій указують на дефіцит кисню в середовищі, пов'язаний з деградацією склерактинієвих угруповань. Основним фактором, що пригнічує розвиток коралових угруповань в готериві на дослідженій території, був температурний, а посилення теригеного зносу не мало вирішального значення. При цьому видимі ознаки порушення структури угруповання в першу чергу фіксуються на матеріалі гетеротрофної (лагунної) складової рифової екосистеми, а автотрофна (склерактинієво-зооксантеллова) складова як більш незалежна, певний час не виявляє зовнішніх ознак руйнування.

Постановка проблеми. Викопні органогенні споруди є достатньо складним об'єктом для геологічної зйомки і одночасно високоперспективні з точки зору пошуків корисних копалин. Це сприяє інтенсивному їх вивченню і розробці необхідних для цього специфічних методів [2], в чому особливо велику роль має актуалістичний підхід, оскільки закономірності утворення, просторового розташування, складу фауни і флори викопних органогенних споруд неможливо було б з'ясувати без детальної інформації про сучасні рифи. Завдяки цьому створилася достатня методична база і для розв'язання задач зворотного типу – використання ретроспективного підходу в вирішенні проблеми загибелі сучасних коралових рифів внаслідок глобальних кліматичних змін.

Впродовж геологічної історії Землі цілком реально підібрати ситуації із відповідними параметрами, на основі яких можна було б спрогнозувати події в сучасних коралових угрупованнях. Так, в крейдовому періоді склерактинієві рифові угруповання (а саме вони є основою сучасних рифів) витісняються рудистовими, причому особливо успішно – в найбільш типовій для склерактинії тро-

3. *Cushman J. A. and Glazowski K.* Upper Jurassic foraminifera from the Nizniow limestone of Podole, Poland // *Contributions from the Cushman laboratory for foraminiferal research*. – 1949. – Vol. 25. – P. 1–11.

4. *Анікеєва О.В., Жабіна Н.М.* Опорний розріз верхньої юри у долині р. Дністер (Українське Передкарпаття) // *Проблеми палеонтології та біостратиграфії протерозою і фанерозою України* / Відп. ред. П.Ф. Гожик. – К., 2006. – С. 103–107.

5. *Гофштейн И.Д.* Тектонические наблюдения на Золотой Липе // *Геологический сборник Львовского Геологического общества*. – 1961. – № 7–8. – С. 173–182.

6. *Дулуб В.Г., Жабіна Н.М., Огороднік М.Є., Смірнов С.Є.* Пояснювальна записка до стратиграфічної схеми юрських відкладів Передкарпаття (Стрийський юрський басейн). – Львів: ЛВ УкрДГРІ, 2003.

7. *Жабіна Н.М., Анікеєва О.В.* Оновлена стратиграфічна схема верхньої юри-неокому Українського Передкарпаття // *Збірник наук. праць УкрДГРІ*. – К., 2007. – №3. – С. 46–56.

8. *Ксенжжевич М., Самсонович Я.* Очерки геологии Польши [пер. с польского В.С. Петренко и И.М. Петренко]. – М.: Изд. иностранной литературы, 1956.

Надійшла до редколегії 23.01.13

пичній зоні. Причина цього вбачається, зокрема, в підвищенні температур морської води в тропіках [6]. До того ж все це супроводжувалося парниковим ефектом і аноксичними подіями в морських екосистемах. Тому екологія коралових угруповань ранньої крейди (зокрема, готериву) до певної міри може розглядатися як модель сучасних процесів в рифових екосистемах.

Об'єктом даного дослідження є коралові угруповання готериву Другого пасма Кримських гір в басейні р. Бодрак. Не зважаючи на умови сталої трансгресії [4], готеривські органогенні споруди тут переважно не досягали розвитку справжніх біогермів [1]. Причини пригнічення коралового угруповання можна реконструювати за допомогою аналізу кривих смертності популяцій і змін в трофічній структурі угруповання.

З чисто стратиграфічних причин, таке дослідження зручніше почати з гетеротрофної ("лагунної") складової коралового угруповання, оскільки відповідні відклади, на відміну від власне органогенних споруд, добре стратифіковані, і можна легко прослідкувати динаміку ситуації в часі. Ритмічне перешарування більш або менш

піскуватих вапняків і пісків, що вінчає розріз рифогенних вапняків нижнього готериву Альмінсько-Качинського межиріччя, максимально доступне для вивчення у вскриші Первомайського діоритового кар'єру, розташованого в 5 км на південний захід від с. Трудолюбівка, Бахчисарайський р-н, АР Крим.

Геологічна будова ділянки дослідження, тафonomie. Профіль через вскришу кар'єру показано на рис. 1. Внаслідок того, що ритмічні утворення (чергування вапняків і пісків) характеризуються шаруватістю виповнення (тобто, поступово поховують під собою рифову споруду Первомайського кар'єру), їх кути падіння відчутно більші, ніж ті 7-8°, що загалом характерні для готериву даної території. Внаслідок цього поверхня вскриші кар'єру представляє собою свого роду штучні мікрокуести, і багатий палеонтологічний матеріал, зібраний між ними, має чітку пошарову прив'язку. Ділянки збору матеріалу позначені нами римськими цифрами: I, II, III, однак ділянка II об'єднана, тому що другий прошарок "циклолітесових" вапняків було зруйновано роботами в кар'єрі. Збереженість матеріалу прекрасна і для ділянок пісків I-II ніяких свідчень перенесення чи сортування матеріалу немає (так, брахіоподи і устриці

нерідко представлені обома стулками). "Циклолітесові" вапняки також формувалися в спокійних і мілководних умовах, до того ж, очевидно, з дуже низькою кількістю теригеного матеріалу, що надходила в басейн. Цього з необхідністю вимагає сам габітус життєвої форми "циклолітес", одиночних склерактиній, чиї кораліти ледь підіймалися над поверхнею дна. Крім того, більшість коралів, як і інші організми (двостулкові, брахіоподи) знаходяться тут в прижиттєвому положенні. Вгору по розрізу кількість піщаного матеріалу в вапнякових прошарках зростає ("піскуваті вапняки" рис. 1); серед фауни домінують устриці і тригонії. Однак, і їх черепашки, як правило, знаходяться в прижиттєвому положенні. Безсумнівні свідчення активної гідродинаміки з'являються тільки для верхнього прошарку пісків (ділянка III). Тут панцири і уламки панцирів токсастерів (які для всіх прошарків пісків є найбільш звичайним типом решток) іноді зустрічаються у вигляді свого роду брекчії, зцементовані разом по декілька штук. Переважно ж панцири токсастерів захоронювалися в прижиттєвому положенні (іноді на поверхні осаду, де панцири могли обростати серпулами чи устрицями; іноді в товщі осаду, де ці морські їжаки проводили основну частину життя).

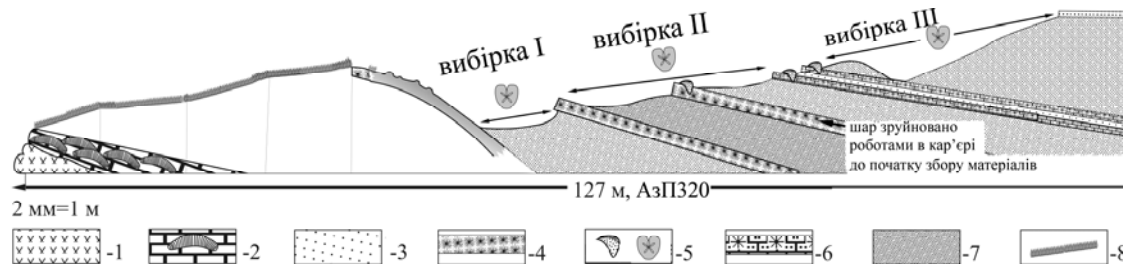


Рис. 1. Профіль через вскришу Первомайського кар'єру:

1 – діорити; 2 – вапняки з колоніальними склерактиніями; 3 – пісковики; 4 – "циклолітесові" вапняки; 5 – тригонії, морські їжаки; 6 – піскуваті вапняки; 7 – піски; 8 – задерновані чи закриті осипом поверхні

Предметом дослідження є: а) зміни в трофічній структурі і б) у динаміці популяцій рифового угруповання Первомайського кар'єру. Фактично досліджувався тільки один, найбільш масовий вид, *Toxaster retusus* (Lamarck, 1816); в названих двох аспектах: а) трофічних зв'язків з хижакками (тобто як вид-утворювач консорції)¹, і б) популяційних характеристик того ж виду (смертності та змін в морфологічній структурі послідовних в часі популяцій).

Метою дослідження є з'ясування причин деградації рифових угруповань в ранньому готериві.

Палеонтологічний матеріал складається з трьох послідовних в часі вибірок (вибірка I, вибірка II, вибірка III), загальною кількістю, відповідно, 9, 29 і 41 екземпляр. Внаслідок неоднакового ступеня збереженості решток, для кожного виду спостережень кількість придатних екземплярів є різною. Ці дані стосовно кількості конкретних вимірювань/спостережень наводяться в табл. 1-2 в стовпцях "N".

Методи: у ході польових робіт використовувався комплекс спеціальних методів, що запропоновані для геологічної зйомки органогенних споруд [2].

Зміни в трофічній структурі коралового угруповання досліджувалася шляхом спостережень по частоті трапляння² в послідовних в часі популяціях

¹ "консорція" приймається в розумінні В.В. Мазінга [2].

² Для зручності порівняння між вибірками, в даній роботі використано не частоту трапляння особин з певним типом пошкодження, а повністю еквівалентне їй середнє арифметичне оцифрованих результатів спостережень по кожному фактору (пошкодження певного типу у особини присутнє – "1", відсутнє – "0"). Тобто, в табл. 1 графі "середнє" можна розуміти як частоту трапляння певного типу пошкодження або як вірогідність загибелі від певного фактора.

Toxaster retusus панцирів з певним типом прижиттєвих пошкоджень (тобто таких пошкоджень, результатом яких була загибель особини). Відміни між вибірками відповідають змінам в трофічній структурі консорції *Toxaster retusus*, а в своєму зворотному вигляді (як 100% мінус смертність від всіх видів хижаків) – смертності, викликаній абіотичними факторами. Типологія прижиттєвих пошкоджень для *Toxaster retusus* запропонована автором на основі структури консорцій сучасних морських їжаків *Meoma ventricosa* [5], які, подібно до токсастерів Первомайської органогенної споруди, мешкали в пов'язаних з рифом угрупованнях і мали схожий характер харчування і пересування.

На матеріалі з Первомайського кар'єру у токсастерів виділяються такі типи прижиттєвих пошкоджень: 1) "риуче ракоподібне": невеликий (менше 5 мм), часто трикутний отвір в поблизу амбітуса, часто в задній частині панцира; 2) "Natica" – сліди свердління хижих натикоїдних гастропод – їх рештки досить звичайні в відкладах готериву Первомайського кар'єру; 3) "краб" – панцир, відкритий згори як консервна бляшанка; "склерофаг" – панцир, розтроснений на шматки. Серед цих типів трофічних взаємодій тільки "риуче ракоподібне" не спостерігалось Chesher R. [5]. Як "склерофаг" у його роботі виступала черепаха, але в нижній крейді це могла бути й інша морська рептилія.

Щодо "риучого ракоподібного", то в його існуванні в угрупованні Первомайського кар'єру запевняють сліди риття (довгі горизонтальні ходи в товщі пісків) і трикутна форма пошкоджень. А саме, чотири щелепи членистоногого наносили удар практично в одну точку (така мисливська стратегія можлива тільки в товщі осаду, де жертва зафіксована стінками нірки) – дві максілли (верхні щелепи)

разом – згори, а дві мандібули – знизу і з боків. Кінцівки ж у річкових ракоподібних, на відміну від клешнів краба чи річкового рака, пристосовані для риття, а не для агресії.

Також довелося виділити категорії "атипове пошкодження" – вірогідно посмертне руйнування панцира за відсутності слідів типових прижиттєвих пошкоджень і "ненасильницька смерть" – панцир без пошкоджень. Не зважаючи на те, що ці дві категорії не пов'язані з хижацтвом, вони можуть нести важливу інформацію про трофічну структуру угруповання, а точніше, про її катастрофічне порушення. Частота особин, яких жоден хижак не з'їв; або вірогідність ненасильницької загибелі особин, в умовах деградації угруповання безсумнівно має зростати (для прикладу згадаємо "рибні горизонти" олігоцену Карпат).

Дослідження динаміки популяційних морфологічних характеристик базувалося на вивченні розмірної мінливості панцирів. Вимірювання проводилися за схемою, наведеною на рис. 2. На цій основі було отримано аллометричні закономірності росту *Toxaster retusus*. Закономірності аллометричного росту і

самі по собі можуть змінюватися відповідно до умов існування популяції (тобто є показником умов середовища), крім того, вони потрібні для визначення ознак, що найбільш постійно змінюються з віком особи. Такі ознаки можна вважати показниками індивідуального віку, і на їх основі будувати криві виживання.

Результати: Трофічна структура як показник благополуччя угруповання. В трьох послідовних у часі досліджених угрупованнях зростання вірогідності "ненасильницької смерті", яке можна було б очікувати від угруповання в стресовому стані, дійсно спостерігається, але відмінні між вибірками не є достовірними. Однак, роль деяких конкретних хижаків для популяції *Toxaster* достовірно змінюється. Загалом, частка хижаків, що діяли на поверхні осаду (особливо, "краб"), зростає за рахунок тих, що поїдали токсастерів у природному для цього річкового організму середовищі – в товщі осаду (в першу чергу, "річкового ракоподібного". Причому найбільш виразно цей ефект спостерігається у вибірці II, а в пізнійшій за часом вибірці III трофічна структура консорції частково наближається до вихідного стану (вибірка I).

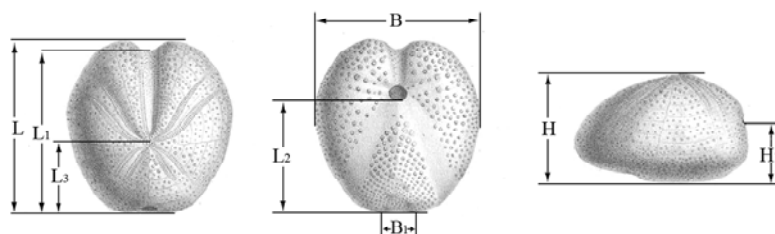


Рис. 2. Схема вимірювань панцира серцевидного морського їжака. Абсолютні показники, що досліджувалися:

L – довжина панцира; (L-L₁) – глибина борозенки переднього амбулакра, L₃ – положення апікального щитка, B – ширина панцира, B₁ – ширина панцира на рівні п'яточних бугрів; L₂ – положення перистому, H – висота панцира, H₁ – положення перипрокту. Ті ж самі виміри, віднесені до L – відносні розмірні показники панцира

Таблиця 1

Результати попарного міжвибіркового t-тесту: достовірність відмін (p) між середніми значеннями впливу певного хижака на популяцію *Toxaster retusus* (достовірні відмінні виділені)

Причина загибелі особини <i>Toxaster retusus</i> :	вибірка I; n=9	вибірка II; n=29	Порівняння між вибірками I-II	вибірка II; n=29	вибірка III; n=41	Порівняння між вибірками II-III	Порівняння між вибірками I-III
	Середнє	Середнє	p	Середнє	Середнє	p	p
"річкове ракоподібне"	0,167	0,000	0,013	0,000	0,098	0,0855	0,327
"Natica"	0,167	0,000	0,013	0,000	0,024	0,404	0,548
"краб"	0,000	0,172	0,164	0,172	0,073	0,188	0,063
склерофаг	0,111	0,103	0,950	0,103	0,183	0,359	0,413
"атипове пошкодження"	0,111	0,207	0,530	0,207	0,268	0,562	0,606
"ненасильницька смерть"	0,333	0,690	0,058	0,690	0,610	0,499	0,136

Закономірності аллометричного росту. Більшість досліджених ознак пов'язані між собою лінійною залежністю, на зразок наведеної на рис. 3.1, і можна припустити, змінюються лінійно і в онтогенезі особи.

Ознаки "положення перипрокту" (рис. 3.2) і "глибина борозенки переднього амбулакра" виявляють чіткий диморфізм (рис. 3.3). Принаймні щодо глибини переднього амбулакра, є підстави вважати цей диморфізм статевим (заглиблені амбулакри слугують самицям деяких видів для інкубації ікринок); але з'ясування справжніх причин виникнення диморфізму, з огляду на мету даної роботи, поки що не є необхідним, бо диморфною є кожна з вивчених послідовних в часі вибірок, тобто, це явище не пов'язане з розвитком палеогеографічної ситуації, а притаманне популяціям токсастерів незалежно від динаміки зовнішніх умов.

Аллометричним є тільки зростання панцира в висоту (рис. 3.4). На пізніх етапах онтогенезу особи воно виразно уповільнюється, тоді як зростання довжини панцира триває. Причому спостерігаються і відмінні між вибірками. У вибірці I ріст відносної висоти панцира

найбільш повільний, істотно прискорюється у вибірці II, а вибірці III крива аллометричного росту певною мірою зміщується до вихідного стану. Слід також звернути увагу на присутність в вибірці III аномально низьких панцирів.

Дослідження динаміки популяційних морфологічних характеристик наведені в табл. 2. Більшість ознак демонструє такий же характер мінливості в часі, як і характер аллометричного росту на рис. 3.4 – вибірка II займає проміжне положення між I і III, сталі тенденції морфологічної мінливості в часі відсутні. Єдине виключення становить положення перистому (L₂/L) – він зсувається до переднього краю панцира, хоча відмінні між вибірками I і II недостовірні. Загалом, менша кількість достовірних відмін між вибіркою I будь якою з вибірок II, III в значній мірі пояснюється просто малим об'ємом вибірки I.

Найбільш придатним критерієм індивідуального віку особи є абсолютна довжина панцира, L. Цей показник і використаний як індивідуальний вік особи при побудові кривих смертності.

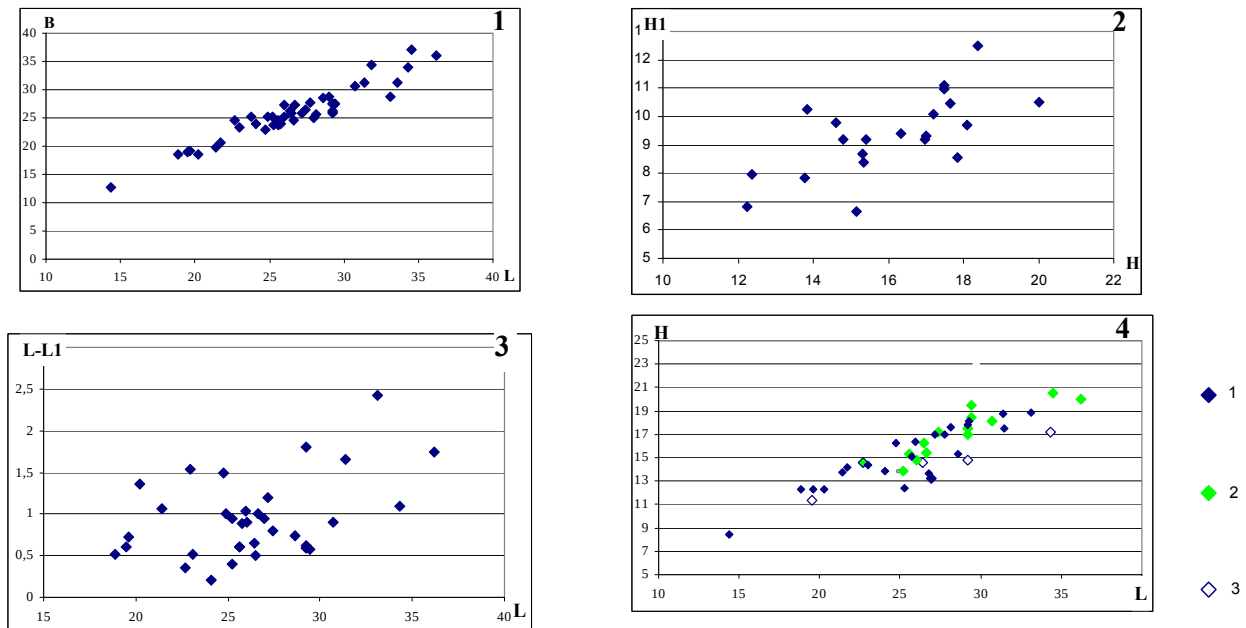


Рис. 3. Залежності між деякими дослідженими розмірними ознаками панцира *Toxaster retusus*
Легенда до рис. 3.4: 1 – вибірка III, 2 – вибірка II, 3 – вибірка I

Таблиця 2

Результати попарного міжвибіркового t-тесту: достовірність відмін (p) між середніми значеннями розмірних показників панцира *Toxaster retusus* (достовірні відмінні виділені)

	Вибірка I		Вибірка II		Порівняння між вибірками I-II	Вибірка III		Порівняння між вибірками I-III	Порівняння між вибірками II-III
	середнє	N	серед-	N	p	середнє	N	p	p
L	27,98	6	28,01	19	0,99	26,13	29	0,405	0,149
L2	17,13	4	19,78	14	0,17	17,77	13	0,733	0,113
L3	14,1	3	15,35	11	0,41	13,44	9	0,664	0,044
B	27,19	6	29,18	24	0,35	23,49	27	0,100	0,000
B1	13,16	5	11,93	4	0,55	11,46	21	0,177	0,737
H	14,5	4	17,03	15	0,05	14,84	27	0,825	0,014
H1	8,57	3	9,73	10	0,05	8,77	11	0,822	0,074
L-L1	0,96	6	0,75	14	0,25	1,12	17	0,501	0,033
(L-L1)/L	0,03	3	0,03	13	0,60	0,04	17	0,198	0,004
L2/L	0,65	4	0,68	12	0,33	0,71	12	0,002	0,031
L3/L	0,53	3	0,54	10	0,90	0,56	10	0,593	0,448
B/L	0,966	5	0,98	17	0,59	0,95	23	0,661	0,154
B1/L	0,46	5	0,33	3	0,02	0,46	21	0,802	0,007
H/L	0,546	4	0,60	14	0,01	0,595	23	0,035	0,770
H1/L	0,31	2	0,35	10	0,22	0,34	9	0,455	0,515

Криві смертності побудовані тільки для вибірок II, III; вибірка I надто малочисельна.

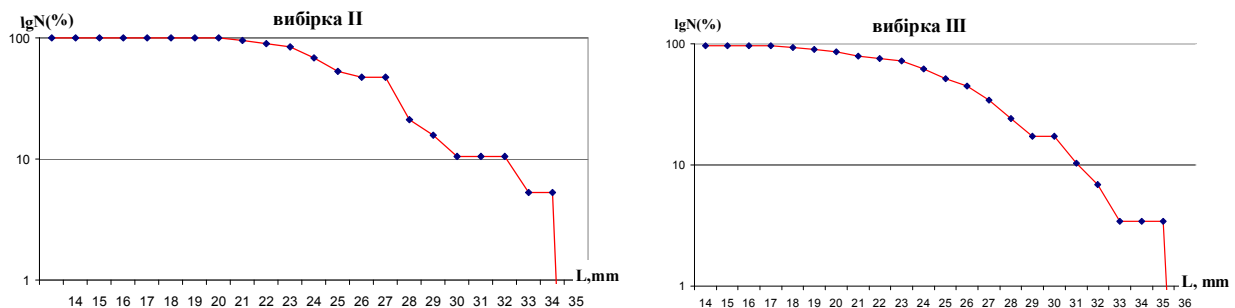


Рис. 4. Криві смертності послідовних в часі популяцій токсастерів вибірок II, III

Обговорення. В ході інтерпретації отриманих результатів слід враховувати, що на угруповання впливали дві групи факторів – глобальні ("тепла біосфера") і локальні (трансгресія і викликані нею зміни фаціальних умов).

У зв'язку з першою з них знаходяться зміни, які можна пояснити дефіцитом кисню у воді:

1) зменшення впливу інфаунних хижаків на популяції токсастера і зростання ролі епіфаунних. Очевидно,

як і сучасні спатангоїди, токсастери, внаслідок низької ефективності своєї дихальної системи, при зниженні концентрації кисню, яка в товщі ґрунту була особливо відчутна, мали з'являтися на поверхні, де і ставали жертвами епіфаунних хижаків.

2) Зміни в закономірностях алометричного росту: відносно зростання висоти панцира у токсастерів популяції II відбувається явно швидше, ніж у популяції I; в

популяції III ситуація дещо наближається вихідного стану, зате з'являються особини з порушеннями росту. У сучасних *Meoma ventricosa* подібні порушення виникають в умовах, коли щось систематично перешкоджає особинам повністю занурюватися в осад, і найчастіше це буває якраз нестача кисню [5].

3) Особливо виразними є зміни кривої виживання. З першого погляду характер обох кривих рис. 4 дивує – вони подібна до такої у видів, найбільш спеціалізованих до К-стратегії (наприклад, у людини): дуже низька смертність на ранніх стадіях, висока – у старих особин. Насправді саме для викопного матеріалу такий характер кривої спостерігається нерідко, але причина цього – тафономія, а не екологія. В нашому випадку (і в багатьох інших подібних) причина видимої низької смертності серед молоді – це різкі відміни між ранніми онтогенетичними стадіями і дорослими особинами (в розмірах, в способі існування, в характері скелету). У морських їжаків – вільноплаваючі личинки, які гинуть масово, але ніяких викопних слідів свого існування не залишають. А при переході до бентосного способу існування молодь морських їжаків спочатку веде такий спосіб життя, при якому вірогідність загибелі невисока. У сучасних *Meoma ventricosa*, наприклад, молоді особини ховаються під колоніями коралів, і практично не рухаються. Внаслідок високого відношення поверхні до об'єму їм цілком вистачає кисню і органіки, що знаходяться в оточуючому просторі. І тільки зростання розмірів (і відповідно, енергетичних потреб) спонукає їх до активних переміщень. Відміни між кривими смертності на рис. 4 відображують важливі зміни в поведінці молодих токсастерів: якщо в вибірці II наймолодші особини є практично безсмертними (панцирів менше 20 мм довжиною просто немає), то в вибірці III вони починають гинути вже в розмірному класі 14-15 мм. Тобто, дефіцит кисню (або також і їжі) спонукав їх переходити до активного життя набагато раніше.

Більшість названих процесів морфологічних змін і змін міжпопуляційних зв'язків в екосистемі не витримані в часі на протязі існування популяцій I-III. Це можна пояснити накладанням другої групи факторів, пов'язаних з тим, що за час, що минув між існуванням популяцій I-III, лагуна (або міжбіогермна западина в рельєфі морського дна) поступово вивислася осадом, і угруповання пісків III існувало в більш активній гідродинамічній ситуації; а прошарок пісковику, що вінчає розріз, взагалі представляв собою нахилений в бік відкритого моря відкладений навколорифових фацій, які перекривають Первомайську споруду. Більш активна гідродинаміка сприяла збагаченню морської води киснем. Однак при цьому з'являються порушення росту і випадки смертності на ранніх стадіях, раніше не характерні. У сучасних ріючих спатангоїдів особливо часто порушення розвитку спостерігаються на ділянках, де будь-які причини перешкоджають їм повністю занурюватися в субстрат (це може бути як нестача кисню, так і характер дна – мулистий субстрат або ділянки з розвитком вищої водної рослинності, що вкорінена на дні) [5].

Перехід від умов більш-менш закритої рифової лагуни або міжбіогермної западини до умов зовнішнього схилу посилив також проблеми з їжею (середовище ставало оліготрофним). Можливо з цим пов'язане спостережене у токсастерів вибірки III переміщення перистому вперед і одночасно – поглиблення борозенки переднього амбулакра.

Все це можна підсумувати таким чином: умови існування угруповання за досліджений проміжок часу погіршувалися (в першу чергу в плані постачання киснем, потім також і органічною речовиною); але перехід від

умов внутрішньорифових фацій до фацій зовнішнього схилу або навколорифових фацій відкритого моря, що відбувався під час існування популяції III (перехід, викликаний трансгресією, що продовжувалася) послабив деякі з наслідків дефіциту кисню. Основним постачальником кисню, органічного матеріалу і захистом від хвиль для вивченого угруповання були склерактинії і їх симбіонти зооксантели. Що з ними сталося?

Як видно з рис. 1, історія склерактинієвого палеоугруповання Первомайського кар'єру в принципі укладається в схему "береговий риф-атол"; причому досліджені консорції *Toxaster retusus* належить саме до цієї останньої стадії. Починався розвиток коралів Первомайської споруди на скельному виступі діоритів, які початково, очевидно, представляли собою острів. На відміну від класичної схеми утворення атолу, в ході розвитку трансгресії цей центральний вихід діоритів також був перекритий каркасними кораловими вапняками; але на час існування лагунного угруповання, що досліджувалося, і ці склерактинії вже були поховані під осадом. Склерактинієві поселення, які годували, постачали киснем і захищали від хвиль вивчене нами лагунне угруповання, очевидно, були розташовані на певній відстані від дослідженої ділянки. Можна сподіватись на їх виявлення в північному та північно-західному напрямку (приблизно, по падінню порід), але тут вони закриті ритмічними відкладами схилу, зовнішнього по відношенню до зони біостромів і біогермів. Остання в ході розвитку ранньоготеривської трансгресії неухильно зміщувалася на північ [3]; але, як видно із викладеного вище, незважаючи на умови трансгресії, взагалі оптимальні для росту коралів, коралово-зооксантелові угруповання поступово втрачали здатність задовольняти потреби гетеротрофного компоненту екосистем. Деякі враження про те, що відбувалося із склерактиніями, які існували одночасно з популяціями токсастерів I-III, можна отримати на основі того, що відбулося з колоніальними склерактиніями самого Первомайського берегового рифу (рис. 5). Поверхня деяких колоній інкрустована численними черепашками устриць. Личинка устриці не може прикріпитися на поверхню живої колонії (вона буде негайно з'їдена коралами). Отже, на час освоєння даної поверхні устрицями колонія була мертва, але вільна від осаду.

Висновки. Збільшення кількості теригенного матеріалу вгору по розрізу, яке спостерігається в більшості відслонень ранньоготериву межиріччя Качі і Альми, було тільки наслідком уповільнення біогенного карбонатонакопичення, результатом пригніченого стану коралово-зооксантелового угруповання. Натомість температурний фактор мав керівне значення. Підвищення температури і саме по собі знижувало розчинність кисню, і могло вести до порушення симбіозу коралів з зооксантеллами, і відповідно, обезбарвлення коралів (як і в сучасних умовах). Пригнічений стан рифової екосистеми в цілому найбільш наочно фіксується по явищах, що відображують дефіцит кисню в її лагунній (гетеротрофній) складовій. Коралово-зооксантелова складова, як більш незалежна і сама по собі до певної міри здатна до замкнення кругообігів речовин, у цей час ще перебуває без видимого руйнування своєї структури, хоча і функціонально пригнічена. Але невдовзі деструкція лагунного компоненту починає негативно впливати і на корали ядра споруди: мертва органіка недостатньо утилізується, можуть виникати замори, пов'язані з масовою загибеллю самих коралів (можливо, саме їх відображує зростання смертності на ранніх стадіях у токсастерів популяції III). Пізніші в часі готеривські органогенні споруди, розташовані на північ від Первомайської, вже існували при іншому рівні

якості середовища: вони не супроводжуються такою багатомасштабною фауною рифолітів і сильно поступаються Первомайській споруді в розмірах.



Рис. 5. Устриці на поверхні колонії склерактинії

Л. Попова, канд. геол. наук, науч. сотруд.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ РАННЕГОТЕРИВСКОЙ ПЕРВОМАЙСКОЙ РИФОВОЙ ПОСТРОЙКИ (ПРАВОБЕРЕЖЬЕ Р. БОДРАК, ГОРНЫЙ КРЫМ)

Первомайская органогенная постройка (готерив междуречья Бодрака и Альмы) формировалась по классической схеме – “береговой риф – атолл”, а потом была перекрыта отложениями околорифовых фаций открытого моря. Изменения в трофической структуре сообщества, а также в спектре морфологической изменчивости и кривых смертности популяций указывают на дефицит кислорода в среде, связанный с деградацией склерактиниевых сообществ. Основным фактором, который угнетал развитие коралловых сообществ в готериве на исследованной территории, был температурный, а усиление терригенного сноса не имело решающего значения. При этом видимые признаки нарушений структуры сообщества фиксируются в первую очередь на материале гетеротрофной (лагунной) составляющей рифовой экосистемы, а автотрофная (склерактиниево-зооксантелловая) составляющая, как более независимая, некоторое время не выявляет внешних признаков разрушения.

L. Popova, Cand. Sci. (Geol.), Research Associate
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

THE PALEOENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE PERVOMAISKY BIOGENIC BUILDUP COMMUNITY (HAUTERIVIAN OF THE RIVER BODRAK)

The Pervomaisky biogenic buildup (Hauterivian of Bodrak-Alma interfluvium) was developing from the shoal reef to atoll according to classic scheme, and then was overlapped with offshore deposits. The changes in the trophic structure of the community, in the morphological diversity of populations and in the mortality curves were studied. These analyses suggest that the community occurred under oxygen deficiency conditions. The main factor of stress was the rise of temperature; terrigenous material supplying was subordinate one. The oxygen deficiency arose from the degradation of the scleractinian community. The structure of the reef heterotrophic component was affected by stress first; autotrophic (scleractinian-zooxanthellian) component stunting was more gradual.

УДК 551.435

Л. Тустановська, здобувач
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

НЕОТЕКТОГЕНЕЗ КАНІВСЬКОГО ПРИДНІПРОВ'Я НА ОСНОВІ СТРУКТУРНОЇ МОРФОМЕТРІЇ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.М. Загнітком)

На основі структурно-морфометричних карт проаналізовано геологічну будову району Канівських дислокацій та простежено їх неотектонічний розвиток. Встановлено головні чинники та стадійність морфогенезу, прямі та непрямі зв'язки між давніми і новітніми геологічними структурами та формами сучасного рельєфу, виявлено ряд локальних структур діапирового походження.

Постановка проблеми та методика досліджень. Питання походження Канівських дислокацій – одне з найбільш цікавих питань геології України. Вже більше ста років точиться дискусія між геологами-прихильниками різних точок зору на їх генезис. Район Канівських дислокацій розміщений на схилах Українського щита. Таке положення району відбилося на його тектонічній природі. Унікальність району передусім полягає у складній геологічній будові його осадового покриву. Саме на Канівському Придніпров'ї завдяки деформації різновікових відкла-

Подяки. Автор вдячний О.С. Огієнку, а також студентам А. Чабанюк, А. Салміній, А. Новиковій, М. Кулінічу за допомогу в зборі і обробці матеріалу; корисні поради і плідне обговорення теми.

Список використаних джерел

1. Бугрова И. Ю. Морские организмы как индикаторы условий осадконакопления в древних бассейнах: учебное пособие [для студентов высш. учеб. заведений] / И. Ю. Бугрова – СПб.: Изд. СПбГУ, 2006. – 104 с.
2. Геологическая съемка в районах развития отложений с органогенными постройками / [Задорожная Н.М., Осадчая Д.В., Новоселова Л. Н. и др.]; под ред. А.С. Кумпана. – Л.: Недра, 1982. – 328 с. – (Методическое пособие по геологической съемке масштаба 1: 50 000. Вып. 2. Всесоюз. науч.-иссл. геол. ин-т).
3. Мазинг В. В. Консорции как элементы функциональной структуры биоценозов / В. В. Мазинг // Тр. МОИП. – 1966. – Т. 27. – С. 1–23.
4. Геологическая история Бахчисарайского района Горного Крыма в меловом периоде / А.М. Никишин, А.С. Алексеев, Е.Ю. Барабошкин [и др.] // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы, отд. геол. – 2009. – Т. 84, вып. 2. – С. 83–93.
5. Chesher R. Contributions to Biology of Meoma ventricosa / R. Chesher // Bulletin of Marine Science. – 1969. – V. 19. – P. 721–110.
6. Johnson C. The rise and fall of Rudist reefs / C. Johnson // American Scientist. – 2002. – V. 90. – P. 148–153.

Надійшла до редколегії 29.01.13

дів утворилася складна структура (Канівські дислокації), що має скадчасто-насувну будову, ускладнену різнопорядковими діапировими утвореннями.

Існуючі погляди на походження Канівських дислокацій можна звести до трьох. Одні дослідники вважають, що їх виникнення обумовлене ендегенними (тектонічними) силами, другі пов'язують це питання з екзогенними причинами (льодовиком), і нарешті, треті є прихильниками складного екзогенно-ендегенного (тектонічно-гляціального) їх походження. Остання гіпотеза найпо-

ширеніша і найбільш аргументована. Разом з тим, співвідношення силових факторів новітнього структуроутворення залишається у деяких аспектах проблематичним. Оскільки, ці процеси так чи інакше проявляються у рельєфі району, то для вирішення ряду нерозв'язаних питань новітнього тектогенезу Канівського Придніпров'я залучено структурно-морфометричний метод, який дозволяє визначати величину некомпенсованих рухів земної кори та величину денудаційного зрізу, отримати амплітуди коливань висот рельєфу, а також поетапно досліджувати рухи земної кори та ерозійно-денудаційні процеси на окремих стадіях новітнього тектогенезу. Морфометричні карти дають можливість виявити не тільки тектонічні структури, виражені на земній поверхні але й глибинні, поховані локальні та регіональні форми рельєфу.

Метою роботи є проведення структурно-морфометричних досліджень для детального виявлення стадійності еволюції палеорельєфу в новітній період та вплив локальних вторинних структур на формування району.

Геологічна будова Канівського Придніпров'я та його відображення в рельєфі.

В геологічній будові Канівських гір беруть участь осадові породи, починаючи з тріасових і закінчуючи сучасними відкладами. Найбільший інтерес має та обставина, що саме тут відслонюються юрські відклади, які ніде на прилеглих територіях на поверхню не виходять, залягаючи на великих глибинах. Докембрійський фундамент занурений досить глибоко, тому в природних відслоненнях кристалічні породи не спостерігаються. Вони виходять на денну поверхню лише в 30 км на захід від досліджуваного району (Миронівка) та виявлені свердловинами в багатьох пунктах поблизу району Канівських дислокацій (Козарівка, Шелепухи, Мартинівка, Яблунів, Степанці, Хмільна, Григорівка). Кристалічні породи представлені гранітами, гнейсами, мігматитами. Поверхня докембрійського фундаменту зазнавала денудації та глибокого фізичного і хімічного вивітрювання. Структура відкладів вказує на те, що породи після свого утворення зазнали впливу динамічних сил, що виникли в зв'язку з тектонічними явищами.

В.І. Славін (1957) для Канівського району склав карти ізоліній поверхні кристалічних порід докембрію, підошви юри і підошви четвертинних відкладів. Аналізуючи ці карти, він прийшов до висновку, що поверхня кристалічних порід досить плавно і закономірно знижується на північний схід: дислокації Канівського району зовсім не відбилися на будові поверхні кристалічних порід. Карта ізоліній підошви та покрівлі юрських відкладів також свідчить про рівномірний нахил на північний схід. Посилаючись на характер залягання стратиграфічних горизонтів, В.І. Славін вказує на відсутність в них складчастих дислокацій, горстів і грабенів.

Однак, дослідження останніх років свідчать про наявність у районі Канівських дислокацій молодих проявів тектонічних рухів. У кристалічному фундаменті зафіксовані розломи північно-західного та північно-східного напрямків [2]. За допомогою морфометричного методу було виявлено древні лінійні елементи, рух по яким відновився в новітньому етапі, що фіксують карти різниць базисної та вершинної поверхонь 5-х порядків. На морфометричних картах вони відобразились у вигляді лінійно витягнутих щільно вузьких смуг ізобазит та ізогіпсоазит, приурочені до розломів у кристалічному фундаменті.

Осадовий чохол Канівського Придніпров'я складений мезозойсько-кайнозойськими відкладами, а саме – строкатобарвними піщано-глинистими відкладами тріасу, юрськими глинами, крейдовими пісками та пісковиками, палеогеновими пісками та неоген-четвертинними відкладами.

Відклади тріасової системи зустрічаються лише в яру на південь від с. Тростянця, де вони утворюють діапирову складку, та в свердловинах на різних глибинах (від 100 до 200 м) (Костяной М.Г., 1963). Залягають тріасові відклади безпосередньо на кристалічних породах, поверхня яких знижується від виходів на поверхню (с. Миронівка) до глибини 250 м у районі дислокацій, тобто у північно-східному напрямку.

Відклади юрської системи виходять на денну поверхню на всій території району Канівських дислокацій, що є однією з його особливостей. В дислокаціях беруть участь лише середньоярські відклади бату та келовею, за даними буріння вони підстилаються байоськими глинами потужністю 24 м. Слід відмітити, що юрські відклади потужністю до 320 м представлені всіма відділами юрської системи [3] і мають загальний малий північно-східний нахил в бік Дніпровсько-Донецької западини. Така закономірність підтверджується розрізами району Беркозівки і Сахнівки, де потужність юри складає 2-8 м, та Канєва (підстінок) і Бобриці – 64-67 м, на лівобережжі в Озеріщах потужність юри становить 84,7 м. Пластичні юрські відклади представлені келовейськими глинами, які утворюють ряд інективних структур. У зв'язку з деформацією (пластичністю) юрських глин утворилися вторинні текстурні форми у вигляді діапирів та мікроскладок. Аналіз структурно-морфометричних карт різниць вершинної, базисної та вершинно-базисної поверхонь 3-х порядків відобразив локальні антиклінальні структури у вигляді діапирових куполів, які підтверджені польовими дослідженнями – це діапіри Костянецького, Меланчиного Потоку, Мар'їного, Пекарського та Хмельнянського ярів, що виражені позитивними різницями у вигляді замкнутих ізоліній. Досліджені діапіри підстилаються лусками сеноманських пісків та пісковиків, але бувають випадки коли юрські та сеноманські відклади насунуті на четвертинні та палеогенові породи, що спостерігається в Костянецькому яру. За даними буріння, проведених на максимальних відмітках (250 м), виявлено юрські та тріасові відклади потужністю 105,2 та 102,75 м, що простежуються на карті різниць базисної поверхні 3-го порядку. На периферійних ділянках дислокацій розташовані дрібніші структури типу діапирів та дрібних куполів, що відповідають позитивним різницям.

Виявлено, що на знижених ділянках (Мощни, Канєв, Бобриця) потужність юрських відкладів зростає до 40-67 м, а на ділянках, де поверхня юри має більші абсолютні відмітки (Байбузи, Шелепуха, Козарівка, Ковалі), потужність зменшується до 27-45 м [4]. Говорячи про зв'язок рельєфу і потужності відкладів, треба підкреслити, що на підвищеннях верхньої юри немає, там залягає середня юра (бат, келовея), що пояснюється розмивами, які захоплювали іноді навіть батські відклади (Козарівка).

Ознаки діапіризму були описані М.Ф. Балуховським та ін. (1958), дані буріння свідчать, що складчастість у юрських утвореннях згасає донизу з переходом до піскуватих шарів тріасу, які зазнали зім'яття лише у верхній найбільш глинистій частині.

При інтерпретації морфометричних карт на території району було виявлено два типи діапирових куполів, які розрізняються між собою. Відкриті, мають обернений рельєф, який оконтурюються по периферії згущеними ізобазитами, а в центральній частині купола – їхньою відсутністю. Це фіксують карти різниць 2-х та 3-х порядків, на прикладі діапирів у ярах Костянецький, Меланчин Потік, Мар'їн, Холодний, Великий і Малий Пекарський [7].

Закриті діапирові купола спостерігаються на карті різниць базисної поверхні 4-го порядку (північно-східні ділянки інективного валу, центральна ділянка села Хмільна та ділянка біля хутора Хмільна), вони виражені підково-

подібним різким згущенням рисунку ізобазит та іноді розсікаються ярами та долинами у випадку Пекарського яру.

Важливу роль у будові дислокацій мали крейдові відклади, представлені альбськими та сеноманськими пісками та пісковиками. Вони зустрічаються у природних відслоненнях, а також підтверджені свердловинами. Розмежовуються з юрськими глинами каоліновими пісками верстви Виржиківського, потужністю до 4 м. Остання фіксується в ярах Дунаєць, Меланчин Потік та на південно-західній околиці м. Канів.

Альбські відклади відслонюються в районі Мар'їної гори та прилеглих ділянках, де підстиляються келовейськими глинами і мають потужність 19 м.

Сеноманський ярус поширений на всій території Канівщини, його потужність зростає на південь і південний схід. У північній частині району Канівських дислокацій сеноманські відклади розмиті. Відсутність їх північніше від лінії Іваньків-Бучак вказує на значний розвиток денудаційних процесів за післясеноманського часу. На юрських глинах тут залягають глауконітові піски канівської світи. Південніше від цієї лінії, у відслоненнях сс. Трошин, Студенця і Тросянця з'являються світлі і брудно-зелені сеноманські піски з пісковиками, потужністю до 25 м [5].

Характерною ознакою крейдових відкладів є те, що вони, будучи зцементованими і залягаючи на пластичних глинах, складають лускувату структуру Канівських дислокацій. Деформовані відклади формували підкиди з значним діапазоном кутів падіння від 20-90°. Порооди мають північно-східне падіння, при цьому насувні пакети майже паралельні між собою.

При інтерпретації структурно-морфометричних карт різниць базисних поверхонь 2-го та 3-го порядку було виявлено підкиди, які відобразилися на картах різкою щільністю ізобазит, і мають вигляд клину, що вказують на порушення відкладів (правий схил В. Пекарського, верхів'я Меланчиного та Костянецького ярів, північна та західна околиця с. Хмільна, диференційовані ділянки інективного вала).

Сеноманські відклади часом підстиляються юрськими глинами, формують змішані структури, на схилах яких відклади мають різнонаправлене падіння. Крім природних відслонень верхньокрейдіві відклади відомі і по свердловинах с. Бобриці на глибині 53,5 м, с. Ковалі – 13,3 м від поверхні (порушене залягання) та 90,6 м (корінне залягання).

Серед кайнозойських відкладів в районі дислокацій спостерігаються палеогенові, та відклади четвертинної системи, неогенові відклади відсутні у зв'язку з розмивом території. Відклади палеогенової системи представлені лише еоценовим відділом (канівські та бучацькі відклади) з невитриманою потужністю 25-28 м. Канівські відклади спостерігаються лише в північно-східній частині Канівських дислокацій. Ці відклади порівняно з поверхнею давніх мають більш вирівняне залягання, їх потужність зростає в східному напрямку. Канівська світа в районі дислокацій залягає на різних за віком відкладах. Так, у північних частинах між селами Трахтемировим і Григорівкою підстиляються глинами бату і келовею, у центральній частині – відкладами нижнього та середнього сеноману, а в південній – (с. Хмільна) – глауконітовою крейдою верхнього сеноману та пісками з пісковиками альбського віку.

Відклади бучацької світи представлені глауконітово-кварцовими пісками з потужністю до 45 м. За аналізом даних буріння поверхня бучаку більш-менш вирівнена, понижується лише біля с. Козарівки, що пояснюється розмивом. Така ж ситуація і в с. Ковалі, де бучацьких відкладів немає і на канівській світі залягають давньо-четвертинні піски, прикриті насувом юрських, крейдових

і канівських утворень. На решті території Канівських дислокацій бучацькі відклади мають згідне залягання.

Відклади київської світи не беруть участі у будові Канівських дислокацій. Поширені вони лише в північній частині району, а також на захід від дислокованої ділянки в районі сс. Мартинівки, Беркозівки, на південному заході – в с. Завадівці і Городищі та на півночі уздовж правого берега Дніпра.

Відклади олігоценного відділу в межах дислокованого району на відміну від прилеглих територій (Придніпровської височини та Придніпровської низовини) не спостерігаються.

Кайнозойські відклади, як і мезозойські беруть участь у будові району. Вони, мають незгідне залягання та утворюють лускуваті структури, надвиги, що відобразилися на морфометричних картах різниць базисних поверхонь 3-го та 2-го порядку, де картуються зони інверсійних максимальних та мінімальних амплітуд. Такі локальні структури зафіксовані у правому борті Костянецького яру, ділянках Чернечої, Княжої гори та ділянках по обидва боки Заводнищенського яру. Слід зауважити, що в усьому районі переважають антиклінальні форми, а синкліналі зустрічаються дуже рідко.

Новітній тектогенез та його структурно-морфометричний аналіз.

Неотектонічний етап відзначався загальною зміною знака тектонічних рухів для всієї території. У неогені почався континентальний період формування рельєфу. На фоні загального підняття Українського щита фіксуються різнонаправлені коливальні рухи окремого блоків. У цей час виділяються Тархтемирів-Бучацький та Канівський блоки як горсти, Трошинський та Переяславсько-Черкаський блоки – як грабени. Останній був опущений у передльодовиковий час, утворивши Переяславсько-Черкаську депресію, вистелену товщею антропогенових відкладів, потужністю 40-60 м [10].

Неогенові відклади на території досліджуваного району спостерігаються лише на ділянці с. Трошин, а також у правому береговому уступі Дніпра біля с. Селище, де представлені двома товщами: полтавською світою і товщею строкато-бурих глин. У бік не дислокованого плато потужність неогенових відкладів зростає до 20 м [12]. Для більшої території максимальні підняття відбувались у другій половині олігоцену та міоцену, свідченням цього є структурно-морфометрична карта вершинної поверхні 7-го порядку з амплітудою висот 70 м. Ці рухи диференціювались за новітніми структурними елементами, які мали різну тенденцію розвитку. Під час наступного пліоценного етапу, переважає тенденція до нисхідних рухів, що ускладнювались імпульсами вищих порядків з меншою амплітудою і періодами. Підтвердженням цього є вершинна поверхня 6-го порядку з амплітудою висот 30 м. Після цього в плейстоцені знову переважали підняття, але з більш дрібними ритмами та більш короткими періодами і меншими амплітудами тектонічних рухів, які знайшли своє відображення в терасових рівнях. [1, 7, 8].

І. Рослим та іншими дослідниками (1990), було відтворено три терасових рівні, що формувалися протягом пізнього пліоцену в середньому Придніпров'ї. Це пізньосарматсько-ранньопліоценовий, середньо-пізньопліоценовий, пізньопліоценовий-ранньоантропогеновий, які є похованими, чим і пояснюється відсутністю древніх долин та карт базисних поверхонь 6-х та 7-х порядків.

У подальшій антропогеновій історії геологічного розвитку та формування рельєфу Канівщини провідну роль відігравали не лише неотектонічні диференційні рухи, але й, вірогідно, дніпровський льодовик, який змінив будову осадової товщі, формуючи лускувато-насувні фор-

ми та діапирові структури. В ряді ярів було зафіксовано великі діапіри (складки) утворені нижньочетвертинними пісками, видавленими з під лусок піщаників сеноману.

Антропогенні відклади поширені майже скрізь, за винятком крутих схилів річкових долин, балок та ярів, де на денну поверхню виходять більш давні породи. Потужність їх змінюється від незначної на схилах до 100-150 м у місцях перезаглиблення долин, проте в середньому вона становить 10-15 м [5]. На прилеглих ділянках плато біля дислокованої зони відклади залягають згідно (знизу вгору): товща нижньочетвертинних бурих, червоно-бурих сильно карбонатних суглинків, з потужністю до 15 м; серія середньо четвертинних відкладів з потужністю від 20-50 м, до яких входить морена, під- і над моренні водно-льодовикові піщані і суглинисті відклади та товща верхньочетвертинних лесів з похованими ґрунтами. Територія Канівських дислокацій, яка в цей час зазнавала тектонічних змін, про що свідчать карти різниць 5-х порядків, з середньою амплітудою коливань висот 76-85 м, внаслідок чого були здеформовані київські, харківські, полтавські шари та строкаті глини, з перевищенням висот – 67 м. У подальшому денудаційна рівнина була перетворена на заплавний суходіл внаслідок гальмування висхідних рухів, що підтверджують дані карти різниць вершинно-базисної поверхні 4-го порядку з амплітудою перевищень 65 м.

У другій половині раннього антропогену (окський вік) та на початку середнього антропогену (лихвінський вік) на території району, формується IV надзаплавно-аккумулятивна тераса долин річок Дніпра, Росі та Росави. Морфометричні карти базисної та вершинної поверхонь 5-го порядку відображають пасмогорбистий, слабо розчленований рельєф Канівських дислокацій з амплітудою висот 70 м.

У середньому антропогені наступанню льодовика передували значні перетворення рельєфу, викликані неотектонічними підняттями та пластичними деформаціями глинистих порід. Структурно-морфометричні карти різниць базисної та вершинної поверхонь 4-го порядку, що виявляють рухи земної кори в межах невеликих територій зафіксували амплітуди диференційних зміщень від 20 до 85 м. За фізичними властивостями породи в момент утворення дислокацій були пластичні, зволожені талими водами наступаючого льодовика, які перекривалися відносно жорсткими породами, що зумовило утворенню насувних структур. Саме карта різниці базисної поверхні 4-го порядку з додатними показниками від 33 до 55 м відобразила ділянки найбільших насувних структур ін'єктивного валу. Малюнок ізогіс-базит різниці вершинної поверхні 4-го порядку відображає ерозійну діяльність у передльодовикову фазу дніпровського зледеніння, низькогірний рельєф був розчленований талими водами льодовика. Саме в цей час починається перезаглиблення долини Дніпра – утворюється шевченківська депресія, свідченням цього є дані карт базисної поверхні 4-го порядку з мінімальними висотами 95 м, що є місцевим базисом ерозії.

Дніпровський льодовик зайняв долину Дніпра, але не перекрив повністю вододіли, лише підпрудив русло, зволожуючи юрські глини льодовиковими водами та водами річок Дніпра та Росі. Зустрівши на своєму шляху низькогір'я, льодовик змінив їх вигляд, виоравши широкі долини понижень та перемістив частини лусок-насувів по вже зволоженому пластичним глинам у вигляді відторженців. За даними вершинної поверхні 4-го порядку льодовик пересуваючись розчленовує поверхню палеорельєфа з висотами в 100 м та вигинаючи територію у південно-західному напрямку, утворюючи діапирові структури. Такому ж впливу піддався і правий високий берег р. Рось, з тією лише різницею, що він простягався поперек руху

льодовика. Внаслідок чого було деформовано рельєф пластової рівнини та IV надзаплавну терасу Дніпра на Придніпровській височині.

Суцільного мореного покриву на території району не встановлено, моренні відклади спостерігаються лише в розрізах Канівського блоку. Карта різниць вершинної поверхні 4-го порядку, фіксує строкате розміщення моренних відкладів у пониженнях ділянках з від'ємними різницями. Вони зафіксовані на схилах периферійних зон району, зокрема в ярах Костянецький та Дунаєць, г. Княжої, с. Хмільної і Яблінів.

На напрямок руху льодовика вказують падіння складок-підкидів та абрис структурно-морфометричних карт, що вигнулися в південно-східному напрямку. Крім основних підкидів в дислокованому районі можна спостерігати безліч розривів та тріщин, підтвердженням цього є карта порядків долин та малюнок ущільнених ізоліній на побудованих картах.

Залишений льодовиком рельєф зазнав впливу ерозійних процесів. Утворилась розгалужена сітка балок, що спостерігається на картах різниці базисних поверхонь 3-х порядків. Від'ємні різниці відповідають пониженням ділянкам де відкладаються флювіогляціальні відклади, що фіксуються геологічними розрізами досліджуваної території (на прикладі яру Меланчиного Потоку).

В пізньому антропогені в умовах посушливого клімату відкладалися леси і лесовидні суглинки з викопними ґрунтами, мають повсюдне поширення, вкривають вододільні простори, схили і рівнини давніх терас. У межах дислокованої території розрізи їх неповні, що свідчить про акумулятивне вирівнювання з мінімальними висотами 100 м зафіксованих на морфометричних картах вершинних та базисних поверхонь 2-го порядку.

Піски входять до складу II надзаплавної тераси розташованої по обох бортах долин ріки, яка підвищується над рівнем Дніпра на 15-20 м і має абсолютні відмітки 95-100 м. Цю стадію формування району відслідковують морфометричні карти 2-х порядків.

Наступні епейрогенічні рухи в голоцені фіксують ерозійні процеси, що продовжуються до наших днів, створили глибокі яри, в яких наочно можна простежити історію формування Канівських гір. Ерозійні процеси на всіх етапах супроводжувались енергійною зсувною діяльністю, результати якої так характерні для Канівщини.

Висновок. Таким чином, аналіз структурно-морфометричних карт дозволив деталізувати новітню тектонічну еволюцію Канівських дислокацій, прослідкувати формування терасових рівнів долини Дніпра та Росі та зафіксувати зміну місцевого базису ерозії під впливом льодовикового фактору, під час формування лускуватонасувних структур. Була відтворена палеогляціологічна ситуація та режим розвитку глиняного діапіризму. Структурно-морфометричні дослідження дали можливість визначити характер співвідношень рельєфу з тектонікою району, відобразити взаємозв'язок екзогенних та ендегенних чинників, що вплинули на його розвиток.

Однією з перспектив досліджень є застосування методики для районів зі складною тектонічною будовою та для детального аналізу тектонічних структур з виявленням постадійної еволюції палеорельєфу впродовж всього новітнього етапу їхнього розвитку.

Список використаних джерел:

1. Іванік О.М., Тустановська Л.В. Застосування класичних методик структурно-морфометричного аналізу для реконструкції новітнього тектогенезу на основі ГІС / О.М. Іванік, Л.В. Тустановська // Вісник Київського університету. Геологія. – Вип. 53. – 2011. – С. 4-7.
2. Іванніков О.В. Геологія району Канівських дислокацій / О.В. Іванніков – К.: Наук. думка, 1966. – 96 с.
3. Китых В.И. Соляная тектоника Денепровско-Донецкой впадины / В.И. Китых – "Наукова думка" Киев – 1970. – 201 с.
4. Лаврушин Ю.А. Каневские дислокации / Лаврушин Ю.А., Чугунный Ю.Г. – М.: Наука, 1982. – 103 с.

5. Мкртчян О.С. Геоінформаційний аналіз просторових зв'язків морфометрії рельєфу із геологічною структурою (на прикладі західної частини вододільно-верховинських та полонинських Карпат) / Мкртчян О.С., Чупило Г.Р. // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2008. – С.167-178.

6. Палієнко Є.Т. Рельєф та геологічна будова Канівського Придніпров'я / Палієнко Є.Т., Мороз С.А., Куделя Ю.А. – К.: Вид-во Київського університету, 1971. – 96 с.

7. Проходський С.И. Применение морфометрического метода для анализа некоторых тектонических структур левобережья Украины / С.И. Проходський – В кн.: Морфометрический метод при геологических исследованиях. Изд-во Саратовского ун-та, 1963 а.

8. Тустановська Л.В. Еволюція рельєфу Канівського Придніпров'я на основі аналізу базисних та вершинних поверхонь / Л.В. Тустановська // Вісник Київського університету. Геологія. – Вип. 54. – 2011. – С. 11-15.

9. Тустановська Л.В. Модель еволюції рельєфоутворення Канівського Придніпров'я на основі структурної морфометрії / Л.В. Тустановська // Вісник Київського університету. Геологія. – Вип. 57. – 2012. – С. 5-8.

10. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур / В.П. Философов – Саратов, 1960.

11. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / В.П. Философов – Саратов, 1975.

12. Чернова И.Ю. Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС / Чернова И.Ю., Хасанов Д.И., Жарков И.Я. [и др.] // Arcreview. – №1 (32). – 2005.

Надійшла до редколегії 05.02.13

Л. Тустановская, соискатель

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

НЕОТЕКТОГЕНЕЗ КАНЕВСКОГО ПРИДНІПРОВ'Я НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОЇ МОРФОМЕТРИЇ

На основі структурно-морфометричних карт проаналізовано геологічне строення району Каневських дислокацій і просліджено їх неотектонічне розв'язання. Установлено головні фактори і стадійність морфогенезу, прямі і косвенні зв'язки між древніми і новими геологічними структурами і формами сучасного рельєфу, виявлено ряд локальних структур діалітного походження.

L. Tustanovska, PhD student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

NEOTECTONIC NEZ OF KANEVSKY PRIDNIPROVJA BASED ON STRUCTURAL MORPHOMETRY

The historical and geological structure of Kanevsky dislocations based on the analysis of structural and morphometric maps were retraced and confirmed. Analysis gave detailed maps to set phasic neotectonenezu, trace levels of terraced valleys of the Dnieper and. Identify large and small local structures, which are reflected in the forms of relief, enabling detailed luskuvato-sleeve structure Kanevsky dislocations. Establish direct and indirectly link between recent and more ancient geological structures of the modern forms of relief surface.

УДК 551.244

Т. Андрієць, асп.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СТРУКТУРНО-МОРОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГІРСЬКОГО РЕЛЬЄФУ (НА ПРИКЛАДІ КАРПАТСЬКОГО МОДЕЛЬНОГО ПОЛІГОНУ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. О.І. Лукієнком)

Наведено характеристику базових принципів структурно-морфометричного аналізу для дослідження новітнього тектогенезу. Продемонстровано можливість застосування класичної методики до гірських регіонів з використанням функціональних можливостей середовища ГІС (просторовий аналіз та моделювання). На прикладі Українських Карпат проведено визначення базових морфометричних характеристик рельєфу. Аналіз базисних поверхонь дозволив простежити особливості прояву в рельєфі локальних тектонічних структур, їх конфігурацію в плані на різних гіпсометричних рівнях.

Постановка проблеми. Вивчення неотектонічних процесів, а саме вертикальних і горизонтальних рухів земної кори, сейсмічності, що формують нові тектонічні та структури, які контролюють різноманітні корисні копалини, а також призводять до прояву екзогенних геологічних процесів, дає можливість не лише ґрунтовно теоретичного пізнання геологічного середовища, але має значну практичну цінність. Дані з геодинамічного розвитку земної кори неотектонічного та сучасного етапів важливі для інженерних робіт різного призначення, під час пошуків корисних копалин, для проведення моніторингу небезпечних геологічних процесів в природно-техногенних системах. Оскільки Українські Карпати – регіон з досить складною геологічною будовою та довготривалою історією розвитку, до сьогодні немає однозначних відповідей на питання просторового взаєморозташування тектонічних структур, розвитку цих структур в періоди тектономагматичної активізації, а саме в новітній час. Існують численні методи та методики, які вирішують ці питання, але характеризуються різним рівнем інформативності і достовірності. У зв'язку з цим актуальним є застосування структурно-морфометричного аналізу, розробленого В.П. Філософовим [3], який дозволяє з високим ступенем детальності досліджувати еволюцію розвитку рельєфу й проаналізувати етапи новітнього тектогенезу для різних регіонів, однак для Українських Карпат такі дослідження проводяться вперше.

Принципи застосування структурно-морфометричного аналізу для Українських Карпат. Вирішення питання динаміки тектонічних структур Карпат у неотектонічну епоху здійснювалось та проводиться зараз багатьма методами. Вивченню цієї проблеми присвячено велику кількість праць таких вчених, як І.Д. Гофштейн, В.Г. Кузнецова, П.М. Цись, В.І. Сомов, В.П. Палієнко та багато інших. За декілька десятиліть досліджень Карпат накопичено цінний матеріал, та разом з тим, сповнений гіпотез та протиріч, що стосуються часу початку неотектонічних процесів, періодів тектономагматичної активізації, глибинних тригерів цих процесів. Важливими питаннями залишаються вивчення просторових характеристик зон активізації, взаємодії з тектонічними структурами, амплітуд неотектонічних рухів та їх відображення в рельєфі території. Погляди більшості дослідників подібні лише в одному: неотектонічні рухи, що проявилися та проявляються в Карпатах, мають диференційований характер, наявні деформації різних типів. Однак питання, які стосуються вивчення етапності тектонічної еволюції, залишаються остаточно не вирішеними.

Як відомо, неотектоніка найбільш тісно пов'язана з геоморфогенезом, оскільки є головним "конструктором" рельєфу. В свою чергу, рельєф є інтегральною характеристикою прояву різноманітних ендегенних та екзогенних факторів, саме вивчення рельєфу слід застосовувати для дослідження неотектоніки та сучасних рухів земної

кори. Найбільш поширеними серед геоморфологічних методів є численна група морфометричних, направлених на вивчення геометричних властивостей земної поверхні шляхом створення математичної моделі рельєфу з наступною інтерпретацією. Геологічна інтерпретація спрямована на виявлення взаємозв'язків між геоморфологічними та неотектонічними процесами, між формами земної поверхні та тектонічними структурами, між висотами рельєфу, рухами та потужністю земної кори.

Метод структурної морфометрії ґрунтується на геофізичній основі, а саме на гравіметричних законах. Техніка використання методу пов'язана з картометрією та гірничою геометрією, результати яких інтерпретуються генетичною геоморфологією, геотектонікою та неотектонікою. За базову фізичну величину приймається геопотенціал, тобто елементарна робота на одиницю маси в полі сили тяжіння Землі [4]. Геопотенціал d_w пов'язується з висотою виразом і визначається як добуток

$$d_w = gdh_w \quad (1)$$

прискорення сили тяжіння g та елементарного переміщення за висотою dh_w . Внаслідок додавання цих елементарних змін геопотенціалу вздовж якогось окремого відрізка між крайніми точками можна визначити різницю геопотенціалів в цих точках шляхом інтегрування $\int gdh_w$. Якщо жодна з цих точок змінює своє положення але залишається на тій самій рівневій поверхні, величина інтегрування, тобто різниця геопотенціалів, у цих точках не зміниться. Чим складніша геологічна будова, тим більш неоднорідне гравітаційне поле, і очевидно, різноманітніший геопотенціал. З цього випливає, що саме геопотенціал має найбільш вагоме значення під час інтерпретації морфометричних показників. У результаті процеси ерозії, денудації та акумуляції також залежать від різниці геопотенціалів, а різниця геометричних висот входить як складова частина. Ці уявлення становлять методологічну основу всіх морфометричних побудов, що полягають в розкладанні рельєфу на рівневі поверхні з різними значеннями геопотенціалу. Положення рівневих поверхонь змінюється в результаті рухів земної кори, формування тектонічних структур, що призводить до процесів денудації та акумуляції, відповідно, чим більші значення градієнта між цими рівневими поверхнями, тим інтенсивніші ці процеси. В структу-

рній морфометрії такими рівневими поверхнями є карти базисних та вершинних поверхонь. Методика їх побудови продемонстрована на прикладі басейну річки Латориця, Українські Карпати.

В адміністративному відношенні територія досліджень охоплює Свалявський та Мукачівський райони Закарпатської області (складає близько 320 км²) і є частиною Карпатського геодинамічного полігону. В геологічному відношенні – це зона, що розмежовує Зовнішні та Внутрішні Карпати, і включає такі структурно-фаціальні одиниці: Магурський та Рахівський покрови, зони Мармароських та Пенінських скель, а також перекритий Вигорлат-Гутинським вулканічним пасмом Закарпатський прогин. Регіон характеризується динамічністю свого розвитку та складністю структурного плану. Підтвердженням сучасної активності є сейсмічність та значний розвиток небезпечних екзогенних процесів, таких як зсуви та селі.

Для аналізу рельєфу території використовуються топографічні карти масштабу 1:50 000 та 1:100 000. Всі побудови й аналітичні операції проводяться в середовищі ГІС, ArcGIS 9.3 (ESRI), що передбачають ряд етапів: 1. оцифрування топографічних карт регіону дослідження; 2. злиття відповідних аркушів та їх підгонка; 3. створення геореєстраційної бази даних, яка містить картографічну й атрибутивну інформацію щодо різнопорядкових долин та різногенетичних поверхонь рельєфу; 4. створення цифрової моделі рельєфу; 5. побудова серії морфометричних карт; 6. аналіз та інтерпретація ізолінійних та грид-поверхонь [1–2]. Побудова морфометричних карт починається з визначення на топографічній основі порядків долин та вододільних ліній за принципом подвоєння елементарних долин з наступним збільшенням порядку. Оскільки регіон має гіпсометричні відмітки більше 1000 м і розвинену ерозійну мережу, це дозволило виділити до шести порядків тальвегів та вододільних ліній, карти яких є основою для виконання наступних картометричних побудов (рис. 1). На основі отриманих карт порядків долин було побудовано базисні поверхні п'яти порядків, без урахування долин першого порядку через їх максимальну подібність до горизонталей на топографічній основі. Базисні поверхні – це сукупність складних кривих, що огинають поверхню, проведену через тальвеги долин, які є її остовом.

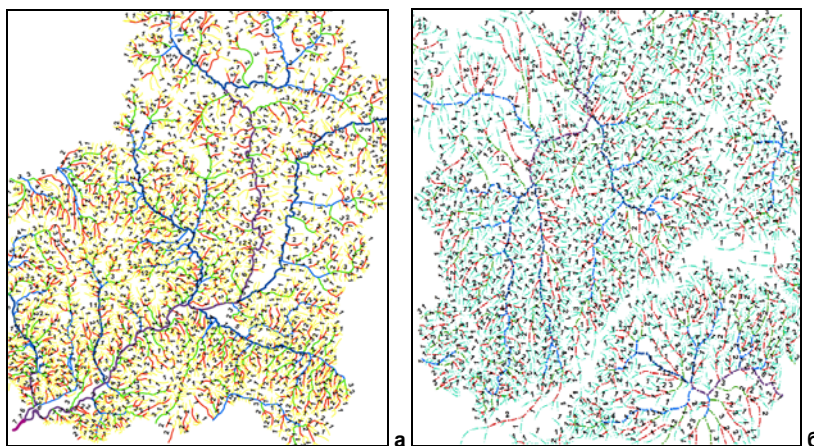


Рис. 1. Карти порядків долин (а) та вододільних ліній (б)

Ці поверхні можуть мати ізолінійне представлення та накладатися на геологічну, структурну чи карти геофізичних полів, що дає можливість паралельної інтерпретації рисунка ізобазит (рис. 2).

Також можна використовувати спеціалізовані модулі (3D Analyst и Spatial Analyst) для побудови отриманих поверхонь у вигляді TIN-, RASTR-моделей (рис. 3). TIN-моделі дозволяють розглядати поверхні в 3D просторі як об'ємні тіла [5].

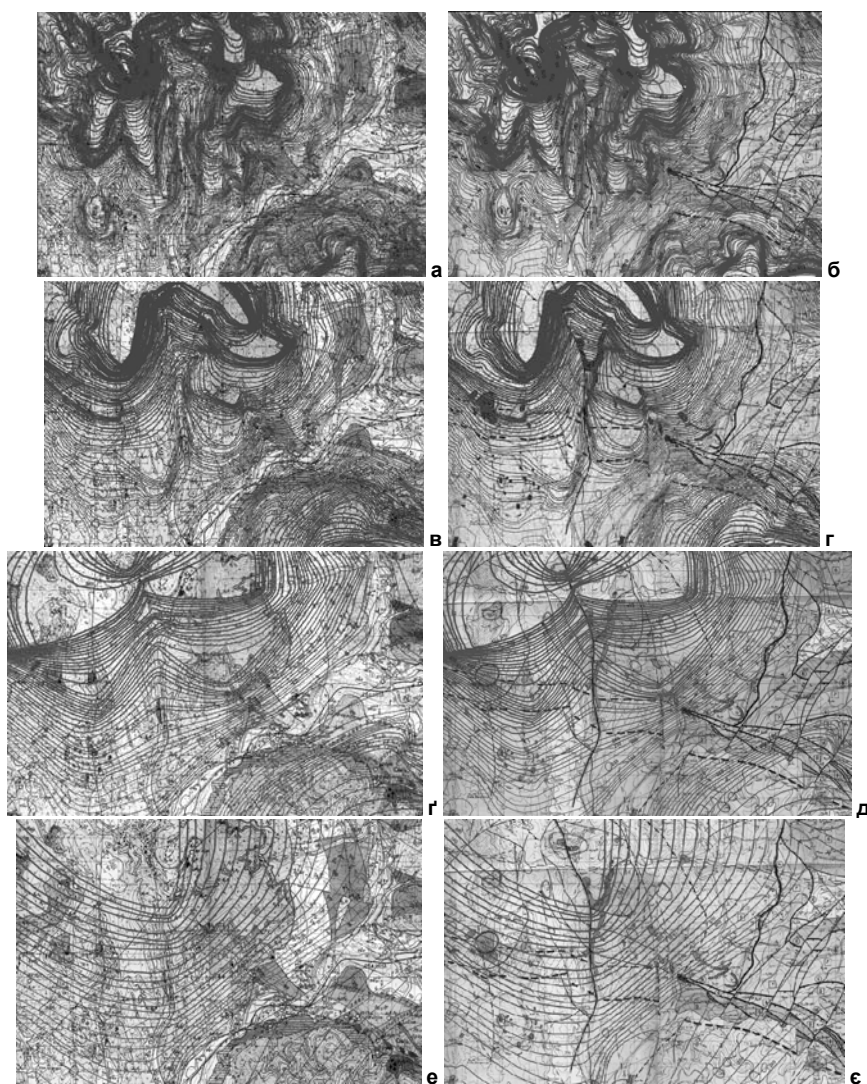


Рис. 2. Фрагменти ізолінійних карт базисних поверхонь, накладених на геологічну та структурно-тектонічну схеми: базисна поверхня 2-го порядку з геологічною (а) та структурно-тектонічною (б) схемами; базисна поверхня 3-го порядку з геологічною (в) та структурно-тектонічною (г) схемами; базисна поверхня 4-го порядку з геологічною (г) та структурно-тектонічною (д) схемами; базисна поверхня 5-го порядку з геологічною (е) та структурно-тектонічною (є) схемами

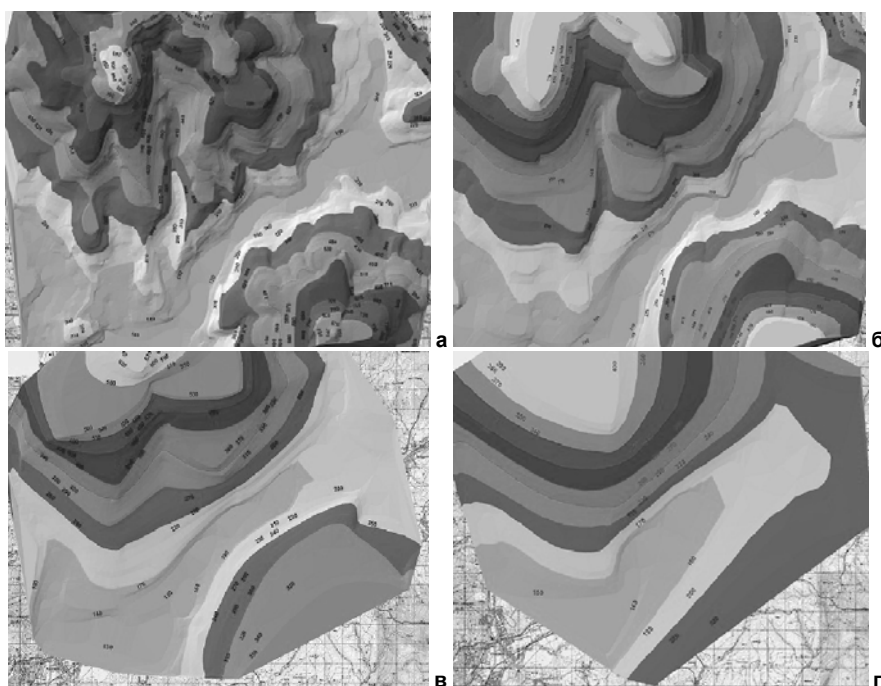


Рис. 3. TIN-моделі базисних поверхонь другого (а), третього (б), четвертого (в) та п'ятого (г) порядків

Після співставлення цих поверхонь з геологічною та структурно-тектонічною картами (рис. 2) встановлено ряд закономірностей. По-перше, рисунок та форма ізобазит з 2-го по 6-й порядок базисних поверхонь мають суттєві відмінності. Якщо врахувати той факт, що форми базисних поверхонь різних поверхонь змінюються внаслідок зміни напрямку чи інтенсивності тектонічних рухів у результаті перебудови долинних систем, можна припустити про неодноразову зміну тектонічних режимів на території. По-друге, відмічено відповідність рисунків ізобазит геологічним формаціям. Чітко проглядаються обриси стратовулканів Синяк (північний захід) та Борлів Діл (південь) на різних гіпсометричних рівнях від 2-го до 4-го порядків базисних поверхонь. Слід зазначити, що на карті базисної поверхні 5-го порядку проглядається лише кільцева структура стратовулкану Синяк, ізобазити на місці просторового положення вулкану Борлів Діл більш виположені. З цього можна припустити, що стратовулкан Синяк за віком утворення більш давній. Загалом спостерігається певна закономірність: чим менший порядок базисної поверхні, тим детальніше форми ізобазит описують геологічні тіла в плані, і навпаки, чим вищий порядок поверхонь, тим більш суттєві відмінності в рисунках ізобазит. Ці розбіжності можна пояснити тим, що базисні поверхні високих порядків (5-го та 6-го) наближаються за формою до рівневої поверхні і відображають розподіл мас в земній корі і верхній мантії та значення геопотенціалу, яке було на території до зміни тектонічного режиму. По-третє, аналізуючи характер ізобазит, були виявлені місця їх згущення чи розходження, а також лінійно-витягнуті ділянки, які в просторі збігаються з розломами та дислокаційними структурами.

Висновки. Визначення основних принципів та методологічних основ структурно-морфометричного аналізу дало можливість застосувати класичну методіку структурної морфометрії для вивчення гірського рельєфу Українських Карпат, а також адаптувати її до середовища ГІС з використанням функціональних можливостей просторового аналізу та моделювання. Проведені дослідження підтверджують взаємозв'язок рельєфу з геологічною та структурно-тектонічною будовою і дають можливість поетапно прослідкувати його еволюцію з виявленням локальних тектонічних структур та геодинамічних обстановок в неотектонічну епоху в межах Карпатського модельного полігону. Оскільки рельєф виступає інтегральним відображенням неотектонічних рухів, процесів денудації, акумуляції, а також локальних геологічних факторів, його вивчення є основою для прогнозування небезпечних геологічних процесів.

Список використаних джерел

1. Іванік О. Застосування класичних методик структурно-морфометричного аналізу для реконструкції новітнього тектогенезу на основі ГІС / О. Іванік, Л. Тустановська // Вісник Київського національного університету. Серія геологічна. – 2011. – Вип. 53. – С. 4–7.
2. Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС [Электронный ресурс] / И. Ю. Чернова, Д. И. Хасанов, И. Я. Жарков [и др.] // Arcview. – 2005. – № 1 (32). – Режим доступа до журн.: http://esricis.ru/news/arcview/detail.php?ID=1833&SECTION_ID=49.
3. Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур / В.П. Философов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1960. – 93 с.
4. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / В.П. Философов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 232 с.
5. Хромых В. В. Цифровые модели рельефа: учебное пособие / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 178 с.

Надійшла до редколегії 13.02.13

Т. Андриец, асп.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРУКТУРНО-МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА (НА ПРИМЕРЕ КАРПАТСКОГО МОДЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА)

Приведена характеристика базовых принципов структурно-морфометрического анализа для исследований новейшего тектогенеза. Продемонстрирована возможность применения классической методики для горных областей с использованием функциональных возможностей среды ГИС (пространственного анализа и моделирования). На примере Украинских Карпат проведены исследования по определению главных морфометрических характеристик рельефа. Анализ базисных поверхностей позволил проследить особенности проявления в рельефе локальных тектонических структур, их конфигурацию в плане на разных гипсометрических уровнях.

T. Andriets, PhD student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF STRUCTURAL AND MORPHOMETRIC ANALYZES OF MOUNTAIN RELIEF (CASE STUDY FROM CARPATHIAN MODELING POLYGON)

Consideration is given to the structure-morphometric analysis base principles for the latest tectogenesis studying. The possibility of classic technique application for mountain regions in using GIS-technologies (Spatial Analysis and Spatial Modeling) has been shown. Initial stages determination morphometric relief indexes by example the Ukrainian Carpathians have been carried out. Basic surfaces analysis is permitted to observe local tectonic structures in relief and their configuration on difference hypsometric levels.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.83:552.1:537

С. Вижва, д-р геол. наук, Д. Онищук, асп.,

В. Онищук, канд. геол. наук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка Київ

ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНА МОДЕЛЬ ОСНОВНИХ ТИПІВ ПОРІД КЕМБРІЮ ВОЛОДИМИРСЬКОЇ ПЛОЩІ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук, с.н.с. І.М. Безродною)

Розглянуто результати та особливості методики петроелектричних досліджень при вивченні складнопобудованих теригенних та карбонатних колекторів. Наведено результати визначення електричних параметрів та їх зв'язок з емпіричними властивостями пісковиків, вапняків та доломітів кембрію Володимирської площі Волино-Поділля. Побудовані їх петроелектричні моделі.

Вступ. Кореляційні зв'язки між емпірично-фільтраційними характеристиками і даними свердловинних та

польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення. Комплексні лабораторні

© Вижва С., Онищук Д., Онищук В., 2013

петрофізичні досліджень є основою для визначення цих зв'язків. При цьому одним із найбільш інформативних параметрів при визначенні геоелектричних властивостей гірських порід є питомий електричний опір (ρ). Цей параметр визначається: речовинним складом та текстурою породи; структурою ємнісного простору; її нафто-, газо- та водонасиченістю; коефіцієнтом пористості; мінералізацією пластових вод; температурою та тиском [1-8].

Метою даних досліджень було розробка та створення петроелектричних моделей порід-колекторів, як основи комплексного аналізу їх електричних параметрів та зв'язків з ємнісно-фільтраційними властивостями. Визначення питомого електричного опору порід-колекторів виконується для уточнення меж його зміни для окремих типів і груп порід; виділення окремих стратиграфічних горизонтів, розрізів та фацій; встановлення характеру залежності його від мінерального складу, структури порового простору, співвідношення фаз речовини, частоти і напруженості електричного поля; виявлення характеру зміни електричного опору при епігенетичному перетворенні та метаморфічних змінах гірських порід.

Матеріали, отримані в результаті лабораторних досліджень про зміни питомого електричного опору порід, використовуються при інтерпретації результатів електрометричних методів досліджень свердловин та польової електророзвідки.

В статті представлені результати та особливості лабораторних петроелектричних досліджень пісковиків, вапняків та доломітів кембрію перспективної на вуглеводні Володимирської площі (свердловини Володимирська-1 та Володимирська-2, інтервал 1190–2520 м). Площа розташована в північній частині східного борту Львівського палеозойського прогину Волино-Подільського закінчення Східноєвропейської платформи.

Породи з дослідженого інтервалу представлені відкладами кембрію – переважно різнозернистими пісковиками, вапняками та доломітами.

Експериментальні дослідження. Комплекс експериментальних лабораторних досліджень включав визначення: густини досліджених порід (сухих та насичених моделлю пластової води); відкритої пористості (ме-

тодами насичення азотом та моделлю пластової води); коефіцієнта залишкового водонасичення (методом центрифугування); проникності (методом стаціонарної фільтрації азоту); інтервального часу (швидкості по-вздожних пружних хвиль) та питомого електричного опору. В процесі лабораторних робіт визначався питомий електричний опір зразків порід при різних умовах (сухі, неповністю та повністю насичені розчином-імітатором пластового флюїду) в атмосферних умовах, а також в умовах наближених до пластових.

Лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків керну виконані при температурі 20°C за допомогою цифрового тераомметра С.А 6547, який дозволяє виконувати високоточні вимірювання електричного опору в діапазоні від 10 кОм до 10 ТОм з цифровим записом на ЕОМ за спеціальною програмою на постійному струмі по двохелектродній схемі [4-7]. Для вимірювання зразків, насичених розчином NaCl ($M=30$ г/л) застосовувався, RCL-метр МНС-1100. Циліндричні зразки для вимірювання розташовувались у спеціальному кернотримачі з електродами, що не поляризуються, які виготовлені із спеціальної графітізованої гуми. З метою визначення залежності петрофізичних параметрів від ступеню водонасиченості (а отже газонафтонасиченості) порід виконані дослідження зміни питомого електричного опору при відгонці води на центрифугу ОС-6М. Петроелектричні дослідження при центрифугуванні виконувались шляхом серії вимірювань електричного опору насичених зразків моделлю пластової води: до центрифугування та після центрифугування при режимах відгонки від 1000 до 6000 об/хв з кроком 1000 об/хв, тиск витіснення води змінюється від 0,2 до 1,00 МПа (7 циклів вимірювань). Паралельно визначались коефіцієнт водонасичення та швидкість пружних хвиль. Середня відносна похибка визначення електричного опору склала 2,4 %.

Аналіз даних. У результаті виконаних лабораторних петрофізичних досліджень визначено фільтраційно-ємнісні та електричні параметри основних типів порід межі змін яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фільтраційно-ємнісні та електричні параметри основних типів порід

№ з-п	Порода	Вік	Значення параметра	Густина, кг/м ³		Відкрита пористість, %		Проникність, фм ²	Коеф. залишк. водонас.	Питомий електричний опір, Ом·м		Відносний опір
				сухі	насич. NaCl	азот	насич. NaCl			сухі	нас. NaCl	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Вапняки	Є	min	2661	2673	0,01	0,002	0,001	0,03	131110	50,5	143,9
2	Вапняки	Є	max	2699	2704	0,025	0,013	3,479	0,67	6588358	72,9	207,6
3	Вапняки	Є	серед	2690	2695	0,016	0,006	0,442	0,269	1423156	66,2	188,6
4	Доломіти	Є	min	2690	2694	0,017	0,005	0,001	0,3	146508	28,7	81,7
5	Доломіти	Є	max	2845	2854	0,046	0,038	0,002	0,65	24441890	69,8	198,7
6	Доломіти	Є	серед	2753	2766	0,026	0,017	0,001	0,41	6411826	54,6	155,6
7	Пісковики	Є	min	2116	2222	0,054	0,044	0,005	0,27	51610	7,2	20,4
8	Пісковики	Є	max	2486	2526	0,13	0,116	1,067	0,86	11127988	30	85,5
9	Пісковики	Є	серед	2290	2361	0,089	0,077	0,139	0,71	3647329	15,5	44,1

За результатами лабораторних вимірювань встановлено, що значення питомого електричного опору виміряні на сухих екстрагованих зразках (питомий електричний опір мінерального скелету) змінюється від 51610 (пісковики) до 24441890 Ом·м (доломіти) при середньому значенні 3827440 Ом·м. При цьому спостерігаються значні варіації значень питомого опору зразків, що пояснюється неоднорідностями в текстурі порід (наявність глинистих і піщаних прошарків та їх невпорядкованість). Питомий електричний опір зразків порід насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl) змінюється від 7,2 (пісковики) до 73 Ом·м (вапняки) при середньому значенні 45 Ом·м.

За матеріалами виконаних лабораторних досліджень побудовані кореляційні залежності (рис. 1а, 1б, 1в) між коефіцієнтом пористості (k_p) і відносним електричним опором (P) типу $P = a \cdot k_p^{-m}$ – рівняння Арчі-Дахнова для пісковиків, вапняків та доломітів, відповідно, де a – постійний коефіцієнт, m – структурний показник.

Визначені рівняння Арчі-Дахнова мають вигляд: $P = 1,675 \cdot k_p^{-1,224}$ при $R^2=0,835$ (пісковики), $P = 41 \cdot k_p^{-0,273}$, при $R^2=0,77$ (вапняки), $P = 37,6 \cdot k_p^{-0,33}$, $R^2=0,74$ (доломіти), де $P = \rho_{\text{пв}}/\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{пв}}$ – питомий електричний опір повністю водонасичених порід, $\rho_{\text{в}}$ – питомий електричний опір пластової води.

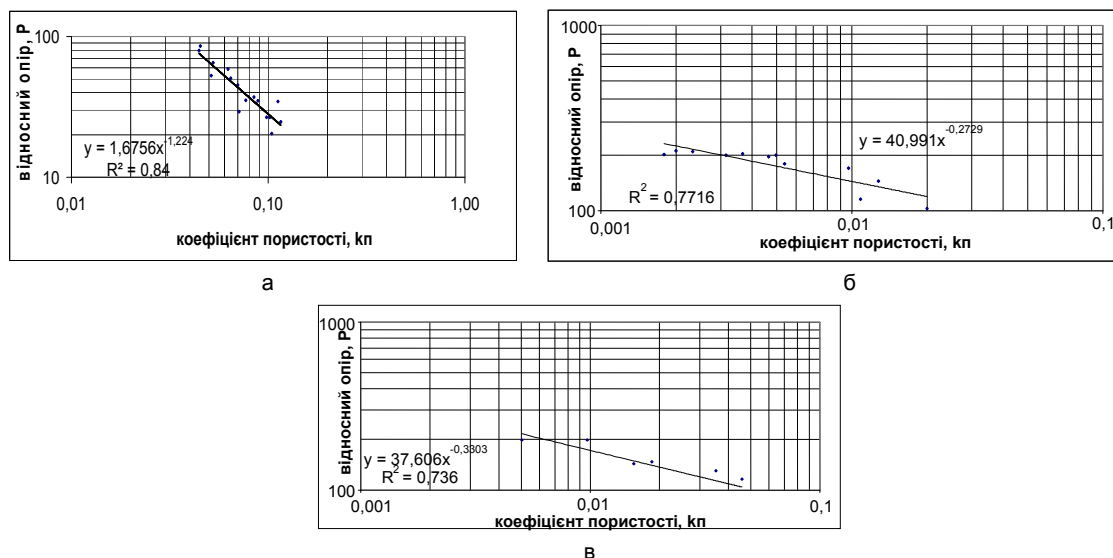


Рис. 1. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_p) і відносним електричним опором (P) – рівняння Арчі-Дахнова (лабораторні умови): а – пісковики, б – вапняки, в – доломіти

У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що пісковики мають діапазон зміни відносного електричного опору від 20,4 до 85,5 при середньому значенні 44,1. Відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості складає від 0,089 до 0,116 при середньому значенні 0,077. Для вапняків діапазон зміни відносного електричного опору складає від 143,9 до 207,6 при середньому значенні 188,6, а коефіцієнта пористості – від 0,002 до 0,015 при середньому значенні 0,008. Для доломітів діапазон зміни відносного електричного опору складає від 81,7 до 198,7 при середньому значенні 155,6, а коефіцієнта пористості – від 0,005 до 0,038 при середньому значенні 0,017.

Для вапняків та доломітів Володимирської площі, коефіцієнт a складає, відповідно, 41 і 36,6, а структурний показник m – 0,273 і 0,33, тобто досить близькі між собою. Для пісковиків Володимирської площі, коефіцієнт a складає, 1,675, а структурний показник m – 1,124, що різко відрізняються від значень для попередніх порід.

У процесі експериментальних лабораторних досліджень на центрифугі ОС-6М та статистичного аналізу даних петроелектричних вимірювань встановлені кореляційні залежності типу $P_H = b \cdot k_e^{-n}$ – параметра збільшення електричного опору (P_H) від коефіцієнта водонасичення (k_e) для досліджених порід. Кореляційні залежності мають вигляд: для пісковиків (P_H) – $P_H = 1,067 \cdot k_e^{-0,925}$, при $R^2=0,82$, для вапняків залежність має вигляд: (P_H) – $P_H = 1,09 \cdot k_e^{-0,86}$, при $R^2=0,82$; для доломітів залежність виглядає як: (P_H) – $P_H = 1,003 \cdot k_e^{-0,864}$, при $R^2=0,79$ де – $P_H = \rho_{нв}/\rho_{пв}$, $\rho_{нв}$ – питомий електричний опір неповністю водонасичених порід, $\rho_{пв}$ – питомий електричний опір повністю водонасичених порід. Ці кореляційні залежності наведені на рис. 2а, 2б та 2в.

Аналіз отриманих даних показує, що пісковики мають діапазон зміни параметра збільшення електричного опору від 1 до 3,24 при середньому значенні 1,24. Відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта водонасичення складає від 1 до 0,29 при середньому значенні 0,88. Для вапняків діапазон зміни P_H складає від 1 до 7,19 при середньому значенні 2,24, а коефіцієнта водонасичення – від 1 до 0,15 при середньому значенні 0,6; для доломітів діапазон зміни P_H складає від 1 до 2,76 при середньому значенні 1,44, а відповідний цьому діапазону коефіцієнт водонасичення змінюється від 1 до 0,33 при середньому значенні 0,72.

Слід відмітити, що для досліджених порід коефіцієнт b в кореляційному рівнянні типу $P_H = b \cdot k_e^{-n}$, що виражає зв'язок між коефіцієнтом водонасичення і параметра збільшення електричного опору, змінюється від 1,003 (доломіти) до 1,09 (вапняки), а показник змочуваності n від 0,86 (вапняки) до 0,925 (пісковики). За цими параметрами досліджені породи мало диференційовані.

З метою оцінки питомого електричного опору порід в пластових умовах виконані комплексні дослідження на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1000 при зміні тиску від атмосферного до 59 МПа. У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що внаслідок закриття мікротріщин та деформації порового простору електричний опір порід зростає із збільшенням тиску. Визначено залежність середнього значення коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q) від тиску (p) для пісковиків та вапняків, що виражається поліномами 3 і 4 порядку:

$$Q = 1 \cdot 10^{-5} p^3 - 13 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 5,9 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0,9993, \text{ при } R^2=0,99 \text{ (пісковики),}$$

$$Q = -8 \cdot 10^{-6} \cdot p^4 + 9 \cdot 10^{-4} \cdot p^3 - 3,06 \cdot 10^{-2} \cdot p^2 + 4,045 \cdot p + 0,3645, \text{ при } R^2=0,97 \text{ (вапняки).}$$

Графіки цих залежностей представлені на рис. 3а та рис. 3б.

Аналіз отриманих даних показує, що пісковики мають діапазон зміни коефіцієнта збільшення опору від 1 до 2,12 при збільшенні всебічного тиску від атмосферного до 59 МПа. Для вапняків діапазон зміни коефіцієнта збільшення опору складає від 1 до 7,7 при збільшенні всебічного тиску від атмосферного до 49 МПа.

Розгляд графіків цих залежностей дозволяє виділити три ділянки з різним характером зміни питомого електричного опору. На 1 ділянці в діапазоні зміни тиску від атмосферного до 24,5 МПа спостерігається досить значний ріст коефіцієнта збільшення опору, для пісковиків – до 1,8. Цей процес може бути викликаний інтенсивним закриттям мікротріщин, що зменшує канали провідності. Наступний діапазон зміни тиску від 24,5 до 44 МПа характеризується деякою стабілізацією зміни електричного опору. При цьому коефіцієнт збільшення опору змінюється від 1,8 до 2 для пісковиків. У діапазоні

зміни тиску від 44 до 59 МПа спостерігається ріст коефіцієнта збільшення опору з меншою інтенсивністю ніж у першому діапазоні, але з більшою ніж у другому. Процес повільного росту коефіцієнта збільшення опору в 2 та 3 діапазонах (ділянках) може бути викликаний порівняно меншими (ніж у першому діапазоні) деформаціями порового простору, що ускладнює та перериває канали провідності. Для вапняків на 1 ділянці (тиск зростає від

атмосферного до 9,8 МПа) коефіцієнт збільшення опору змінюється від 1 до 2. В інтервалі зміни тиску від 9,8 до 29 МПа спостерігається деяка стабілізація зміни електричного опору. При збільшенні тиску понад 30 МПа відбувається різке збільшення коефіцієнта збільшення опору (до 7,7 при тиску 59 МПа), що ймовірно пов'язано з різким закриттям основних тріщин відповідальних за електричну провідність.

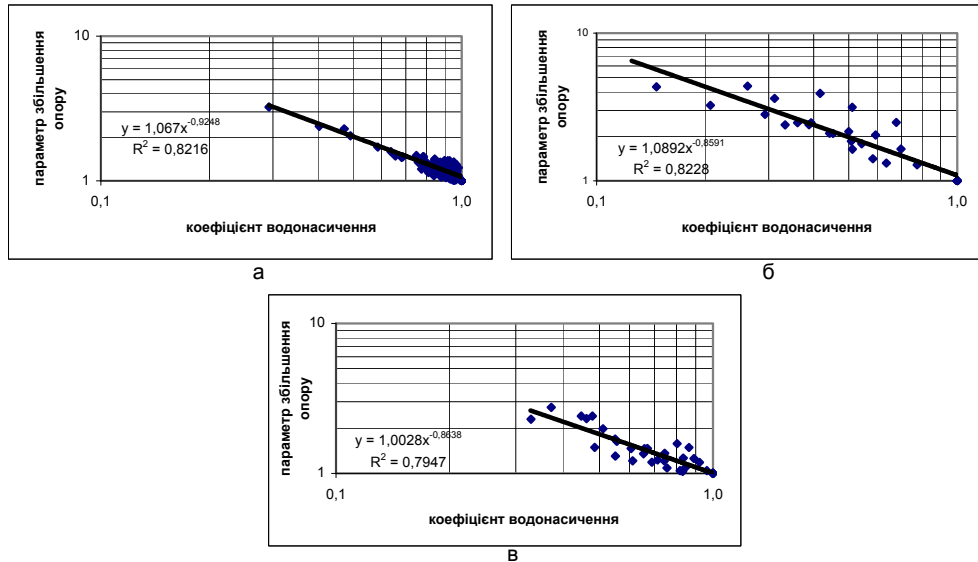


Рис. 2. Кореляційна залежність між коефіцієнтом водонасичення (k_v) та параметром збільшення електричного опору (P_n): а – пісковики, б – вапняки, в – доломіти

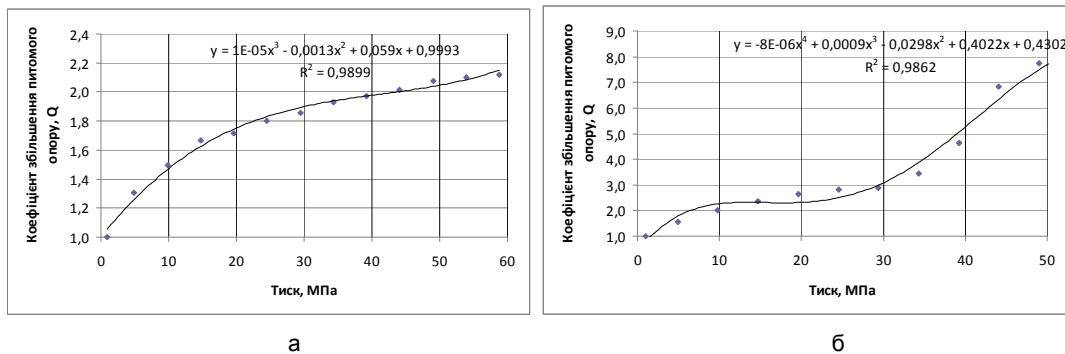


Рис. 3. Кореляційна залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q) від тиску (p): а – для пісковиків, б – для вапняків

Отримані дані при вимірюваннях питомого електричного опору під тиском дали можливість оцінити його значення для досліджених порід в пластових умовах. За матеріалами петроелектричних досліджень при високих тисках встановлена залежність між коефіцієнтом

пористості ($k_{n,пл}$) та параметром пористості ($P_{пл}$) в пластових умовах. Визначене рівняння Арчі-Дахнова для пісковиків кембрію має вигляд (рис. 4): $P_{пл} = 1,365 \cdot k_{n,пл}^{-1,519}$, при $R^2 = 0,92$.

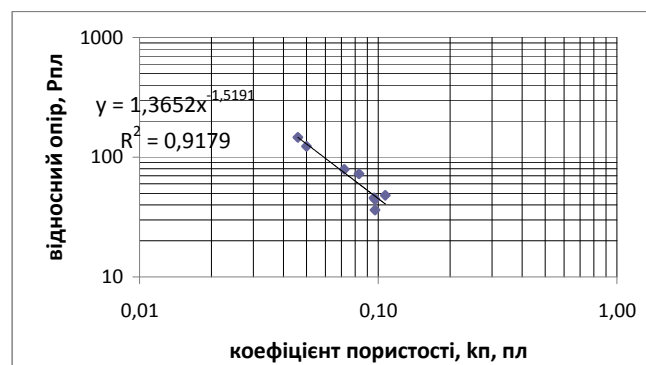


Рис. 4. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{n,пл}$) та параметром пористості ($P_{пл}$) в пластових умовах для пісковиків кембрію

Для оцінки електричної анізотропії виконані вимірювання електричного опору за "напластуванням" і вхрест "напластування". Коефіцієнт електричної анізотропії λ визначався за допомогою формули: $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_l}}$, де ρ_n , ρ_l – питомий електричний опір вхрест і за "напластуванням", відповідно.

У результаті аналізу отриманих даних визначено, що коефіцієнт анізотропії сухих екстрагованих пісковиків змінюється від 1,01 до 1,09 при середньому значенні 1,05. Коефіцієнт анізотропії пісковиків, насичених роз-

чином NaCl, змінюється від 1,05 до 1,18 при середньому значенні 1,12.

Комплексний аналіз сукупності петрофізичних даних був основою при визначенні петроелектричних моделей різнозернистих пісковиків, вапняків та доломітів. Петроелектрична модель у даній роботі представлена у вигляді геоелектричної інформації та кореляційних залежностей між петроелектричними параметрами та фізичними властивостями досліджених порід Володимирської площі, що зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Петроелектричні моделі порід (свердловини Володимирська-1 та Володимирська-2, інтервал 1190–2520 м) Володимирської площі

№ з/п	Петроелектричний параметр/ Кореляційна залежність	Межі зміни параметра (середнє)/ Кореляційне рівняння (коэф. кореляції)		
		Пісковики	Вапняки	Доломіти
1	2	3	4	5
1	Питомий електричний опір сухих порід	51610 – 11127988 (3647330)	131110 – 6588360 (1423160)	146510 – 24441890 (6411830)
2	Питомий електричний опір порід, насичених моделлю пластової води	7,2 – 30 (17,6)	50,5 – 72,9 (63,2)	28,7 – 69,8 (51)
3	Відносний електричний опір (P) при лабораторних умовах	20,4 – 85,5 (50)	143,9 – 207,6 (180)	81,7 – 198,7 (145)
4	Відносний електричний опір ($P_{пл}$) при пластових умовах	36–146 (75)	-	-
5	Залежність Арчі-Дахнова (лабораторні умови)	$P = 1,675 \cdot k_{II}^{-1,224}$ при $R^2=0,835$	$P = 41 \cdot k_{II}^{-0,273}$ при $R^2=0,77$	$P = 37,6 \cdot k_{II}^{-0,33}$ при $R^2=0,74$
6	Залежність Арчі-Дахнова (пластові умови)	$P_{пл} = 1,365 \cdot k_{II,пл}^{-1,519}$ при $R^2=0,92$	-	-
7	Коефіцієнт електричної анізотропії сухих екстрагованих порід	1,01 – 1,09 (1,05)	-	-
8	Коефіцієнт електричної анізотропії порід, насичених моделлю пластової води	1,05 – 1,18 (1,12)	-	-
9	Параметр збільшення електричного опору (P_n)	1 – 3,24 (1,24)	1 – 7,19 (2,24)	1 – 2,76 (1,44)
10	Кореляційна залежність між коефіцієнтом водонасиченості (k_g) та параметром збільшення електричного опору (P_n)	$P_H = 1,067 \cdot k_g^{-0,925}$ при $R^2=0,82$	$P_H = 1,09 \cdot k_g^{-0,86}$ при $R^2=0,82$	$P_H = 1,003 \cdot k_g^{-0,864}$ при $R^2=0,79$
11	Кореляційна залежність коефіцієнта збільшення питомого опору порід (Q) від тиску (p)	$Q = 1 \cdot 10^{-5} p^3 - 13 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 5,9 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0,9993$ при $R^2=0,99$	$Q = -8 \cdot 10^{-6} \cdot p^4 + 9 \cdot 10^{-4} \cdot p^3 - 3,06 \cdot 10^{-2} \cdot p^2 + 4,045 \cdot p + 0,3645$ при $R^2=0,97$	-
12	Коефіцієнт збільшення електричного опору при збільшенні всього тиску від атмосферного до 59 МПа	1 – 2,12	1 – 7,7	-

Висновки. Аналіз наведених даних свідчить про те, що електрометричні методи є потужним засобом як лабораторних так і польових досліджень, досить ефективні і надають широку та цінну інформацію про властивості порід. Петроелектричні дослідження займають важливе місце у петрофізичному комплексі і широко застосовуються при вивченні фізичних властивостей гірських порід і руд з метою встановлення їх складу, структури і стану при вирішенні різноманітних завдань при пошуках і розвідці родовищ корисних копалин, особливо у нафтовій геології.

У процесі експериментальних лабораторних досліджень вивчені петроелектричні параметри основних типів порід кембрію Володимирської нафтогазоперспективної площі, встановлені емпіричні кореляційні залеж-

ності між петроелектричними параметрами та ємкісно-фільтраційними властивостями пісковиків, вапняків та доломітів, що слугують основою геологічної інтерпретації геофізичних даних. Ці залежності апроксимуються степеневую функцією.

На базі комплексного аналізу виконаних петроелектричних досліджень всієї наявної геолого-геофізичної інформації визначено петроелектричні моделі пісковиків, вапняків та доломітів. Аналіз розроблених петроелектричних моделей пісковиків, вапняків та доломітів кембрію показує, що вони суттєво розрізняються за електричними параметрами. Впровадження таких моделей для різних типів порід може бути цінним інструментом петрофізичних досліджень. У подальшому комплекс петроелектричних досліджень гірських порід ра-

ціонально було б доповнити вивченням діелектричної проникності, тангенса кута діелектричних втрат порід-колекторів, оцінити інформативність геоелектричних параметрів, що контролюють зміни електричного опору сухих екстрагованих зразків з часом при пропусканні постійного струму та встановити кореляційні залежності їх з даними геофізичних досліджень свердловин.

Список використаних джерел

1. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. – Москва: Недра, 1975. – 343 с.
2. Вижва С.А. Петроелектричні дослідження керну свердловини Чорноморського шельфу / С.А. Вижва, М.В. Рева, А.П. Гожик, В.І. Онищук, І.І. Онищук // Вісник Київського університету. Геологія. – 2008. – № 44 – С. 4–8.

С. Вижва, д-р геол. наук, Д. Онищук, асп., В. Онищук, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНА МОДЕЛЬ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОРОД КЕМБРИЯ ВЛАДИМИРСКОЙ ПЛОЩАДИ ВОЛЫНО-ПОДОЛЬЯ

Рассматриваются особенности методики и результаты петроелектрических исследований при изучении сложнопостроенных терригенных коллекторов. Приведены результаты определения электрических параметров и их связь с емкостными свойствами песчаников, известняков и доломитов Владимирской площади Волыно-Подолья. Построены их петроелектрические модели.

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), D. Onyshchuk, PhD student., V. Onyshchuk, Cand. Sci. (Geol.)
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

PETROELECTRICAL MODEL OF MAIN TYPES OF CAMBRIAN ROCKS FROM VOLODYMYRSKA AREA OF VOLYNO-PODOLIA

The features of technique and results of petroelectrical investigation of complex-structured terrigenous and carbonate reservoirs are considered. As well results of determination of electric data and their connection with capacity properties of sandstones, limestones and dolomites (Cambrian) from Volodymyrska area of Volyno-Podolia are cited in this article. Their petroelectrical models are created.

УДК 550.344

Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, А. Павлова, асп.
Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ В ЗАДАЧАХ ПОШИРЕННЯ СЕЙСМІЧНИХ ХВИЛЬ В ШАРУВАТИХ АНІЗОТРОПНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводою)

Наведено теорію поширення сейсмічних хвиль в анізотропному середовищі з використанням матричного методу Томсона-Хаскела. Шляхом введення хвильового пропагатора показано матричний формалізм для отримання поля переміщень на вільній поверхні шаруватого анізотропного півпростору. Апробацію запропонованої методики показано шляхом порівняльного аналізу хвильових форм, які отримано DSM методом, рефлексивним та FCT методами, а також методом скінчених різниць.

Вступ. Задачі математичного моделювання хвильових полів в шаруватих анізотропних середовищах залишаються актуальними. За допомогою результатів моделювання розповсюдження фронтів сейсмічних хвиль в анізотропних середовищах можна прогнозувати динамічні властивості пружних середовищ, а також враховувати вплив анізотропії в задачах інверсії щодо визначення параметрів джерела. Існує достатньо методів для вирішення таких задач, які достатньо ефективно використовуються в геофізиці, в тому числі в сейсмології [6]. Відомими є матричний, рефлексивний і променевий методи, а також чисельні методи, зокрема метод скінчених елементів та метод скінчених різниць [1, 2, 4, 5, 8, 9, 15, 16, 17]. Матричний метод та його модифікації, які використовуються для моделювання процесів поширення сейсмічних хвиль як для ізотропних, так і для анізотропних середовищ є досить зручними і мають цілу низку переваг перед іншими підходами. Як переваги так і недоліки матричного методу добре представлено в роботах [1, 3, 4, 7, 10, 14].

Авторами даної роботи запропоновано використання матричного методу Томсона-Хаскела для побудови поля переміщень на вільній поверхні анізотропного середовища. Для використання матричного методу приведемо такі судження. Дане середовище промодельо-

3. Вижва С.А. Петроелектричні дослідження керну складнопобудованих порід-колекторів / С.А. Вижва, М.В. Рева, А.П. Гожик, В.І. Онищук, І.І. Онищук // Вісник Київського університету "Геологія". – 2010. – №50. – С. 4–7.

4. Вижва С.А. Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища / С.А. Вижва, Д.І. Онищук, В.І. Онищук // Вісник Київського університету "Геологія". – 2012. – №57. – С. 13–16.

5. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. – Москва: Наука, 1965. – 164с.

6. Петрофизика: [справочник. / под ред. Н.Б. Дортман]. Ч. 1. – Москва: Недра, 1992. – 391с.

7. Петрофизика: [справочник. / под ред. Н.Б. Дортман]. Ч. 2. – Москва: Недра, 1992. – 304с.

8. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика. – Москва: Недра, 1984. – 455 с.

Надійшла до редколегії 15.02.13

ване пачкою однорідних анізотропних шарів із паралельними границями. Джерело сейсмічних хвиль розглядається як точкове у просторі, але розподілене в часі і представлено довільно-орієнтованою силою або сейсмічним тензором (дев'ять пар сил). Вважаємо, що на границях між шарами виконуються умови жорсткого контакту (неперервність переміщень і напружень). Денна поверхня є вільною від напружень. Джерело хвиль розміщено всередині ізотропного шару на визначеній глибині $z=z_0$. Вважаємо також, що хвилі із нижнього півпростору ($n+1$) не повертаються (умова випромінювання). Таке представлення точкового джерела достатньо відоме і ефективно для моделювання поширення сейсмічних хвиль в шаруватому півпросторі [3].

У даній роботі розвинуто модифікацію матричного методу і показано його апробацію. Як результат ефективного використання запропонованого підходу, здійснено порівняльний аналіз синтетичних сейсмограм, отриманих за методом із результати, які обчислено іншими авторами в статтях [12, 13, 18].

Теорія. Виведемо матричні співвідношення для поля переміщень на вільній поверхні анізотропного середовища, використовуючи метод матричного пропагатора, коли фізичні параметри змінюються тільки в напрямку осі z (рис. 1).

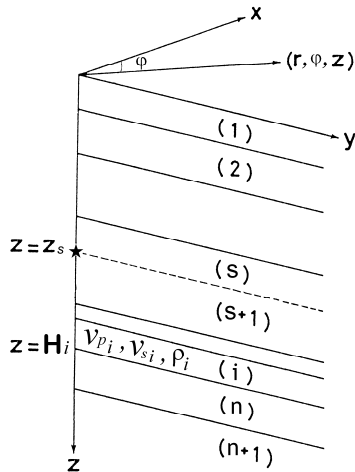


Рис. 1. Модель вертикально неоднорідного поля

Відомо, що лінійне співвідношення між тензорами напружень τ_{ij} і деформації e_{kl} має вигляд [11]:

$$\tau_{ij} = C_{ijkl} \cdot e_{kl} = C_{ijkl} \frac{\partial u_l}{\partial x_k}, \quad (1)$$

де $\mathbf{u} = (u_x, u_y, u_z)^T$ – вектор переміщень. Рівняння руху, за відсутності об'ємних сил запишемо як

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = C_{ijkl} \frac{\partial^2 u_l}{\partial x_i \partial x_k}, \quad (2)$$

Якщо використовувати тривимірне перетворення Фур'є:

$$f(p_1, p_2, \omega) = \iiint_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, t) e^{-j\omega(t-x_1 p_1 - x_2 p_2)} dx_1 dx_2 dt,$$

до виразів (1) та (2), де p_x, p_y – горизонтальні повільності, то отримаємо диференціальне рівняння [11]:

$$\frac{\partial \vec{b}}{\partial z} = j\omega A(z) \vec{b}(z), \quad (3)$$

де $\vec{b} = \begin{pmatrix} \vec{u} \\ \vec{\tau} \end{pmatrix}$, $\tau = -\frac{1}{j\omega} (\tau_{xz}, \tau_{yz}, \tau_{zz})^T$, $A = \begin{pmatrix} T & C \\ S & T^T \end{pmatrix}$, T, S, C – матриці 3×3 , C і S – симетричні матриці.

Зазначимо, що модифікація матричного методу в запропонованій статті являється окремим випадком методу матричного пропагатора, який введений в середині минулого століття Гільбертом і Бекусом і розвинутий Томпсоном і Хаскеллом. Суть запропонованого підходу полягає в тому, що матричний пропагатор $P(z, z_0)$ задовольняє диференціальному рівнянню (3) і визначається як

$$P(z, z_0) = I + \int_{z_0}^z A(\xi_1) d\xi_1 + \int_{z_0}^z A(\xi_1) \int_{z_0}^{\xi_1} A(\xi_2) d\xi_2 d\xi_1 + \dots, \quad (4)$$

де I – одинична матриця n -го порядку.

$$\vec{b}(z) = P(z, z_0) \vec{b}(z_0). \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ v_D^p \\ v_{D1}^{S1} \\ v_D^{S2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} & G_{15} & G_{16} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} & G_{25} & G_{26} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{34} & G_{35} & G_{36} \\ G_{41} & G_{42} & G_{43} & G_{44} & G_{45} & G_{46} \\ G_{51} & G_{52} & G_{53} & G_{54} & G_{55} & G_{56} \\ G_{61} & G_{62} & G_{63} & G_{64} & G_{65} & G_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{u}_x^{(0)} + \vec{F}_1 \\ \vec{u}_y^{(0)} + \vec{F}_2 \\ \vec{u}_z^{(0)} + \vec{F}_3 \\ \vec{F}_4 \\ \vec{F}_5 \\ \vec{F}_6 \end{pmatrix}$$

або

$$\begin{cases} G_{11}U_x^{(0)} + G_{12}U_y^{(0)} + G_{13}U_z^{(0)} = -(G_{11}\vec{F}_1 + G_{12}\vec{F}_2 + G_{13}\vec{F}_3 + G_{14}\vec{F}_4 + G_{15}\vec{F}_5 + G_{16}\vec{F}_6) \\ G_{21}U_x^{(0)} + G_{22}U_y^{(0)} + G_{23}U_z^{(0)} = -(G_{21}\vec{F}_1 + G_{22}\vec{F}_2 + G_{23}\vec{F}_3 + G_{24}\vec{F}_4 + G_{25}\vec{F}_5 + G_{26}\vec{F}_6) \\ G_{31}U_x^{(0)} + G_{32}U_y^{(0)} + G_{33}U_z^{(0)} = -(G_{31}\vec{F}_1 + G_{32}\vec{F}_2 + G_{33}\vec{F}_3 + G_{34}\vec{F}_4 + G_{35}\vec{F}_5 + G_{36}\vec{F}_6) \end{cases}$$

Рівняння (5) означає, що матричний пропагатор $P(z, z_0)$ породжує вектор переміщень-напружень $\vec{b}(z)$ на глибині z , діючи на цей вектор на глибині z_0 . Вектор $\vec{b}$ можна переписати наступним чином [11]:

$$\vec{b} = D\vec{v}, \quad (6)$$

де D – матриця власних векторів матриці A , а вектор $\vec{v}$ представлено через потенціали квазі- P і двох квазі- S хвиль:

$$\vec{v} = [v_U, v_D]^T = [\phi_U, \psi_U, \chi_U, \phi_D, \psi_D, \chi_D]^T.$$

Підставивши (6) в (3), отримано диференціальне рівняння:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial z} = j\omega \Lambda \vec{v}, \quad (7)$$

де Λ – діагональна матриця, елементами якої є власні значення матриці A , а матриця D – матриця власних векторів матриці A .

$$\Lambda = \text{diag}[q_p^U, q_{s1}^U, q_{s2}^U, q_p^D, q_{s1}^D, q_{s2}^D]. \quad (8)$$

Величини $q_p^U, \dots, q_{s2}^D$ – вертикальні повільності, де символи U і D позначають поширення хвиль вгору і вниз відповідно. Для ізотропного середовища $q^U = -q^D$.

Рішення диференціального рівняння (7) запишемо в такому вигляді:

$$\vec{v}(z) = e^{j\omega \Lambda (z-z_1)} \cdot \vec{v}(z_1) = Q(z, z_1) \cdot \vec{v}(z_1), \quad (9)$$

де $Q(z, z_1)$ – хвильовий пропагатор. Тоді із використанням співвідношень (5,6,9) матричний пропагатор P представлено через хвильовий пропагатор Q у вигляді:

$$P(z, z_1) = D Q D^{-1}. \quad (10)$$

Для введення джерела сейсмічних хвиль, які поширюються в шаруватому анізотропному середовищі розглянемо стрибок переміщень-напружень на границі $z = z_s$:

$$b_{s+1}|_{z=z_s} - b_s|_{z=z_s} = \vec{F}. \quad (11)$$

Співвідношення між компонентами вектора $\vec{F}$ і тензором сейсмічного моменту або довільно орієнтованою силою показано у [8]. Використовуючи (5-11), виведемо наступні матричні рівняння для шаруватого моделі анізотропного середовища:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{n+1} &= D_n Q_n D_n^{-1} \dots D_{s+1} Q_{s+1} D_{s+1}^{-1} \cdot (\vec{b}_s + \vec{F}) = \\ &= G^{n+1, s+1} \cdot (G_{s,1} \vec{b}_0 + \vec{F}) = G^{n+1, s+1} G_{s,1} \vec{b}_0 + \\ &+ G^{n+1, s+1} \cdot \vec{F} = G \vec{b}_0 + G^{n+1, s+1} \cdot \vec{F} \end{aligned}$$

$$G = D_{n+1}^{-1} D_n Q_n D_n^{-1} \dots D_{s+1} Q_{s+1} D_{s+1}^{-1} \dots D_2^{-1} D_1 Q_1 D_1^{-1}, \quad (12)$$

$$G = G^{n+1, s+1} \cdot G_{s,1}, \quad (13)$$

де G – характеристична матриця середовища.

$$\vec{v}_{n+1} = G \vec{b}_0 + G \cdot G_{s,1}^{-1} = G(\vec{b}_0 + G_{s,1}^{-1} \cdot \vec{F}) = G(\vec{b}_0 + \vec{F}) \quad (14)$$

Із (14), враховуючи умову випромінювання, а також той факт, що напруження на вільній поверхні дорівнюють нулю, маємо:

Як результат отримано поле переміщень на вільній поверхні анізотропного середовища:

$$\vec{U} = \begin{pmatrix} u_x^0 \\ u_y^0 \\ u_z^0 \end{pmatrix} = (G^{13})^{-1} \cdot \vec{y}, \quad (15)$$

де

$$G^{13} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} \end{pmatrix}, \quad \vec{y} = (a, b, c)^T,$$

$$(G^{13})^{-1} = \begin{pmatrix} G_{11}^* & G_{12}^* & G_{13}^* \\ G_{21}^* & G_{22}^* & G_{23}^* \\ G_{31}^* & G_{32}^* & G_{33}^* \end{pmatrix}$$

$$a = -(G_{11}\tilde{F}_1 + G_{12}\tilde{F}_2 + G_{13}\tilde{F}_3 + G_{14}\tilde{F}_4 + G_{15}\tilde{F}_5 + G_{16}\tilde{F}_6),$$

$$b = -(G_{21}\tilde{F}_1 + G_{22}\tilde{F}_2 + G_{23}\tilde{F}_3 + G_{24}\tilde{F}_4 + G_{25}\tilde{F}_5 + G_{26}\tilde{F}_6),$$

$$\vec{u}(x, y, z_R, t) = \frac{1}{8\pi^3} \iiint_{-\infty}^{\infty} \omega^2 \vec{u}(p_x, p_y, z_R, \omega) e^{j\omega(t - p_x x - p_y y)} dp_x dp_y d\omega,$$

або

$$\begin{aligned} u_x^0(z_R, t) &= \frac{1}{8\pi^3} \iiint_{-\infty}^{\infty} \omega^2 u_x^0(p_x, p_y, z_R, \omega) e^{j\omega(t - p_x x - p_y y)} dp_x dp_y d\omega \\ u_y^0(z_R, t) &= \frac{1}{8\pi^3} \iiint_{-\infty}^{\infty} \omega^2 u_y^0(p_x, p_y, z_R, \omega) e^{j\omega(t - p_x x - p_y y)} dp_x dp_y d\omega \\ u_z^0(z_R, t) &= \frac{1}{8\pi^3} \iiint_{-\infty}^{\infty} \omega^2 u_z^0(p_x, p_y, z_R, \omega) e^{j\omega(t - p_x x - p_y y)} dp_x dp_y d\omega. \end{aligned} \quad (15)$$

Порівняльний аналіз. Для підтвердження достовірності описаної модифікації матричного методу, проведено порівняльний аналіз синтетичних сейсмограм, побудованих на основі описаної вище теорії, із результатами отриманими іншими методами і опублікованими в статтях [12, 13, 18].

Для порівняння синтетичних сейсмограм розглянемо статтю [13], в якій матричним DSM методом показано розв'язок для прямої задачі сейсміки в частотному діапазоні до 2 Гц для анізотропного середовища. У даній роботі синтетичні сейсмограми побудовано для ані-

$$c = -(G_{31}\tilde{F}_1 + G_{32}\tilde{F}_2 + G_{33}\tilde{F}_3 + G_{34}\tilde{F}_4 + G_{35}\tilde{F}_5 + G_{36}\tilde{F}_6).$$

із (15) випишемо три компоненти хвильового поля на вільній поверхні шаруватого анізотропного середовища у спектральній області у вигляді:

$$u_x^0(p_x, p_y, z_R, \omega) = G_{11}^* \cdot a + G_{12}^* \cdot b + G_{13}^* \cdot c$$

$$u_y^0(p_x, p_y, z_R, \omega) = G_{21}^* \cdot a + G_{22}^* \cdot b + G_{23}^* \cdot c \quad (15')$$

$$u_z^0(p_x, p_y, z_R, \omega) = G_{31}^* \cdot a + G_{32}^* \cdot b + G_{33}^* \cdot c$$

де p_x, p_y – повільності, які визначено на горизонтальній площині у кожному шарі анізотропного середовища, z_R – епіцентрально відстань, ω – кругова частота.

Заставивши до (15) тривимірне перетворення Фур'є, отримано рішення прямої задачі для поля переміщення на вільній поверхні анізотропного середовища в часовій області у вигляді:

зотропної PREM структури [13], яка включає трансверсально-ізотропні шари на глибинах від 22,4 до 220 км. Розглянуто поверхневий землетрус, джерело сейсмічних хвиль якого розміщене на глибині 5 км. Джерело описане тензором сейсмічного моменту, в якому: $M_{xz} = M_{zx} = 1$, решта компонент тензора рівні нулю. Одну із компонент поля переміщень представлено на рис.2(а). На рис. 2(б) представлено синтетичну сейсмограму (х-компонента) за запропонованою методикою для такої ж моделі середовища і вогнища землетрусу.

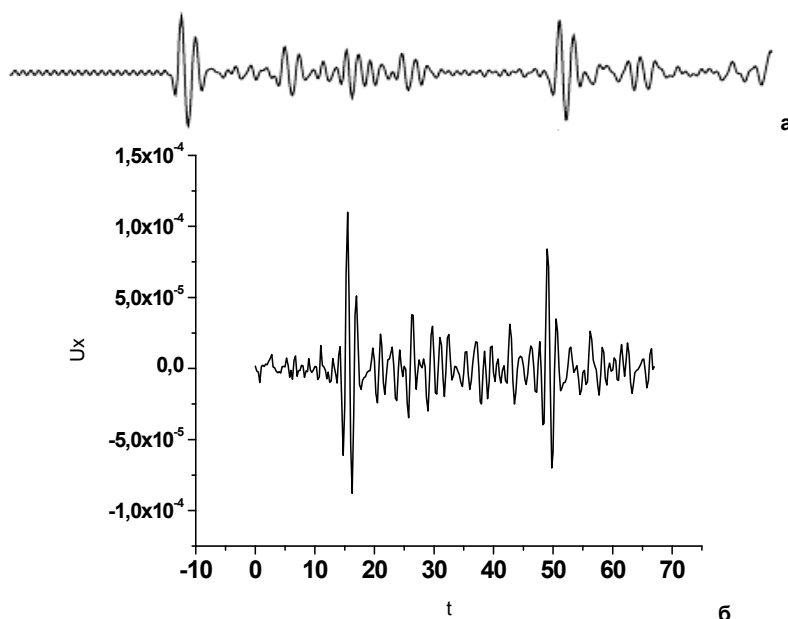


Рис. 2. Синтетичні сейсмограми:

а) синтетична сейсмограма побудована DSM методом [13],
б) синтетична сейсмограма побудована за модифікацією матричного методу

Порівнюючи синтетичні сейсмічні записи, зроблено висновок, що отримана сейсмограма з використання матричного методу (рис. 2) достатньо добре корелює із сейсмограмою, яка побудована DSM методом (рис. 1). Зазначимо, що для побудови сейсмограм на рис. 2 використано FFT фільтр, який виконує фільтрацію за допомогою перетворення Фур'є для аналізу частотних складових в сигналі. У даній роботі використано низь-

кочастотний фільтр, який відсікає ті частотні компоненти, амплітуди яких вище певного порогового значення.

Розглянемо сейсмічні записи в статті [18], в якій описано порівняння результатів, отриманих рефлективним та FCT методами. Проведемо порівняльний аналіз сейсмограм, отриманих запропонованим матричним методом і рефлективним та FCT методами. У роботі [18] синтетичні сейсмограми побудовано для трьох шаруватого анізотропного середовища, параметри якого подано у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри середовища							
№	Потужність шару, м	Густина, кг/м ³	C ₁₁ , ГПа	C ₁₃ , ГПа	C ₃₃ , ГПа	C ₄₄ , ГПа	C ₆₆ , ГПа
1	600	2100	30	8,4	25	10	8
2	240	3500	20	6,4	19	5,5	4
3	360	2100	30	8,4	25	10	8

Джерело, яке представлено довільно-орієнтованою силою є розташоване на глибині 168м; епіцентрально відстань становить 456м. Часова функція джерела описано функцією (Ricker wavelet):

$$(1 - 2\pi^2 f^2 t^2) e^{-(\pi f t)^2}, \quad (16)$$

де $f = 10$ Гц.

На рис. 3. показано дві сейсмограми із [18], які отримано рефлективним та FCT методами. На рис. 4 представлено сейсмограму, яку отримано запропонованим матричним методом. Порівняльний аналіз сейсмограм показує на достатньо високу кореляцію хвилових форм.



Рис. 3. Накладання синтетичних сейсмограм отриманих рефлективним та FCT методами для моделі середовища із табл. 1 та із використанням часової функції у вогнищі (16) [18]

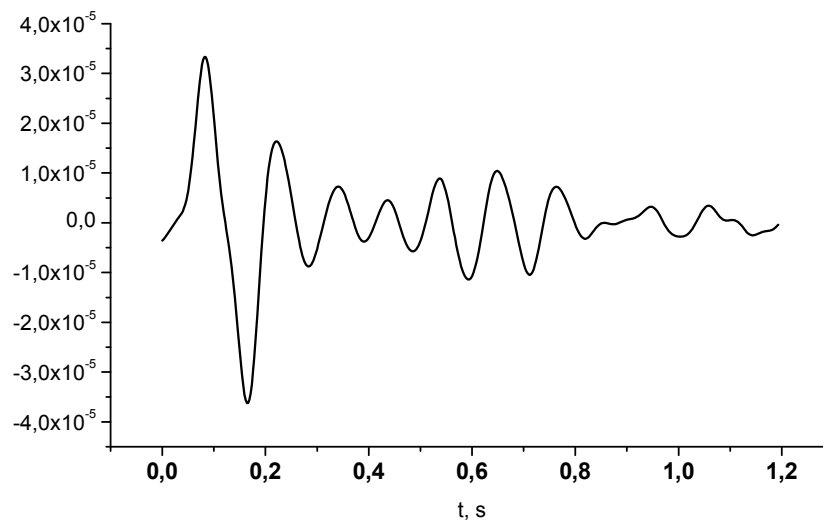


Рис. 4. Синтетична сейсмограма побудована нашим методом для середовища, параметри якого наведені в табл. 1

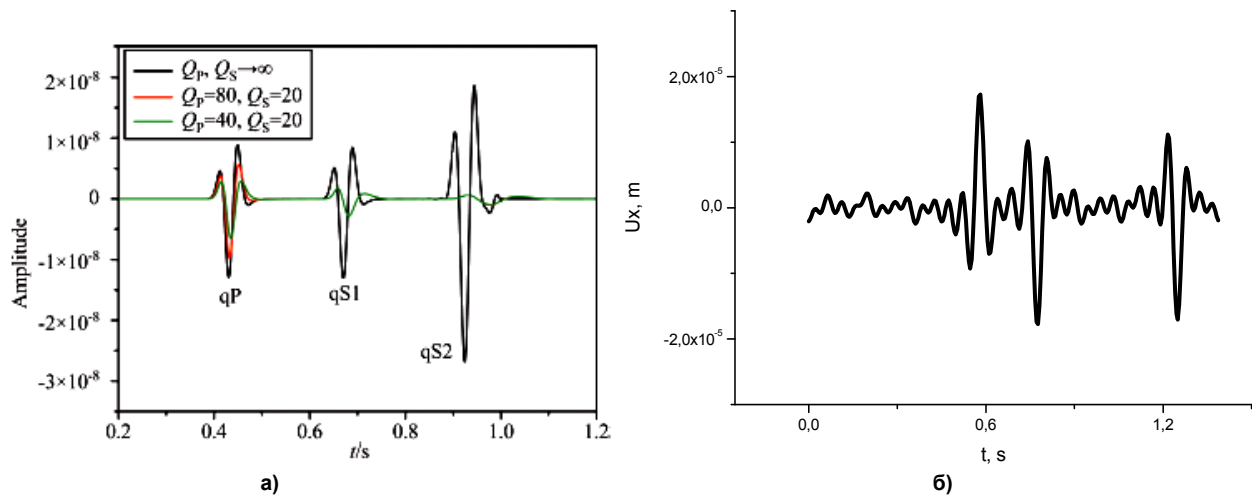
Розглянемо ще один випадок для порівняльного аналізу. Для цього порівняно результати, які отримано запропонованою модифікацією матричного методу із результатами, що подано в статті [12], в якій сейсмограми побудовано методом скінчених різниць для однорідного анізотропного середовища. Параметри моделі середовища подано в табл. 2. Джерело сейсмічних хвиль представлено силою, яка орієнтована в напрямку x і розташована на глибині 1000 м. Епіцентрально від-

стань становить 500 м. Часову функцію джерела задано функцією Ricker wavelet (16), де $f = 20$ Гц.

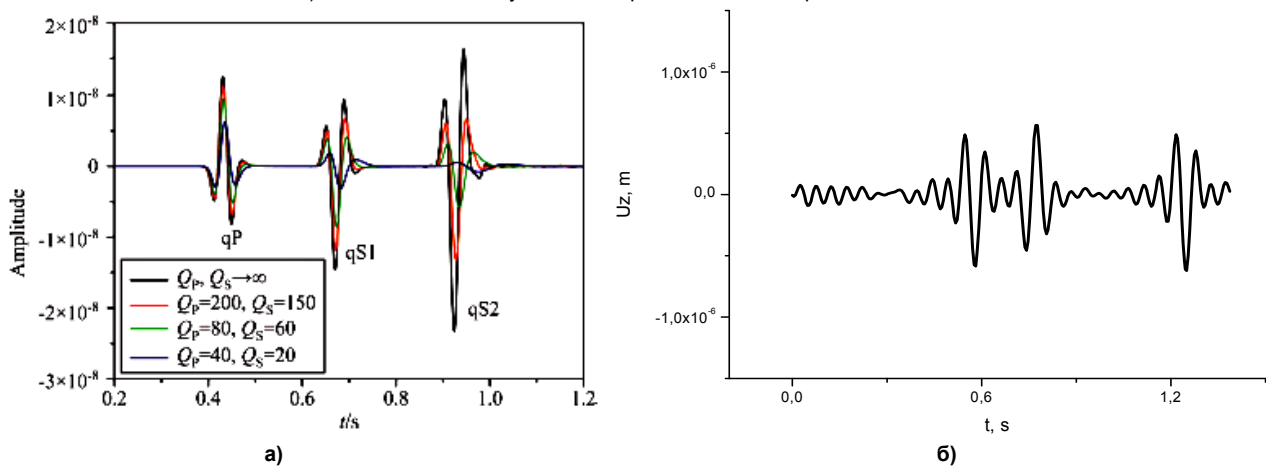
У статті [9] визначено поле переміщень-напружень на глибині 500 м (рис. 5, 6), у той час, як матричний метод розроблено для поля переміщень на вільній поверхні. Тому вступі хвиль на рис. 5 (а, б) і рис. 6 (а, б), не співпадають. Крім того, на рис. 5 (б) і на рис. 6 (б) форми P - і S -хвиль є в протифазі через вплив денної поверхні, а також не враховано поглинання Q_p, Q_s .

Таблиця 2

Параметри середовища					
Густина, кг/м ³	C ₁₁ , ГПа	C ₁₃ , ГПа	C ₃₃ , ГПа	C ₄₄ , ГПа	C ₆₆ , ГПа
3000	10.123	3.093	8.996	1.925	3.850

Рис. 5. U_x -компонента за різними методами:

а) U_x -компонента отримана методом скінченних різниць [12],
 б) U_x -компонента побудована запропонованим матричним методом

Рис. 6. U_z -компоненти за різними методами:

а) U_z -компонента отримана методом скінченних різниць [12],
 б) U_z -компонента побудована запропонованим матричним методом

Висновки.

1. У запропонованій роботі представлена методика визначення поля переміщень сейсмічних хвиль в анізотропних середовищах з використанням матричного методу Томсона-Хаскела та його модифікацій, що показано в роботах Молоткова Л.А. [4], Dunkin I.W. [9], Fryer G.J. [10-11] та інших відомих вітчизняних і зарубіжних вчених. Шляхом введення хвильового пропагатора Q показано зв'язок між матричним пропагатором P і матрицею власних векторів D (10), що дозволило отримати поле переміщень на вільній поверхні шаруватого анізотропного півпростору.

2. Здійснено апробацію запропонованої методики шляхом порівняльного аналізу хвильових форм, які отримано іншими методами. Зокрема показано достатню добру кореляцію сейсмограм, отриманих DSM методом [13] і матричного методу (рис. 1,2) для анізотропної PREM структури, яка включає трансверсально-ізотропні шари на глибинах від 22,4 до 220 км. Використання часової функції джерела у вигляді (16) продемонстровано на прикладах побудови сейсмограм рефлективним та FCT методами (рис. 3) та матричним методом (рис. 4). Порівняльний аналіз хвильових форм підтверджує можливість використання матричного методу для задач сейсмології у випадку розподілених у часі вогнищ землетрусів. Такий же висновок можна зробити, використовуючи для порівняння чисельні методи, що представлено на рис. 5-рис. 6.

3. На думку авторів, слід досліджувати поширення сейсмічних хвиль у більш складних моделях для анізотропного середовища, що буде показано у наступних роботах.

Список використаних джерел:

1. Аки К. Количественная сейсмология: Теория и методы / Аки К., Ричардс П. – М., 1983. – Т. 1,2. – 872 с.
2. Бурмаков Ю.А. Структура и динамика литосферы по сейсмическим данным / Бурмаков Ю.А., Винник Л.П., Косарев Г.Л. // М.: Наука. – 1988.
3. Малицький Д.В. Про деякі випадки математичного моделювання хвильових полів в шаруватих середовищах із додатковими напруженнями / Д.В. Малицький, А.Ю. Павлова, В.Ф. Чекурін // Геодинаміка. – 2011. – Т2. – С. 196-198.
4. Молотков Л.А. Матричный метод в теории распространения волн в слоистых, упругих и жидких средах / Молотков Л.А. – М., 1984. – 284 с.
5. Чесноков Е.М. Поверхностные сейсмические волны от различных типов источников в многослойных анизотропных средах / Чесноков Е.М., Абасеев С.С. // Физика Земли. – 1986. – №11.
6. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии / Яновская Т.Б. – Санкт-Петербург, 2008. – 320 с.
7. Chapman C. H. Fundamentals of seismic wave propagation / Chapman C. H. – Cambridge university press, 2004. – 608 p.
8. Crampin S. The Dispersion of Surface Waves in Multilayered Anisotropic Media // Geophys. J. R. astr. Soc. – 1970. – V 21. – P. 387 – 402.
9. Dunkin I.W. Computation of modal solutions in layered elastic media at high frequencies / Dunkin I.W. // Bul. Seismol. Soc. Amer. – 1965. – Vol. 55. – N 2. – P. 335-358.
10. Fryer G.J. Seismic waves in stratified anisotropic media / G.J. Fryer, L.N. Frazer // Geophys. J. R. and Soc. – 1984 – V78. – P. 691-710.
11. Fryer G.J. Seismic waves in stratified anisotropic media-II. Elastodynamic eigensolutions for some anisotropic systems / G.J. Fryer, L.N. Frazer // Geophys. J. R. and Soc. – 1987. – P. 73-101.
12. Hong-Yong Y. High-order finite-difference numerical modeling of wave propagation in viscoelastic TTI media using rotated staggered grid / Hong-Yong Y., Yang L. // Chinese Journal of Geophysics – 2012. – Vol.55, No.2. – P. 252-265.

13. Kawai K. Complete synthetic seismograms up to 2 Hz for transversely isotropic spherically symmetric media/ Kawai K., Takeuchi N., Geller R. J. // Geophys. J. Int. – 2006 – V. 164. – P. 411-424.

14. Keith M. C. Seismic body waves in anisotropic media: synthetic seismograms / Keith M. C., Crampin S. // Geophys. J. R. astr. Soc. – 1977. – V. 49. – P. 225 – 243.

15. Kennet B.L.N. The seismic wavefield/ Kennet B.L.N. // University Press. – Cambridge, 2001. – 460 p.

16. Mallick S. Computation of synthetic seismograms for stratified azimuthally anisotropic media / Frazer L.N. // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1990. – V. 95. – P. 8513–8526.

17. Muller G. The reflectivity method: a tutorial/ Muller G. // Geophys. J. – 1985. – № 58. – P. 153-174.

18. Yang D. H. Finite-difference modelling in two-dimensional anisotropic media using a flux-corrected transport technique / Yang D. H., Liu. E., Zhang Z. J., Teng J. // Geophys. J. Int. – 2002- V.148. – P. 320-328.

Надійшла до редколегії 26.02.13

Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, А. Павлова, асп.

Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Львов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ В ЗАДАЧАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В СЛОИСТЫХ АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ

Исследованы особенности построения механизмов очагов для землетрясений в Карпатском регионе Украины. Рассмотрено принцип и особенности построения механизма очага графическим методом. С помощью предложенного метода построено механизм очага для землетрясения, произошедшего 23.11.2006г. около г. Берегово. Сделано сравнение механизмов, построенных графическим методом и с помощью комплекса программ.

D. Malyskyy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), A. Pavlova, PhD student.,

Carpathian branch of Institute of Geophysics National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS IN PROBLEMS OF SEISMIC WAVES PROPAGATION IN LAYERED ANISOTROPIC MEDIA

The theory of seismic wave propagation in anisotropic medium using the matrix method of Thomson-Haskell is presented. The matrix formalism for field displacements on the free surface of an anisotropic layered half-space by introducing the wave propagator is shown. A comparative analysis of the results of our method with the synthetic seismic records obtained by DSM, reflective and FCT methods, and the method of finite differences is shown.

УДК 550.837.311

Р. Хоменко, інж., К. Бондар, канд. геол. наук, С. Попов, зав. лаб.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

НОВА МАЛОГЛИБИННА БАГАТОЕЛЕКТРОДНА УСТАНОВКА ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Розроблено багатоелектродну установку електротомографії, яка дозволяє досліджувати позірний електричний опір складно-побудованих середовищ з високою детальністю. До установки під'єднано дві коси по 32 електроди в кожній. Електроди можна розміщувати на відстані 0,5-1 м один від одного, максимальна глибинність установки складає 11 м. Наведено характеристики установки та приклади практичного використання для вивчення будови приповерхневої частини розрізу.

Вступ. Метод опору в модифікаціях електричних зондувань, заснований на відмінності електричних опорів різних типів гірських порід та ґрунтів, застосовується при вирішенні різноманітних завдань інженерної геології, екології та археології [7, 8]. В останні десятиріччя метод розвивається шляхом створення багатоканальної електророзвідувальної апаратури з розміщенням великої кількості електродів на денній поверхні. Нові багатоелектродні системи спостережень, керовані польовим комп'ютером, дозволили перейти від одиничних електричних зондувань до щільних систем спостережень з багаторазовим використанням кожного електрода в процесі вимірювань. Описана технологія електророзвідувальних робіт отримала назву "електротомографія" або "томографія електричного опору" (ТЕО) [1-3, 7, 10-11].

Електротомографія дозволяє за короткий час отримувати геоелектричні розрізи по профілях, за її результатами будують 2D та 3D моделі приповерхневої частини геологічного середовища. Розроблені методи обробки й інтерпретації польових даних не тільки для випадку горизонтально-шаруватого розрізу, а й для неоднорідних середовищ [1-2, 8].

Нині розроблено досить багато модифікацій багатоелектродної електророзвідувальної апаратури. Найбільш вживаними є "ERA-Multimax" (НБП Ера, Росія), SARIS (Scintrex, Канада), "ARES" (GF Instruments, Чехія), портативна цифрова одноканальна електророзвідувальна апаратура ЕРП-1 з комутуючим модулем для електротомографії COMx64 (ТОВ "Северо-Запад", Росія). Бажання підвищити виробничу здатність багато-

електродної апаратури призвело до появи багатоканальних багатоелектродних станцій (Syscal-Pro, Iris Instruments; SAS4000, ABEM, ОМЕГА-48, GeoTom). Такі комплекси дозволяють одночасно отримувати значення різниці потенціалів на декількох диполях.

Втім, для розв'язання певного кола завдань археології та ґрунтознавства доцільно розробити установку, яка відповідала б вимогам підвищеної детальності розчленування розрізу на відносно невеликих площах.

Постановка завдання. Незважаючи на всі переваги методу, в Україні досі не було установок відчизняного виробництва для проведення польових вимірювань методом ТЕО. Необхідність створення установки виникла у зв'язку з розвитком археолого-геофізичного напрямку на кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Малоглибинна багатоелектродна установка електротомографії є обов'язковою складовою сучасного оптимального апаратурно-методичного комплексу для виконання геофізичних досліджень на різних археологічних пам'ятках від фортифікаційних споруд городищ ранньої залізної доби до місць масових поховань часів Другої Світової війни.

До польової установки висуваються певні вимоги з огляду на спеціалізацію:

- висока детальність спостережень, потенційна можливість визначення просторових границь похованих об'єктів з точністю менше 1 м;
- можливість вибору максимальної глибини досліджень та схеми вимірювань;
- компактність та простота у використанні.

Відповідно до фундаментального принципу геофізичних досліджень, детальність вивчення геологічного розрізу знаходиться в оберненій залежності від глибини методу [9]. Тобто, із збільшенням глибини зондування збільшуються розміри структур, які можливо відшукати. Отже, з метою забезпечення виділення якомога більшої кількості об'єктів у насиченому культурному шарі, який, як правило, залягає неглибоко від сучасної денної поверхні, відстань між електродами має бути мінімальною. Потужність культурних нашарувань на більшості археологічних пам'яток в Україні не перевищує 3 м і досягає десяти метрів тільки в окремих давньоруських містах та античних містах Північного Причорномор'я. Найбільш глибинними археологічними об'єктами є рови і колодязі давніх городищ, підкурганні скіфські поховання і князівські поховання черняхівської культури, масові могили XX ст. Отже, максимальну глибинність установки доцільно обмежити 10-15 м.

У ТЕО використовуються апаратура і методика, що включає способи проведення робіт, вибір установок і систем спостережень, спрямованих на те, щоб отримати інформацію про зміну позірного електричного опору (ρ_n) з глибиною. Теорія і практика електромагнітних зондувань добре розроблені для одновимірних горизонтально-шаруватих моделей середовищ. Тому зондування найчастіше проводяться при вивченні горизонта-

льно і полого залягаючих (кути падіння менше 10° – 15°) розрізів.

Ефективна глибина (H_{eff}) в загальному випадку розраховується за відомою формулою [6]:

$$H_{\text{eff}} = \frac{AO}{2,63},$$

де AO – напіврознос живильної лінії. При практичному застосуванні технологія ТЕО потребує експериментальних досліджень щодо узгодження напіврозносів струмових ліній і глибин ґрунтових горизонтів у конкретних геологічних умовах.

Структурна схема установки. Базовий принцип вимірювання полягає у реєстрації різниці потенціалів між вимірювальними електродами при пропусканні постійного електричного струму в живильній лінії з подальшим розрахунком позірної електричної опору. Як елементарна вимірювальна схема використовуються різні модифікації чотириелектродних установок.

Авторами розроблено та виготовлено макет багатоелектродної одноканальної електрометричної установки, яка проводить серії послідовних вимірів на постійному струмі при зміні комбінацій електродів у приймальній та живильній лініях. Структурна схема установки наведена на рис. 1.

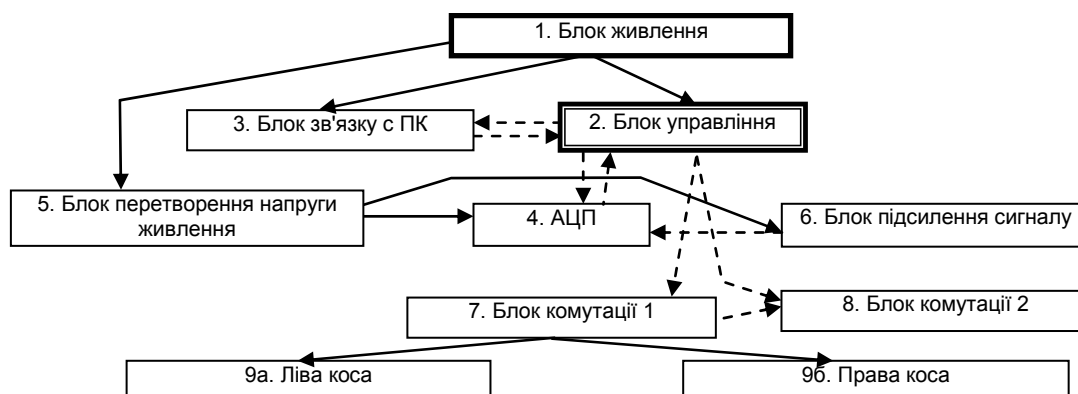


Рис. 1. Структурна схема багатоелектродної електрометричної установки.
Суцільними стрілками позначені лінії живлення, пунктирними стрілками позначені інформаційні зв'язки

Розглянемо кожний функціональний блок окремо.

1. Блок живлення. Блок використовується для подачі живлення на всі основні вузли приладу. Вхідна напруга 9-15 В, вихідна $5\text{В} \pm 10\%$.

2. Блок управління. Являє собою логічну схему, базовим елементом якої є мікроконтролер. Керує виконанням ряду функцій: зв'язок з ПК (приймання і передача даних), приймання даних з аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), керування блоком комутації.

3. Блок зв'язку з персональним комп'ютером (ПК). Реалізований на інтерфейсі RS232. Зв'язок з персональним комп'ютером здійснюється через порт USB.

4. АЦП. 16-бітний біполярний аналогово-цифровий перетворювач AD976 з паралельним виходом.

5. Блок перетворення напруги. Здійснює конвертацію постійної напруги 5 вольт у біполярний вигляд $\pm 5\text{В}$. Потужність блоку 1 Вт. Служить джерелом живлення для АЦП і блоку підсилення сигналу.

6. Блок комутації 1. Являє собою серію малопотужних герконових комутувальних елементів. Здійснює комутацію електродів в приймальну та живильну лінію. Керується з блоку 2.

7. Блок комутації 2. Являє собою серію малопотужних герконових комутувальних елементів. Здійснює вибір типу реєстрації (вимірювання струму чи напруги). Керується з блоку 2.

8. Блок підсилення сигналу. Підсилювач сигналу з коефіцієнтом підсилення 100. Реалізований на операційному підсилювачі з малим коефіцієнтом шуму та низькими лінійними спотвореннями сигналу.

9. Ліва (а) і права (б) коса електродів. Кожна коса містить по 32 латунних та виготовлено макет багатоелектродної одноканальної електрометричної установки, яка проводить серії послідовних вимірів на постійному струмі при зміні комбінацій електродів у приймальній та живильній лініях. Структурна схема установки наведена на рис. 1.

Параметри установки та технологія вимірювань.

Основні параметри установки визначаються поставленими завданнями та наявною елементною базою. Значення вхідних напруг і струмів визначаються виходячи із електричних властивостей геологічного середовища та присутній у ньому об'єктів антропогенного або природного генезису. При цьому в якості вхідних (для розрахунку параметрів електродів, діапазонів струмів та напруг) беруться значення позірної електричної опору для характерних ґрунтових розрізів території України [5]. Виходячи з цього, діапазон вхідних напруг вибрано в межах $\pm 9\text{В}$, струмів $\pm 1\text{А}$. При використанні 16 бітного АЦП максимальна роздільна здатність становить: по напрузі 0,3 мВ, по струму 0,3 мА. Вимірювання проводяться із дотриманням вимог стандартної методики вимірювань позірної опору, що описана в інструкції по електророзвідці [4]. Врахування поляризації електродів здійснюється шляхом повторних вимірювань в приймальній лінії при наявності і відсутності струму.

Польові вимірювання установкою ТЕО потребують попередньої підготовки пакету файлів послідовності комутацій електродів. Безпосередньо на точці вимірювань оператор обирає оптимальну методику зондування з огляду на конкретні місцеві умови і параметри шуканих об'єктів. По обидва боки від центра установки розмотуються електричні коси, встановлюється апаратура і ПК. Час запису на одному пункті вимірювань при найбільшій деталізації становить близько 30 хвилин. В

результаті отримуємо матрицю ρ_n , приклад якої представлений на рис. 2.

Максимальна глибинність установки, оцінена за вищенаведеною формулою з роботи [6] становить 11 м.

На рис. 3 представлений приклад індивідуального зондування чотириелектродною установкою Шлюмберже у центральній точці профілю при максимальному розносі живильних електродів 63 м.

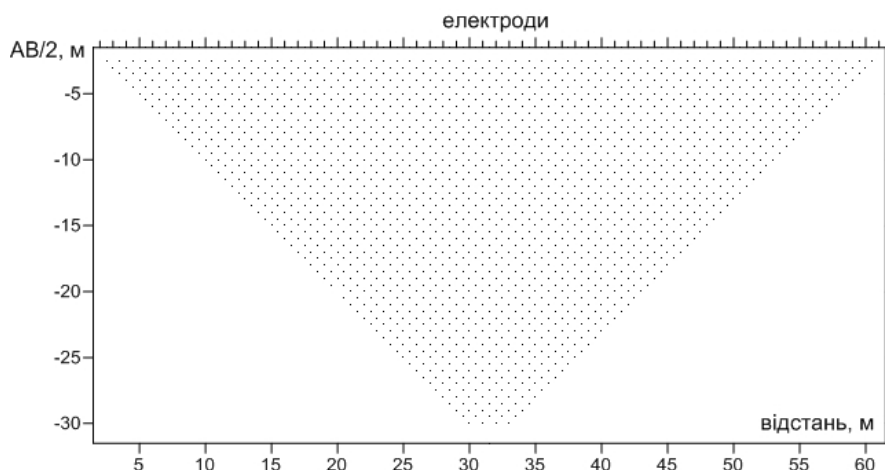


Рис. 2. Матриця вимірів ρ_n при опитуванні симетричною чотириелектродною установкою

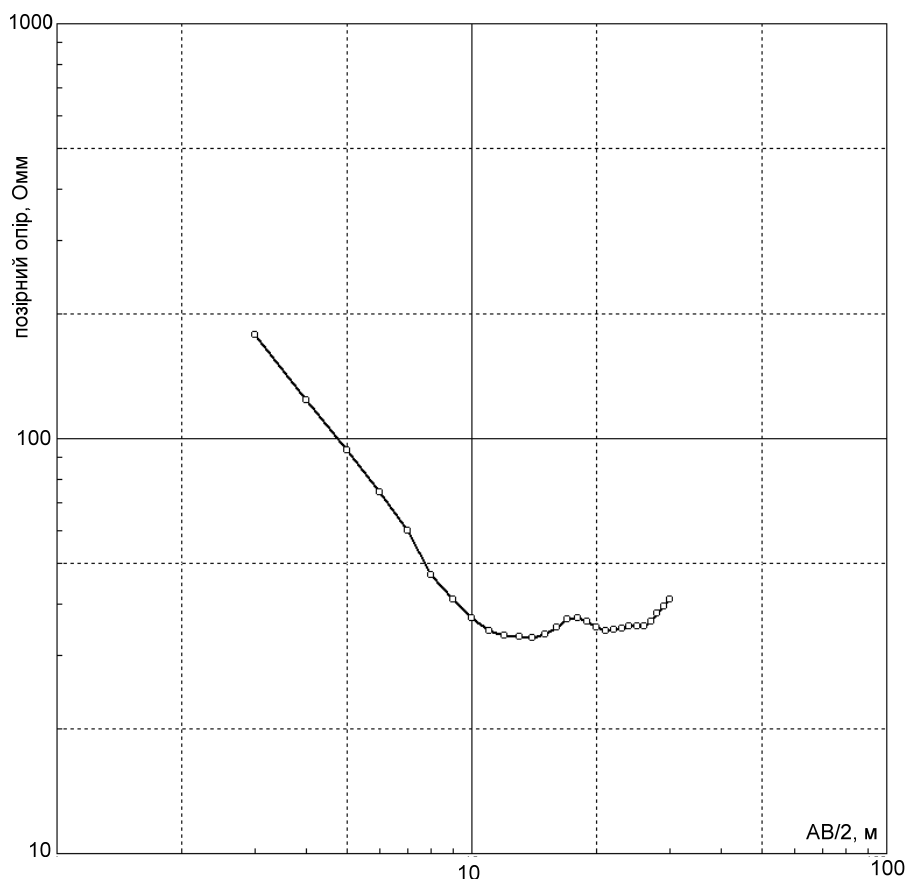


Рис. 3. Приклад окремої кривої вертикального електричного зондування у центральній точці установки

Можливості пристосування до конкретних польових умов.

Існує можливість зміни відстані між електродами в межах 0,5-1 м, при цьому максимальна глибинність установки зменшиться вдвічі. Слід враховувати, що при зменшенні відстані між електродами підвищується точність фіксації вертикальних границь у розрізі, що надзвичайно важливо при вивченні археологічних пам'яток.

Існує можливість вибору між типами установок: дипольна осьова або симетрична. Вибір між дипольною осьовою та симетричною установками здійснюється виходячи з переваг та недоліків того чи іншого виду реєстрації. Основними перевагами використання симетричної установки є економне використання джерела живлення, більша глибинність в порівнянні з дипольними установками та менша чутливість до горизонталь-

них неоднорідностей. Перевагою дипольних установок є невисокий рівень завад пов'язаних з витокami струму.

Установку ТЕО можна використовувати у специфічних умовах, наприклад, в техногенному середовищі (міська забудова, будмайданчики, тощо), при вивченні вертикальних відслонень.

Обмеження ТЕО відповідають всім обмеженням контактних методів електророзвідки [4], основне з яких становлять складні умови заземлення (тверді поверхні або пересушені ґрунти). Наявність високоомного шару – ізолятора, або низькоомного шару – провідника не дозволяє досліджувати більш глибокі горизонти.

Приклади використання. Дослідження в Бабиному Яру. У рамках спільного проекту з пошуку масових поховань Наукового центру юдаїки та єврейського мистецтва імені Фаїни Петрякової (Україна) та Судового інституту Кренфілд (Великобританія) виконані геоелектричні дослідження методом електротомографії на

двох дослідних ділянках в межах громадського парку в Бабиному Яру.

На рис. 4 представлений зведений розріз ρ_n , виміряний на стадіоні, розташованому в парку.

На ділянці спостерігається зменшення електричного опору з глибиною, що вочевидь, пов'язане з загальним зростанням зволоженості ґрунтових горизонтів. У верхній частині розрізу (до глибини 2 м) виділяється високоомна область. Це насип-покриття стадіону, на краю якого прокладений профіль.

Інший профіль прокладений вхрест простягання колишнього яру (рис. 4), у безпосередній близькості від Пам'ятника Радянським громадянам і військовополоненим солдатам і офіцерам Радянської армії, розстріляним німецькими окупантами у Бабиному яру. Профіль перетинає вимощену паркову доріжку, яка на рис. 5 відмічається при поверхневої аномалією високого опору між 41 та 47 м.

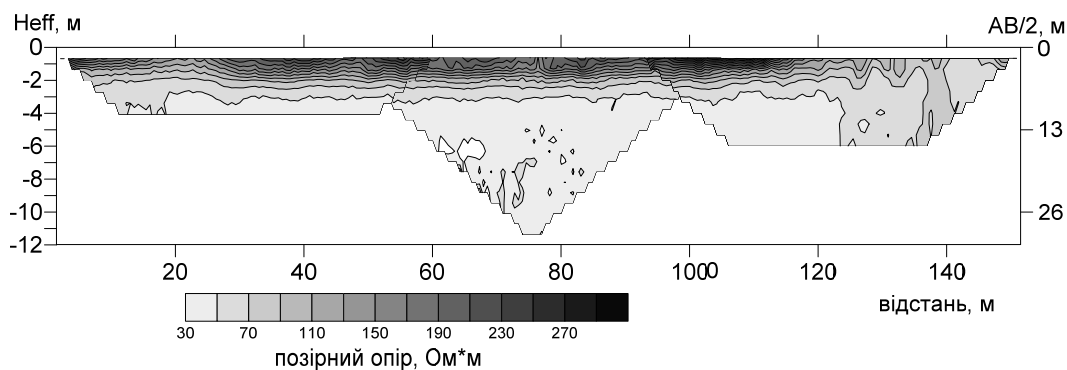


Рис. 4. Бабин яр. Розріз ρ_n по профілю на стадіоні, високоомна область вгорі є щебеним насипом стадіону

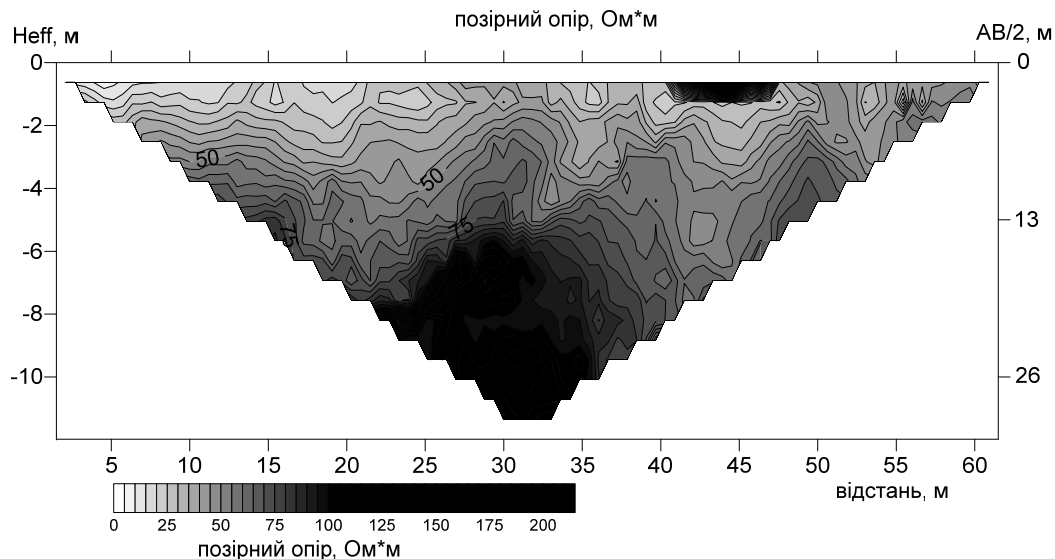


Рис. 5. Бабин Яр. Розріз ρ_n по профілю в парку, неподалік від Меморіалу

Позірний електричний опір приповерхневих шарів розрізу збільшується з глибиною. Ці зміни не є рівномірними по всій довжині профілю. Починаючи приблизно з 1 м і глибше чітко фіксуються сліди інтенсивного перекопування ґрунту. У правій частині профілю помітні три розташовані поруч низькоомні області, шириною 3-5 м з вертикальною потужністю близько 3 м.

Слід зауважити, що ґрунтові ями – могили і рови, які є об'єктами пошуку на даній території, можуть формувати саме такі аномалії пониженого опору. Адже при перекопуванні ґрунту руйнується його природна структура і волога починає більш вільно проникати вглиб, що приводить до зниження електричного опору ґрунтів. На

цій підставі можемо очікувати знаходження на лінії розрізу ровів або ям на глибинах від 1,5 до 7 м.

Дослідження ґрунтового покриття у Голосіївському лісі. Полігон розміщений у Голосіївському лісі в м. Київ. Верхня частина розрізу складена наступними шарами: дерново-підзолистий супіщаний ґрунт потужністю до 2 м; лесовидні суглинки та супіски потужністю близько 10 м; строкаті глини невеликої потужності близько 2 м. На отриманому розрізі ρ_n (рис. 6) виділяються три основні горизонти: 1 – ґрунтовий шар, який характеризується найменшими величинами позірного опору, 2 – шар підвищеного опору (2-9 м), який може бути співставлений з товщею лесовидних суглинків, 3 – шар зниженого опору (нижче 9 м), імовірно, товща строкатих

глин. У правій частині розрізу виділяється зона пониженого опору, яка відповідає невеликій западині на місцевості. Ймовірно, тут відбувається інтенсивна інфільтрація води всередину товщі лесово-супіщаних порід.

вості. Ймовірно, тут відбувається інтенсивна інфільтрація води всередину товщі лесово-супіщаних порід.

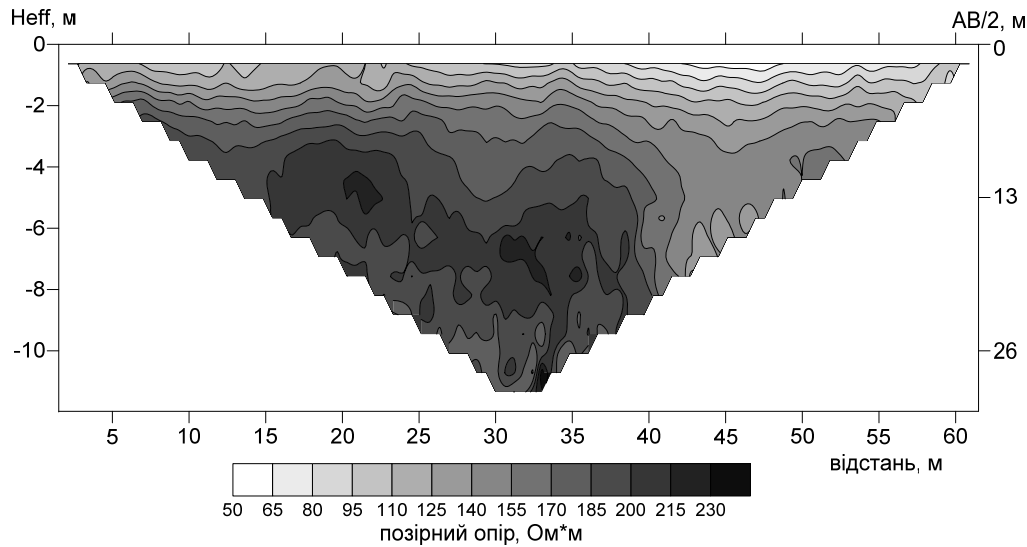


Рис. 6. Голосіївський ліс. Розріз ρ_n

Висновки. Розроблена принципова схема і створений діючий макет багатоелектродної установки вимірювань методом томографії електричного опору. Установка складається з окремих функціональних блоків, а саме: живлення, управління, комутації, підсилення сигналу, зв'язку з ПК, АЦП, перетворення напруги та двох 32-електродних кіс. Електроди можна розміщувати на відстані 0,5-1 м один від одного, максимальна глибинність установки складає 11 м. Установка є ефективним інструментом при археологічних і ґрунтознавчих дослідженнях, що підтверджується прикладами її практичного використання.

Автори щиро вдячні доценту кафедри геофізики М.В. Реві за конструктивні зауваження при підготовці статті.

Список використаних джерел:

1. Бобачев А.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред / Бобачев А.А., М.Н. Марченко, И.Н. Модин, Е.В. Перваго, А.В. Урусова, В.А. Шевнин / Физика Земли. – 1995. – №12. – С. 79-90.
2. Бобачев А.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред / Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. М.; // Разведочная геофизика. Обзор. – АОЗТ "Геоинформмарк", 1996. – Вып. 2. – 50 с.

3. Журбин И.В. Комплексные геофизические исследования культурного слоя археологических памятников (городище Иднакар, IX-XIII вв.) / И.В. Журбин, А.А. Бобачев, В.П. Зверев // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2007. – № 2(30).
4. Инструкция по электроразведке. Отв. исполнитель Франтов Г.С. – 1984, Л.: "Недра".
5. Шепель С.І. Електрометрія ґрунтів України / С.І. Шепель, М.В. Рева, І.І. Онищук, А.В. Сухорада // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2003. – Вип.26. – С. 36-39.
6. Edwards L.S. A modified pseudosection for resistivity and IP / L.S. Edwards // Geophysics. – 1977. – № 42. – P. 1020-1036.
7. Gaffney C. Revealing the buried past. / Gaffney C., Gater J. // Geophysics for Archaeologists, Stroud. – 2003.
8. Günther T. Three-dimensional modelling and inversion of DC resistivity data incorporating topography – II. Inversion. / T. Günther, C. Rücker, K. Spitzer // Geophysical Journal International. – 2006. – № 166. – P. 506-517.
9. Papadopoulos N. Two-dimensional and three-dimensional resistivity imaging in archaeological site investigation. / N. Papadopoulos, M.Y. Yi, J.H. Kim, G.N. Tsokas, P. Tsourlos // Journal of Applied Geophysics. – 2010. – № 70. – P. 192-205.
10. Parasnis, D.S. Principles of Applied Geophysics: Fifth Edition / D.S. Parasnis. – London: Chapman & Hall, 1996. – 456 p.
11. Rücker C. Three-dimensional modelling and inversion of DC resistivity data incorporating topography – I. Modelling. / C. Rücker, T. Günther, K. Spitzer // Geophysical Journal International. – 2006. – № 166. – P. 495-505.

Надійшла до редколегії 02.03.13

Р. Хоменко, інж., К. Бондарь, канд. геол. наук, С. Попов, зав. лаб.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

НОВАЯ МАЛОГЛУБИННАЯ МНОГОЭЛЕКТРОДНАЯ УСТАНОВКА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Разработана многоэлектродная установка электротомографии, которая позволяет исследовать кажущееся электрическое сопротивление сложно-построенных сред с высокой детальностью. К установке подключены две косы по 32 электрода в каждой. Электроды можно размещать на расстоянии 0,5-1 м друг от друга, максимальная глубинность установки составляет 11 м. В статье приведены характеристики установки и примеры практического использования для изучения строения приповерхностной части разреза.

R. Khomenko, Engineer, K. Bondar, Cand. Sci. (Geol.), S. Popov, Head of Laboratory
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

NEW HIGH-RESOLUTION SHALLOW-DEPTH MULTI-ELECTRODE DEVICE FOR ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY

The new multi-electrode device for high-resolution electrical resistivity tomography is designed. Two lines with 32 electrodes each are connected to the device. Electrodes can be placed at a distance of 0.5-1 m from each other, the maximum deep implication is limited at approximately 11 meters. The parameters of the device and examples of practical use for studying of near-surface structure are represented in the article.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.04

Н. Лижаченко, асп.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
В. Ніколаєвський, голов. геолог
ПАТ "Завалівський графітовий кар'єр", Завалля

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСНОЇ БАЗИ ЗАВАЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА ГРАФІТУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.М. Загнітком)

Завалівське родовище експлуатується на даному етапі як комплексний об'єкт. Традиційно на родовищі розробляються графітові руди. Як супутні корисні копалини використовуються лише кварцити та чарнокіти, складаються гранатові руди. Решта супутніх компонентів вивчена недостатньо. Це глини та суглинки, піски, мінеральні фарби, продукти збагачення графітових руд, яшми, халцедоніти, що набули на родовищі значного поширення. Необхідно провести їх довивчення з метою селективної виїмки при подальшій розробці родовища.

Вступ. Завалівське графітове родовище експлуатується з 30-х рр минулого століття, в 70-х рр минулого століття комбінат виробляв близько 80% кристалічного графіту (60 тис т) у СРСР і до 30% своєї продукції постачав у далеке зарубіжжя, проте й до сьогодні родовище є одним з найбільших в Європі. Розроблені раніше технологічні регламенти цілого ряду промислових підприємств-споживачів графіту в СНД обумовлюють наявність певного попиту на завалівський графіт різних марок як обов'язкових до використання технологічних матеріалів у виробництві. Графіт Завалівського родовища характеризується високими якісними показниками і високо цінується на світовому ринку. На сьогодні завалівський графіт експортується в Росію, Білорусь, Казахстан, Туркменістан, Азербайджан, Японію, Америку, а також в країни Західної та Східної Європи. Окрім графітової руди детальною розвідкою були проведені технічні випробування супутніх корисних копалин, до ряду яких належать: гранат (абразивна сировина), кристалічні породи (будівельний камінь, бутовий камінь, щебінь), піски, глини та суглинки (керамзитова та цегельно-черепична сировина).

Постановка питання. За результатами детальної розвідки окрім гранатової сировини значні перспективи довивчення мали цілий ряд інших корисних копалин, ресурси більшості з яких не були визначені. Крім того, вивчення супутніх корисних копалин родовища було орієнтоване на досить вузьку сферу їх подальшого застосування, тому важливо переглянути відповідність їх діючим технічним нормам промисловості та будівництва з метою розширення сфери використання. Довивчення потребують на сьогодні також хвосты флотаційного збагачення графітових руд.

Завдання та методика виконання роботи. Основна мета роботи – переглянути відповідність фізико-хімічних та структурних характеристик супутніх корисних копалин Завалівського родовища діючим на сьогодні технічним нормам промисловості та будівництва та визначити доцільність їх довивчення з метою подальшого використання (чи складування).

Огляд попередніх досліджень. Основні роботи з розвідки та вивчення головних та супутніх компонентів Завалівського графітового родовища проведено М.М. Янгічером, В.П. Ніколаєвським, результати їх досліджень використано при обґрунтуванні економічної доцільності розробки гранатових руд та щебеня. Наявність графітовмісних порід біля с. Завалля вперше встановлено проф. А.В. Красовським у 1921-1924 рр. У 1938 р І.В. Дубиною було складено зведений опис Завалівського родовища графіту, в якому детально осві-

тлено будову родовища, його розвіданість і перспективи. Розпочаті в 1939 р і перервані війною, геологорозвідувальні роботи були поновлені в 1945 р і проводились до 1955 р трестом "Укрнеруд" МПБМ УРСР.

Виклад основного матеріалу. У продуктивній товщі Завалівського родовища поряд з біотит-графітовими гнейсами широкого поширення набули гранат-біотитові гнейси, що розглядаються як руда на абразив. У верхніх горизонтах родовища (на рівні пухких графітових руд) у каолінах по гранат-біотитових гнейсах гранат відсутній або повністю заміщений гідроокисами заліза. Нижче по розрізу (на рівні напівпухких руд) гранат характеризується значною тріщинуватістю. На не вивітрілих горизонтах гранат практично не змінений. Вміст гранату в продуктивній товщі (потужність якої від 1 до 100 м, протяжність – до 1 км) змінюється від 6 до 31% [8, с. 112-113], тоді як продуктивності в світовій практиці вважається товща з вмістом 10% (з урахуванням типу порід). Фізико-механічні властивості гранатового концентрату (табл. 1), повністю задовольняють технічні вимоги до гранату для виробництва шліфоматеріалів, розроблені колишнім всесоюзним науково-дослідним інститутом, згідно з якими для абразивних цілей придатні переважно залізисті гранати альмандинового ряду, мікротвердість – не менше 1400 кг/мм², абразивна здатність щодо монокорунду – не менше 45%. Технологічні випробування концентратів Завалівського родовища на період детальної розвідки були проведені досить вузько через відсутність затверджених технічних умов на гранатові концентрати і шліфувальні вироби з гранату, та визначених напрямків застосування сировини, але сьогодні, з огляду на високі показники якості (табл. 1) та новітні напрямки застосування та переробки абразивів, гранатові руди родовища потребують подальших досліджень.

Гранати Завалівського родовища представлені тріщинуватим альмандином. Тріщинуватість їх пов'язана перш за все з приналежністю до високометаморфізованих докембрійських товщ, по яких інтенсивно розвинуті гіпергенні утворення [7, с. 106-110]. У мінералогічному відношенні концентрат являє собою: альмандин (понад 90%), поодинокі зерна піропу, гросуляр, кварц в зростках (2-3%), рогова обманка (1-2%). Абразивна твердість від 6,5 до 7,5 за шкалою Мооса. Згідно промислових вимог [10] тріщинуватість однією з важливих фізико-механічних властивостей гранату, що передбачає низькі витрати на подрібнення та утворення гостроріжучих граней. І хоча значна тріщинуватість, може спричиняти вихід дуже дрібних фракцій 0,2-0,1 мм, що раніше понижувало цінність концентрату, сьогодні такі базові фракції використовуються для виробництва гранатово-

го піску – нового екологічного багатоцільового матеріалу на ринку абразивів (шліфування металів, гідроабразивна різка твердих матеріалів під тиском).

На сьогодні на території Завалівського родовища заскладовано 1740 тис т гранатової руди, при збагаченні якої можна отримати 267 тис т гранатового кон-

центрату, який придатний для абразивних виробів, струменевого очищення металів, різання струменем води під високим тиском, виробництва мікрошліфопорошків, в будівельній індустрії [11]. Потреба в такій сировині на сьогодні зростає (рис. 1).

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості гранатових концентратів (за даними детальної розвідки Завалівського графітового родовища)			
Родовище	Вміст гранату, %	Шліф. здатність	Мікротвердість кг/мм ²
Слобідське	91 (сер.)	37,6 (сер.)	1400-1560
Завалівське	97,4-99,5	37,4-38,7	

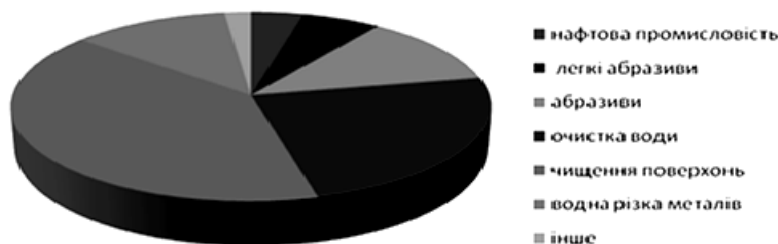


Рис. 1. Потреби в абразивній сировині у різних галузях промисловості

До 2011 р на території України розроблялось два родовища, де супутньо видобувались гранатові руди – Завалівське та Іванівське (Вінницька обл). Протягом 2011 р запаси останнього втратили промислове значення і були списані з обліку державного фонду надр через низьку економічну ефективність їх видобутку. Таким чином, на сьогодні в Україні наявні лише два родовища гранату – Завалівське (запаси – 3,4 млн т) та Слобідське (запаси – 673 тис т гранату).

Низький попит на гранатовий концентрат пояснюється наявністю штучних замінників – карборунду, електрокорунду. Виробництво цих матеріалів досить енерговитратне, тому в світовій практиці все частіше надають перевагу природним матеріалам. Світовими виробниками гранатової сировини є підприємства США, Австралії, Індії та Китаю. Авторами [6] проведений порівняльний аналіз гранатів України (Завалівське, Іванівське) та США (фірми "Barton"), за результатами якого сировина українських родовищ за технічними характеристиками не поступається гранатам світових виробників і є конкурентоспроможною на ринку.

Варто зауважити також, що підрахунок запасів гранатових руд (методом блоків) проведено лише по двох ділянках родовища – Південно-Східна (1666,52 тис т гранату на дату затвердження [1, с. 15] та Проміжна (2808,78 тис т)). На сьогодні запаси по ділянці Проміжна, яка перебуває на балансі ПАТ "Завалівський графітовий комбінат" не змінилися і становлять 16300 тис т гранатового гнейсу (2808,8 тис т гранату), Південно-Східна – 4014,5 тис т руди, 615,8 тис т гранату. У спеціальному складі заскладовано 1739,2 тис т руди (271 тис т гранату). За даними детальної розвідки перспективи приросту запасів гранату на родовищі дуже значні як по постяганню так і на глибину. На площах, прилеглих до підрахованих запасів прогностичні ресурси категорії Р₁ становлять не менше 100 млн т гранатової руди.

При проведенні технологічних досліджень щільної графітової руди була доведена принципова можливість отримання з хвостів флотації кварц-польовошпатової сировини в кількості 35-40% від вихідної маси. З огляду на дорогі реагенти дозбагачення та невисоку потребу в скляній сировині на момент проведення випробувань (1982 р) облаштування технологічної лінії з видобутку кварц-польовошпатових концентратів було визнано недоцільним. Однією з причин можна вважати також розробку ли-

ше пухких та папілпукх графітових руд при розробці Південно-Східного кар'єру на момент вивчення цієї проблеми. Слід зауважити, що за період освоєння Південно-Східної ділянки у шламосховищах за складовано більше 10 млн т хвостів збагачення графітової руди. У зв'язку із цим заслуговує на подальше вивчення застосування сировини хвостів збагачення в галузі будівельних матеріалів, виготовлення силікатної цегли, піноблоків, будівельних сумішів, використання для шляхового будівництва. Сьогодні, з обґрунтуванням економічної доцільності використання щільних руд кар'єру, введенням нових технологій збагачення мінеральної сировини та розширення сфери виробництва скляних виробів, будівельних матеріалів є доцільним проведення нових випробувань сировини з хвостів збагачення графітової руди.

Будівельне каміння представлене на Завалівському родовищі графіту кальцифірами, мігматитами та чарнокітами. Загальні запаси по родовищу становлять 163501 тис м³. Запаси підраховані по чотирьох ділянках – Проміжна, Правобережна, Зарічна та Південно-Східна, що знаходяться на балансі ПАТ "Завалівський графітовий комбінат".

Тривалі дослідження мінерального складу порід Завалівського родовища дозволили накопичити значний матеріал по розповсюдженню серед вміщуючих кристалічних порід яшм, халцедонітів, опалоподібних утворень та інше, що можуть використовуватись для виготовлення ювелірних прикрас (кабошони, вставки, наміста та інше) і виробів (кулі, яйця, піраміди, настільні прикраси), а також як колекційні зразки. Зміна законодавства України на цей вид виробництва дозволить широко використовувати ці породи в ювелірній справі. Прояви яшм, халцедонітів, опаловидних різновидів Завалівського родовища приурочені до розривних порушень, по яких утворювалися потужні кори вивітрювання лінійного та площадного типу. Зазначений тип порід зустрічаються у вигляді жил, прожилків, лінз, потужністю 5-40, іноді до 80 см і більше. Колір яшм переважно зеленувато-коричневий, біло-коричнево-зелений. Мінеральний склад яшм: халцедон (80-95%), кварцин (до 10%), гідроокси заліза (2-5%), селадоніт (1-2%) [9].

Маловивченими на родовищі є також мінеральні пігменти. На ділянці Хутір Андріївка під час геологічної розвідки і подальшої розробки виявлена вохристо-червона кора вивітрювання озалізених кварцитів, а в

межах кар'єру Південно-Східної ділянки – зелена кремнево-селадонітова порода. Попередні лабораторні дослідження показали задовільні якісні характеристики пігментів цих природних пігментів. Використання їх можливе при селективній виїмці, спеціальному окремому складуванні та розробці технології збагачення та підготовки для подальшого використання.

На Завалівському родовищі поширені піски у вигляді ліній 1–10 м серед порід балтської світи неогену та четвертинних відкладів, значна кількість піщанистої маси зосереджена також у відходах виробництва. Технічні випробування проводились у відповідності з вимогами ДСТУ 8736-77 "Песок для строительных работ" (втратили чинність), за якими сировина була визначена як непридатна для будівництва через дрібні розміри часток та наявність глинистих фракцій. На сьогодні буде доцільним провести випробування пісків згідно нових нормативних вимог з метою використання їх в якості основи чи компоненту сумішей при улаштуванні автомобільних доріг і аеродромів; як баластовий матеріал при благоустрої і планувальних роботах; як дрібний заповнювач бетонів (важких, легких, дрібнозернистих,

спеціального призначення та ін.), будівельних розчинів, сухих сумішей, заповнювач та компонент для виробництва силікатних бетонів щільної структури, ніздрюватих бетонів автоклавного і безавтоклавного тверднення, силікатної цегли, каменів, пресованих виробів і т.д. [4].

Основну масу порід розкриття на родовищі становлять глини та суглинки. Макроскопічно знизу вгору по розрізу можна виділити такі різновиди:

- зеленувато-сірі, сірі в'язкі, щільні пластичні глини, потужністю від 0,5 до 6,5 м (балтського віку, неоген). Поширені в присхиловій частині плато в районі Південно-Східної ділянки;
- червоно-бурі та бурі, що перекривають балтські майже повсюди. Піщанисті, в'язкі, містять карбонатні стягнення. Потужність 1-20 м;
- червоно-бурі та бурі суглинки (нижньо-середньочетвертинні). Щільні, з вапняковими стягненнями, потужністю 13-188 м
- палево-жовті, мікропористі, карбонатні, з дрібними вапняковистими стягненнями лесоподібні суглинки (верхньочетвертинні). Потужність 3-12 м.

Таблиця 2

Фізико-керамічні властивості глинистих порід (Янгічер М.М., 1982)

Види досліджень ДСТУ 9169-75	Ділянка родовища	Різновиди глинистих порід			
		Суглинок палево-жовтий	Суглинок бурий, червоно-бурий	Глина буре, червоно-буре	Глина зеленувато-сіра, сіра
Вміст глинистої складової, % (фракції до 0,01 мм)	Проміжна	34,64-42,32	20,48-57,32	32,28-54,88	20,26-70,88
	Південно-Східна	43,56-65,68	38,80-66,42	37,16-73,96	32,56-74,48
	Правобережна	24,44-43,28			
Середнє число пластичності	Проміжна	11,2-15,6	4,2-20,8	6,4-17,0	8,4-32,26
	Південно-Східна	7,6-18,6	6,5-22,8	11,4-27,8	12,2-48,3
	Правобережна	29-6,6			
Кількість крупнозернистих включень, %	Проміжна	0,35-2,70	0,46-6,50	0,16-2,57	0,53-8,34
	Південно-Східна	0,92-5,68	0,10-2,85	0,20-5,0	0,40-7,28
	Правобережна	0,40-4,65			
В т.ч. карбонатних, %	Проміжна	0,04-0,15	0,02-1,0	0,20-1,36	сліди-0,16
	Південно-Східна	0,04-3,56	0,01-2,68	0,04-3,53	0,02-1,45
	Правобережна	0,06-1,09			
Водопоглинання при 1100°	Проміжна	1,42-4,41	1,70-8,71		5,33-9,13
	Південно-Східна	5,55-14,02	3,48-10,92	5,55-8,49	0,61-9,74
	Правобережна				
Вогнетривкість	Проміжна	1220-1280	1120-1400		1290-1340
	Південно-Східна	-	-	-	-
	Правобережна	-	-	-	-

Проведені технологічні дослідження показали придатність глини та суглинків для виробництва черепиці та цегли, а також виробництва керамзитового гравію [5]. Відповідно до змін технічних вимог до глинистої сировини варто провести їх довивчення [10]. З сучасним розвитком будівельної промисловості існує принципова необхідність проведення додаткового вивчення якості, економічної доцільності селективної розробки при подальшому освоєнні родовища та використанню цієї сировини у виробництві.

Таким чином, окрім графіту, гранату та кварцитів і чарнокітів (на щєбін) сьогодні на Завалівському родовищі налічується ще кілька видів корисних копалин: піски, глини, яшми, мінеральні фарби, що вивчені недостатньо і потребують довивчення для окреслення перспектив їх подальшого освоєння і використання у виробництві.

Як **висновки**, варто заключити наступне:

1. Гранатова сировина родовища має на сьогодні значні перспективи, оскільки:

а) потреба в абразивній сировині з такими фізико-хімічними властивостями зростає у зв'язку з розширенням областей використання;

б) родовище є єдиним в Україні, що розробляє гранатові руди;

в) перспективи приросту запасів родовища значні як по простяганню так і на глибину;

г) за результатами досліджень сировина українських родовищ за технічними характеристиками не поступається гранатам світових виробників

2. Сировина хвостів флотації графітових руд заслуговує на подальше вивчення з метою застосування в галузі будівельних матеріалів, (виготовлення силікатної цегли, піноблоків, будівельних сумішей, використання для шляхового будівництва). В подальшому, при можливій розробці щільних руд кар'єру уваги заслуговує кварц-польовошпатова сировина, що становить 35-40% від вихідної маси.

3. Яшми, халцедоніти та опалоподібні утворення Завалівського родовища, з огляду на високі якісні показники, можуть знайти широке застосування в ювелірній справі.

4. Використання мінеральних пігментів можливе при селективній виїмці, спеціальному окремому складуванні та розробці технології збагачення та підготовки для подальшого використання.

5. Піски балтської світи родовища пройшли технічні випробування лише в якості будівельної сировини у відповідності з вимогами, що втратили чинність. Зважаючи на значний попит на дану сировину та розши-

рення сфер її застосування, необхідним є довивчення та підрахунок ресурсів пісків Завалівського родовища.

6. Глини та суглинки становлять основний відсоток порід розкриття, характеризуються високими технологічними показниками і потребують вивчення економічної доцільності їх селективної розробки.

Список використаних джерел:

1. Баланс запасів корисних копалин Державного фонду надр. Абразіва сировина. – 2012.
2. Баланс запасів корисних копалин Державного фонду надр. Будівельне каміння. – 2012.
3. Баланс запасів корисних копалин Державного фонду надр. Графіт. – 2012.
4. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт – ДСТУ Б В.2.7-32-95 – [Чинний від 31.10.1995 р] – К. : Держспоживстандарт України 1997. – (Національний стандарт України).
5. Будівельні матеріали. Сировина глиниста для виробництва керамічних будівельних матеріалів. Класифікація ДСТУ Б В.2.7-60-97 – [Чин-

ний від 11.03.1997р] – К. : Держспоживстандарт України 1997. – (Національний стандарт України).

6. Гранаты Украины как перспективное абразивное сырье / Мостыка Е.Н. [Электронный ресурс] // – Вісник Дніпропетровського університету – 2013. – №1 – С.80-84. Режим доступу до журналу: <http://nv.nmu.org.ua>.

7. Ковальчук Л.Н. Трещиноватость частиц граната из концентратов некоторых месторождений мира // Ковальчук Л.Н., Хартанович П.Н. // Геолого-мінералогічний вісник. – 2001. – №1 – С.106-109.

8. Металічні і неметалічні корисні копалини України / [Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І., Куліш Є.О., Нечасев С.В., Третьяков Ю.І., Шумлянський В.О. та ін]. – К.-Л. : Центр Європи. – Т. II – 2006. – 551 с.

9. Сурова В.М. Текстурно-колеристичні особливості та гемологічні характеристики яшм Завалівського родовища графіту. Сборник научных трудов SWorld. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/geology-311/general-and-regional-geology-311/7881-teksturnokoloristichn-osoblivost-ta-gemologichn>.

10. Требования промышленности к качеству минерального сырья. Справочник для геологов. Гранат. – М., 1962. Вып. 33.

Надійшла до редколегії 11.03.13

Н. Лыжаченко, асп.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

В. Николаевский, глав. геолог

ЧАО "Завальевский графитовый карьер", Завалье

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ЗАВАЛЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАФИТА

Завальевское месторождение эксплуатируется на данном этапе как комплексный объект. Традиционно на месторождении разрабатываются графитовые руды. В качестве сопутствующих полезных ископаемых используются только кварциты и чарнокиты, складируются гранатовые руды. Остальные сопутствующие компоненты изучены недостаточно. Это глины и суглинки, пески, минеральные краски, продукты обогащения графитовых руд, яшмы, халцедониты, которые стали распространенными на месторождении. Необходимо провести их доизучение с целью селективной выемки при дальнейшей разработке месторождения.

N. Lyzhachenko, PhD student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

V. Nikolaevskiy, chief geologist

Zavalivskiy graphite mine, Zavalie

PROSPECTS FOR THE USE OF THE RESOURCE BASE ZAVALLYA GRAPHITE DEPOSITS

Zavallya deposit exploited at this stage as a complex object. Traditionally the field developed graphite ore. As related components used only charnockites and quartzites, stored garnet ore. Other related components studied not enough. These clays and loams, sands, mineral paint, graphite ore beneficiation products, jasper, that came on the field expanded greatly. It is necessary to hold them to study for selective extraction in the further development field.

УДК 553.04

Є. Антаков, асп.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

СУЧАСНИЙ СТАН СВІТОВОГО ТА УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ МАРГАНЦЮ: ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Незважаючи на величезні запаси марганцю, Україна імпортує у десятки разів більше марганцевих руд, ніж експортує. Шляхами вирішення цієї проблеми є пошук власних альтернативних джерел рентабельних марганцевих руд та впровадження на виробництві новітніх технологічних схем збагачення руд. Проаналізовано український та світовий ринок марганцю, виділені основні проблеми мінерально-сировинної бази марганцю України.

Вступ. Україна є однією із провідних країн у світі за споживанням та виробництвом марганцевої продукції (феромарганець, силікомарганець, металічний марганець та ін.). За кількістю всіх розвіданих запасів марганцевих руд Україна займає друге місце у світі (після Південно-Африканської Республіки) і перше місце серед країн Європи. Але більша частина запасів України складається з відносно бідних карбонатних руд (близько 80%), де середній вміст марганцю складає 20,7% і лише невелика частина запасів – порівняно легко збагачувальні оксидні руди (15,8%) та оксидно-карбонатні (7,7%), де вміст марганцю, відповідно, складає 28,6% та 25%. Середній вміст металу в усіх балансових запасах України складає 23,9%, тоді як в інших країнах видобувають руди із вмістом марганцю 35-62% (найчастіше – 40-45%). Концентрати оксидних руд України містять 37-45% марганцю, карбонатних – тільки 29-31%. На закордонних заводах виробляють концентрати з вмістом марганцю не нижче 48-50% [4, 5, 6]. Саме ці об'єктивні проблеми укра-

їнської МСБ марганцю зумовлюють невисоку конкурентоспроможність вітчизняної марганцеворудної промисловості, особливо у зв'язку з випереджаючим відпрацюванням запасів відносно багатих оксидних руд. Тому головною проблемою є об'єктивна геолого-економічна оцінка української мінерально-сировинної бази (МСБ) марганцю з урахуванням світових чинників і розробка шляхів її подальшого розвитку.

Мета роботи. Метою даної роботи є об'єктивна оцінка мінерально-сировинної бази марганцю в умовах світової фінансової та економічної кризи 2008-2012 рр, завданням – аналіз світового ринку марганцю та основних тенденцій його розвитку, відзначення головних напрямків першочергових досліджень та їх цілей.

Для оцінки динамічних процесів та тенденцій на ринках необхідно провести:

- аналіз сировинної бази марганцю України та світу;
- визначення динамічних показників темпів виробництва та споживання марганцю.

Виклад основного матеріалу. Марганець використовується головним чином у чорній металургії: майже 95% – для розкислення і десульфуризації сталі і чавуну та на добавки у спеціальні сталі, а також для отримання різноманітних сплавів кольорових металів, створення антикорозійних покриттів. У вигляді сплавів із залізом (феромарганець) і кремнієм (силікомарганець) використовується у виробництві рейкової та конструкційної сталей. Широке застосування в промисловості знаходять манганати (сплави марганцю, нікелю, міді, що мають високий електричний опір), а також марганцевмісні бронзи, сплави для комп'ютерних елементів пам'яті тощо. Значно меншою мірою (не більше 5%) марганець застосовується в електротехнічній промисловості для виробництва гальванічних елементів, у виготовленні скла та олів, барвників, у медицині. Оксиди марганцю, крім того, використовуються як каталізatori та окиснювачі [13].

Питання аналізу стану мінерально-сировинної бази марганцю висвітлені у ряді монографій та статей [4; 10, с. 153; 11, с. 76-83; 12]. Натомість, проблеми економічної геології вивчені мало [2;3; 8, с. 143-151]. У статті "Проблеми геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази України" [9, с. 8-14] детально визначені геолого-економічні проблеми МСБ марганцю України, однак, аналіз закінчується 2009 р. Ця стаття в багатьох аспектах є логічним продовженням вищезазначеної, у ній наведені останні дані і проаналізовано стан та розвиток МСБ марганцю у 2008-2012 рр.

Обсяг світових запасів марганцевих руд за оцінками USGS на початок 2011 р склав 647 млн т. Світові запаси по країнах розподілені у наступних співвідношеннях: на долю України припадає 22% запасів, на долю ПАР – 19%, Бразилії – 17%, Австралії – 14%, Індії – 9%. Менше 9% світових запасів містять Габон, Китай, Мексика [15].

Основні потужності з обробки марганцевих руд і виробництва концентратів, що містять марганець, знаходяться в Китаї, який у загальносвітових показниках має частку у 35%. Останні три роки виробничі потужності Китаю залишалися незмінними. У цілому об'єми світових потужностей з виробництва марганцевої сировини у 2010 р збільшилися на 5% до 57,3 млрд т. Основне збільшення потужностей можна відмітити по країнах Азії (крім Китаю) на 29% та М'янмі на 67%. Зниження потужностей відбулося в Америці і країнах Європи на 2%. За оцінками аналітиків International Manganese Institut (IMNI) [13], у 2011 р обсяги потужностей з видобутку марганцю збільшилися на 4% до 59,3 млн т.

Споживання марганцевої руди напряму залежить від обсягів виробництва сталеливарної промисловості, що стабільно зростали до 2008 р, але з другої половини 2008 р різко впали через зниження попиту на марганцеву руду, силікомарганець та феромарганець.

Світовий видобуток марганцевої руди стабільно зростає протягом останнього десятиліття. Слід зазначити, що світовий видобуток марганцевої руди, після різкого падіння у кризовому 2009 р, у 2010-2011 рр демонстрував зростання та у 2011-2012 рр обсяги світового видобутку руди на 2 млн т перевершили цифри докризового 2008 р, що є позитивною тенденцією. Світове виробництво силікомарганцю також показувало стабільне зростання, обсяг виробництва у 2011 р вже перевищив аналогічний обсяг у докризовому 2008 р. Такі тенденції світового ринку дають Україні кращі шанси на експорт марганцевої продукції за кордон, але порівняно низька якість вітчизняних руд і високі затрати на переробку переважаючих карбонатних руд обумовлюють необхідність пошуку нових джерел марганцевої руди та збільшення ефективності інвестицій [15].

Таблиця 1

Світовий видобуток марганцевої руди (за даними United States Geological Survey)

2007	2008	2009	2010	2011	2012
12,6 млн т	14 млн тон	11 млн т	13,9 млн т	16 млн т	16 млн т

Станом на 01.01.2012 р Державним балансом запасів корисних копалин на території України враховуються запаси Нікопольського, Федорівського, Велико-Токмацького родовищ та техногенного родовища "Шламосьховище ім. Максимова". Сумарні балансові запаси марганцевих руд складають за категоріями А+В+С₁ – 2192212,69 тис т, кат. С₂ – 197272,9 тис т. Позабалансові запаси підраховані у кількості 59 942,0 тис т. Крім того, в охоронному цілюку (кат. А+В+С₁) – 20 392,0 тис т, кат. С₂ – 222,0 тис т. Видобуток за 2011 р склав 3415,21 тис т, втрати – 417,0 тис т.

У цілому по Україні, порівняно з 2010 р, запаси марганцевих руд категорії А+В+С₁ зменшилися на 3797,6 тис т.

У 2011 р розроблялося 5 шахтних та 8 кар'єрних полів Нікопольського родовища двома гірничозбагачувальними комбінатами. У Східній частині Нікопольського родовища видобувні роботи проводилися ВАТ Марганецьким ГЗК, в Західній – ВАТ Орджонікідзевським ГЗК. Збагачення видобутих у 2011 р руд здійснювалося на чотирьох збагачувальних фабриках Грушевській (I та II), Чкаловській і Олександрівській.

Наприкінці 2012 р у пресі з'явилися повідомлення про те, що найбільший китайський виробник електролітичного марганцю HCH Group (Hubei Changyang Hongxin Industrial Group) зацікавився розробкою Велико-Токмацького родовища у Запорізькій обл, за інформацією юридичної компанії, що є консультантом для китайського інвестора. "Запланована виробнича потужність видобутку марганцевої руди – близько 5 млн т на рік, виробництва електролітичного марганцю – близько

200 тис т на рік. Загальний об'єм інвестицій перевищить 1 млрд доларів. Проект розрахований на поетапне введення протягом 20 років" – говориться у повідомленні юридичної компанії [17].

Нагадаємо, що загальні запаси Велико-Токмацького родовища складають 1 726,6 млн т, підтверджені – 1 578,2 млн т; середній вміст Mn у рудах (у %): оксидні – 31,0; оксидно-карбонатні – 27,2; карбонатні – 23,4. головні типи руд на родовищі оксидні, оксидно-карбонатні та карбонатні, останні переважають (87%). Навіть незважаючи на порівняно низькоякісні руди (відносно невеликий вміст марганцю та переважання важкозбагачуваних карбонатних руд) китайський інвестор готовий вкладати інвестиції в Велико-Токмацьке родовище. Це пов'язано, в першу чергу, зі зростаючим попитом на дану сировину на Китайському ринку та виснаженням власних родовищ марганцю.

В Україні у 2010 р загальні обсяги виробництва марганцевого концентрату зросли на 71% порівняно з обсягами 2009 р до 1,59 млн т. Виробництво марганцевих феросплавів також збільшилося у 2010 р на 120% (порівняно з 2009 р) для феромарганцю, на 27% – для силікомарганцю і на 4% для електротермічного металічного марганцю. Нікопольський завод феросплавів виробив 704 600 т силікомарганцю та 210 600 т феромарганцю, на 21% та 170% відповідно більше, ніж у 2009 р.

Запорізький завод феросплавів виробив у 2010 р 152 100 т силікомарганцю, 69500 т феромарганцю, 152100 т електротермічного металічного марганцю, на 32%, 32% і 4% відповідно більше, ніж у 2009 р.

Виробництво силікомарганцю на Стахановському заводі феросплавів збільшилося до 83 700 т, що на 91% більше порівняно з 2009 р [16].

У 2011 р українські ГЗК скоротили виробництво марганцевої сировини порівняно з 2010 р на 30,5% до 1,349 млн т.

У січні-листопаді 2012 р українські ГЗК скоротили виробництво марганцевої сировини порівняно з аналогічним періодом минулого року на 13,5% до 1,087 млн т.

Так, за 11 місяців 2012 р Марганецький ГЗК скоротив виробництво марганцевого концентрату на 3,1% до 658,9 тис т.

У той же час Орджонікідзевський ГЗК за вказаний період збільшив виробництво марганцевого концентрату на 36,7% до 304,4 тис т, але скоротив виробництво марганцевого агломерату на 65,1% до 123,4 тис т.

Нагадаємо, що у 2011 р українські ГЗК скоротили виробництво марганцевої сировини порівняно з 2010 р на 30,5% до 1,349 млн т. [16].

Таким чином, обсяги виробництва марганцевої продукції українськими ГЗК у 2010 р зросли порівняно з 2009 р на 71%, у 2011 р скоротилися порівняно з 2010 р на 30,5%, у 2012 р знов скоротилися порівняно з 2011 р на 13,5%. Як бачимо, з 2010 р після різкого збільшення обсягів виробництва останні 2 роки спостерігається скорочення потужності українських ГЗК. Як видно на рис. 1, 2, 3, українська сталеливарна промисловість компенсує нестачу власної сировини збільшенням імпорту, що є дуже негативним фактором для конкурентоспроможності вітчизняної марганцеворудної промисловості та негативно впливає на сальдо торговельного балансу держави. Ці економічні тенденції останніх років ще гостріше підіймають питання пошуку нових джерел власного марганцю та збільшення ефективності розробки українських родовищ.

За даними Держкомстату, Україна імпортує значно більше руд та марганцевих концентратів, ніж експортує. Основними країнами-імпортерами для України є Габон,

Гана, Південна Африка, Казахстан, Бразилія, Австралія. Україна експортує руди до Росії (2 тис т за 2010 р, 71 т за 2011 р), Чехії (6,8 тис т за 2010 р), Румунії (34 тис т у 2011 р), США (34 тис т за 2010 р), Грузії (35 тис т за 2011 р) (рис. 1, 2, табл. 1).

На рис. 3 ілюструється пряма залежність від світового виробництва сталей (в яких марганець є одним з основних компонентів) та експортом марганцевих руд з України. Це ілюструє взаємозалежність вітчизняного та світового ринків і дає змогу краще розуміти тенденції та зв'язки цих ринків.

У сучасному виробництві феросплавів переважає виробництво з концентратів окисних руд. Концентрати карбонатних руд мають обмежене використання через їхній високий вміст кремнезему. Але зменшення запасів окисних руд призводить до все більшого використання карбонатних, що ставить проблему пошуку більш ефективних схем їхнього збагачення. Основними завданнями збагачення руд є зменшення кількості фосфору (дефосфорація), кремнезему та збільшення частки марганцю в концентраті. Найбільш ефективною процедурою збагачення є промивка, у результаті якої доля марганцю у руді збільшується у 1,7–2,0 рази, а кремнезема зменшується у 2,5–2,7 рази порівняно з вихідною рудою. При зменшенні крупності дроблення вихідної руди з 50< до 25 і 8 мм збільшується вихід рудних шламів відповідно на 2,6 і 5,4% при одночасному збільшенні у них масової частки марганцю на 1,3–1,6%. На даний час існують нові технологічні схеми збагачення руд [1, 7]. Проте, за даними [1], механічні схеми збагачення марганцевих руд, що наразі застосовуються на виробництві, не дають змоги знизити вміст фосфору у концентраті до необхідного значення, через це більш перспективним є електрометалургійний спосіб дефосфорації марганцеворудної сировини [1]. Також існують технології, що використовують магнітну сепарацію та вилуговування при збагаченні марганцевих руд [7].

Динаміка експорту-імпорту марганцевих руд у вартісному вимірі

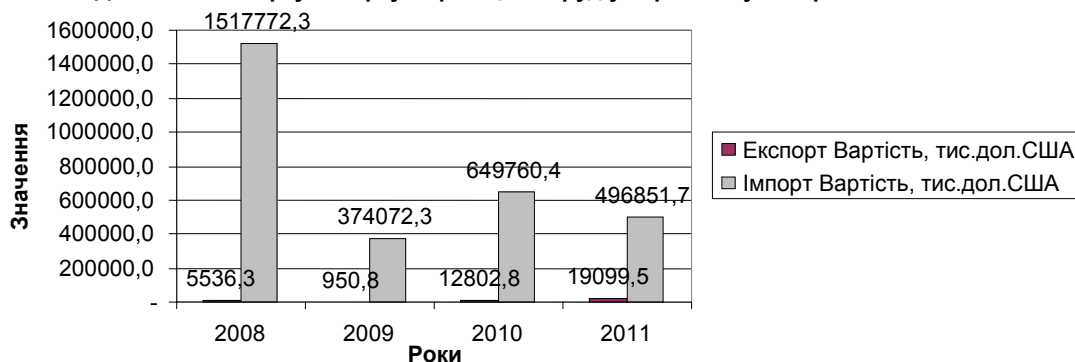


Рис. 1. Динаміка експорту-імпорту марганцевих руд у вартісному вимірі

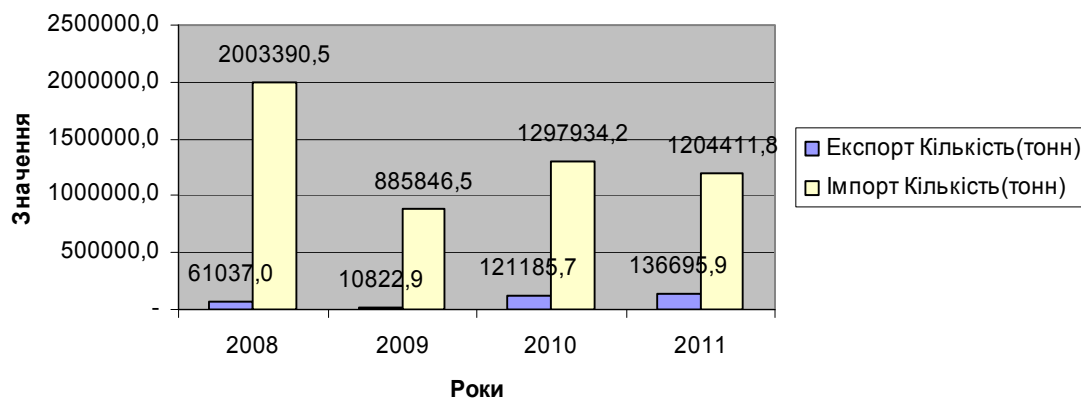


Рис. 2. Динаміка експорту-імпорту марганцевих руд у кількісному вимірі

Таблиця 2

Порівняння експорту та імпорту в Україні марганцевої руди

Рік	Експорт		Імпорт	
	Кількість(тон)	Вартість, тис.дол.США	Кількість(тон)	Вартість, тис.дол.США
2008	61037,0	5536,3	2003390,5	1517772,3
2009	10822,9	950,8	885846,5	374072,3
2010	121185,7	12802,8	1297934,2	649760,4
2011	136695,9	19099,5	1204411,8	496851,7

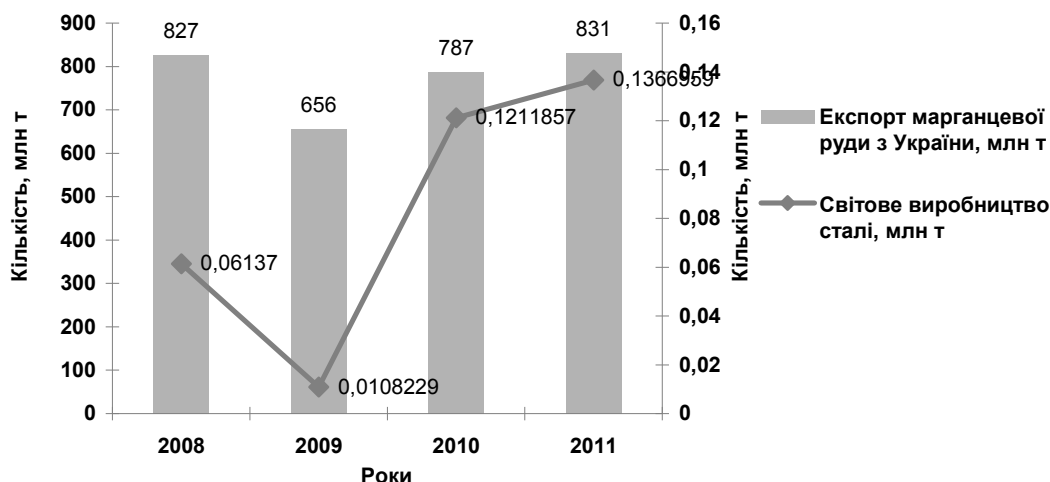


Рис. 3. Порівняння світового виробництва сталей з експортом марганцевої руди з України за 2008–2011 рр.

Геолого-економічні проблеми марганцеворудної МСБ України.

Як відомо, на сьогоднішній день перед марганцеворудною галуззю України стоїть низка серйозних проблем, які можуть негативно вплинути на обсяги видобутку та виробництва марганцю, її конкурентоспроможність на світовому ринку тощо. Ці негативні тенденції обумовлюються як власне проблемами МСБ України (низька якість руд відомих родовищ, низький вміст марганцю в рудах, перевагою низькоякісних карбонатних руд над якісними оксидними та змішаними тощо), так і негативними тенденціями на світовому ринку марганцю, що обумовлюються, в основному, світовою економічною кризою. Також, за даними [9], вітчизняна МСБ марганцевих руд характеризується значним перевищенням категорії промислових запасів над прогнозними та перспективними ресурсами. В теорії виснаження мінеральних ресурсів випадки, коли співвідношення $P_1+P_2+P_3 / A+B+C$ менше 1, розглядаються як приклади кількісного виснаження найякіснішої частини родовищ корисних копалин. Так, співвідношення запасів карбонатних (середній вміст марганцю становить 31%) і оксидних (23,4%) марганцевих руд вітчизняної МСБ становить 6:1, а співвідношення кількості ресурсів і розвіданих запасів становить 0,2.

Однак, незважаючи на наявні проблеми, світовий ринок марганцю показує в останні роки (2010-2012 рр) стає зростання, збільшується видобуток марганцевих руд, але, слід зазначити, що ціни на марганцеву сировину коливаються, не показуючи стабільного зростання. Однак, об'єктивні проблеми МСБ марганцю України не зникають (проблеми використання карбонатних марганцевих руд, технології їхньої переробки з невисокою рентабельністю тощо), що обумовлює актуальність проведення геолого-економічних досліджень за наступними основними напрямками:

- аналіз потреб України в марганцеворудній сировині для металургії та існуючих способів їхнього забезпечення з урахуванням кон'юнктури світового ринку;
- визначення та оцінка природно-ресурсних передумов видобутку марганцеворудної сировини в Україні

за геолого-економічними характеристиками запасів і прогнозних ресурсів марганцю;

- аналіз мінералого-геохімічних особливостей різних типів марганцевих руд;
- оцінка технологічних передумов видобутку і збагачення марганцеворудної сировини з урахуванням головних тенденцій модернізації технологічних процесів у металургії та сучасних економічних умов в Україні;
- огляд сучасних підходів та методик економічної оцінки родовищ корисних копалин та їхня адаптація до родовищ марганцеворудної сировини України;
- виділення показників, які характеризують тенденції розвитку ринку мінеральної сировини, і дають можливість прогнозувати розвиток ринку;
- виділення геолого-економічних критеріїв, що впливають на ефективність ГРР, на прикладах відкритих та розвіданих у радянські часи родовищ через аналіз їхньої рентабельності впродовж розробки та встановлення ефективності інвестиції в залежності від геолого-економічних показників (геолого-промислового типу руд, кількості запасів, технологічних властивостей руд тощо);
- розробка методики вартісної оцінки родовищ та рудопроявів на ранніх стадіях ГРР, що дасть змогу за аналізом відомих на ранніх стадіях ГРР геолого-економічних показників встановити приблизну рентабельність об'єкту та доцільність подальшого інвестування в подальшу розвідку та розробку.

Висновки.

1. В останні роки український марганцеворудний та феросплавний ринки показують негативну динаміку. В аспекті взаємопов'язаності світового та українського ринків марганцю ця тенденція діє змогу в майбутньому збільшити видобуток та експорт українських концентратів та феросплавів, за умови знаходження рентабельних джерел марганцю та способів їхньої ефективної переробки (в першу чергу, карбонатних руд).

2. Низка основних проблем марганцеворудної галузі України (низька якість руд, велика собівартість їх збагачення тощо) призвели до значного переважання імпорту марганцевих руд в Україну над експортом. Цей про-

цес негативно впливає на сальдо торгівельного балансу країни. Для вирішення цієї проблеми потрібен пошук альтернативних власних джерел марганцевої руди та впровадження на виробництві ефективних технологій переробки та збагачення марганцевих руд.

3. Одним з найперспективніших напрямків може бути розробка техногенних родовищ (шламосховищ), що є джерелами відносно якісних руд на марганець та супутні компоненти. Також розробка техногенних родовищ вирішує екологічні проблеми. У світовій практиці є приклади переробки вторинних ресурсів, які містять 9-15% марганцю, а також супутні компоненти (золото, срібно, рідкісні метали тощо). Масова частка марганцю в Українських шламосховищах складає 10,5–17,6%.

Список використаних джерел:

1. Бызов В.Ф., Воробьев Н.К. Рациональное применение магнитной сепарации при обогащении марганцевых руд // <http://www.miningexpo.ru/articles/341>.
2. Гурський Д.С. Концептуальні засади державної мінерально-сировинної політики щодо використання стратегічно важливих для економіки країни корисних копалин. – Львів: ЗУКЦ, 2008.
3. Кулиш Е.А., Плотников А.В. Экономическая геология марганцевых руд. К.: Логос, 2007.
4. Марганцевые руды Украины/Ред. Е.Ф. Шнюков. К.: Наукова думка, 1993.

5. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Т. 1. Металічні корисні копалини// Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І. та ін. Київ-Львів: Центр Європи, 2005.

6. Металічні корисні копалини України. Підручник/Михайлов В.А., Шевченко В.І., Огар В.В. та ін. К.: ВПЦ "Київський університет", 2007.

7. Мизерницький Л.А., Тищенко К.І., Тимофеева М.Х., и др. Технология глубокого обогащения карбонатных марганцевых руд // http://www.sgb.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=183:ryda&catid=2:gornoe-delo&Itemid=4.

8. Михайлов В.А. Мінерально-сировинна база металічних корисних копалин України // Еволюція докембрійських гранітоїдів і пов'язаних з ними корисних копалин у зв'язку з енергетикою Землі і етапами її тектоно-магматичної активізації. К.: УкрДГРІ, 2008.

9. Михайлов В.А., Курило М.М. Проблеми геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази марганцю України // Мінеральні ресурси України. К., 2010. Вип. 3.

10. Мінерально-сировинна база чорних та кольорових металів. Стан та перспективи//Матеріали науково-технічної наради. К. Держгеолслужба України: вид-во УкрДГРІ, 2002.

11. Шнюков Е.Ф., Кулиш Е.А., Орловский Г.Н. и др. Марганцевые руды Украины//Геол.журн. 1992. №5.

12. Шнюков Е.Ф., Орловский Г.Н., Панченко Н.А. и др.Марганцевые руды Украины. К.: Наукова думка, 1993.

13. www.manganese.org.

14. www.mineral.ru.

15. U.S. Geological Survey, mineral yearbooks: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/manganese/index.html#myb>.

16 Українська асоціація виробників феросплавів: <http://www.ukrfa.org.ua/>.

17. Інформаційне агентство "Уніан": <http://economics.unian.net/rus/detail/136518>

Надійшла до редколегії 22.03.13

Е. Антаков, асп.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МИРОВОГО И УКРАИНСКОГО РЫНКА МАРГАНЦА: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ

Несмотря на огромные запасы марганца, Украина импортирует в десятки раз больше марганцевых руд, чем экспортирует. Путем решения этой проблемы является поиск собственных альтернативных источников рентабельных марганцевых руд и внедрение на производстве новых технологических схем обогащения руд. Проанализированы Украинский и мировой рынок марганца, выделены основные проблемы минерально-сырьевой базы марганца Украины.

I. Antakov, PhD student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

THE CURRENT STATE OF WORLD AND UKRAINIAN MARKET OF MANGANESE: MAJOR PROBLEMS AND TRENDS

Despite the huge reserves of manganese, Ukraine imports is ten times more manganese ore than exports. Solutions to this problem is to find their own alternative cost-effective manganese ore and the implementation of new technological scheme of ore enrichment. Ukrainian and world markets of manganese were analyzed, the main problems of Ukrainian mineral resource base manganese were identified.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.38.628.1

О. Шевченко, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., доц.,
С. Корнєєнко, канд. геол.-мін. наук, доц.,
О. Діхтярук, студ.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

АНАЛІЗ ПРИЧИН ЗБІЛЬШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАЛІЗА У ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ ВОДОЗАБОРІВ МІСТА ШЕПЕТІВКА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)

Шляхом аналізу хімічного складу підземних вод встановлено джерела найбільш імовірного надходження заліза до водозаборів м. Шепетівка Хмельницької області, що дозволило з достатньою достовірністю визначити форми перебування заліза в підземних водах та запропонувати найбільш доцільні технології знезалізнення.

Постановка проблеми. Централізоване водопостачання м. Шепетівка існує з 1932 р. До 2007 р водопостачання населення та підприємств м. Шепетівка відбувалось Шепетівським КПВКГ шляхом експлуатації водозаборів "Дубовий гай" та "Кам'янка". Водозабір "Кам'янка" знаходиться на відстані 8 км від міста, тому експлуатувати його стало нерентабельно. Водозабір "Дубовий гай" експлуатується більш ніж сімдесят років, тому планується його закриття. Сумарний максимальний водовідбір по даних водозаборах становив у 1995 р

4493,2 тис м³/рік, та з часом він поступово знижувався і у 2008 р досяг 1836,6 тис м³/рік (5015,3 м³/добу). За розрахунками Шепетівського КПВКГ при цілодобовому водопостачанні потреба у воді складає 8109,6 м³/добу, а на перспективу 9000 м³/добу. За своєю потужністю введений у 2007 р. водозабір "Лісова галявина" здатен задовольнити водопотреби міста, але постала серйозна проблема із підвищенням вмістом загального заліза у підземних водах його 7 свердловин. Цей водозабір розташований в 1,2-2 км на захід від м. Шепетівка на ліво-

© Шевченко О., Корнєєнко С., Діхтярук О., 2013

му березі р. Гуска (басейн р. Горинь) (рис. 1). Щорічний водовідбір на ньому нині складає 3225,8 тис м³, на во-

дозаборі "Дубовий Гай" – 517,1 тис м³, на водозаборі "Кам'янка" – 0,29 тис м³.

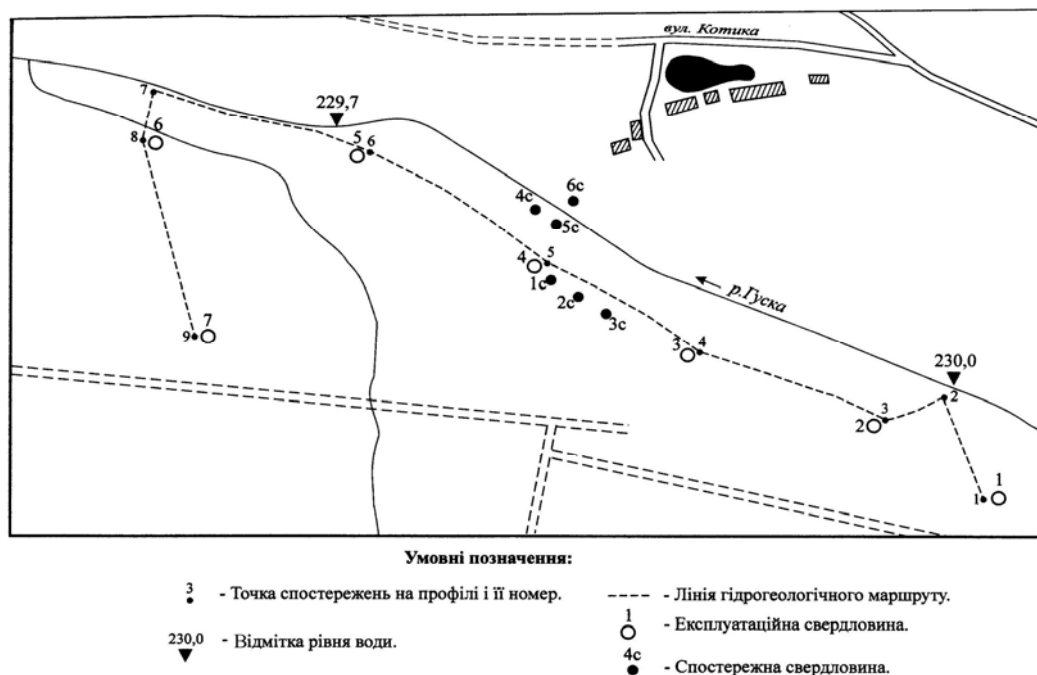


Рис. 1. Схема розташування свердловин на водозаборі "Лісова Галлявіна"

У двох із трьох експлуатаційних водозаборів (на водозаборі "Кам'янка" – 2,12 мг/дм³, "Лісова Галлявіна" – 2,98 мг/дм³) концентрації заліза суттєво перевищують ГДК при нормі 0,2 мг/дм³ (ДержСанПіН 2.2.4-171-10, Додаток 2).

Означеними водозаборами спільно експлуатується водоносний горизонт у відкладах сеноманського ярусу верхньої крейди та водоносний горизонт у відкладах поліської серії середнього і верхнього рифею. Водовміщуючі відклади представлені, відповідно, піщано-кремневою сумішшю та пісковиками дрібнозернистими. У зв'язку із відсутністю водотривких прошарків між водоносними горизонтами вони утворюють єдиний водоносний комплекс потужністю близько 25 м. У покрівлі комплексу залягають суглинки та глини четвертинної системи, в підосві – відклади нижнього протерозою. Крім геологічної захищеності, основний водоносний комплекс здебільшого мав за природних умов і гідродинамічну захищеність: при тому, що покрівля водоносного комплексу залягає на глибині 9-17 м, величина напору у свердловинах становить 7-15 м. Статичні рівні встановлюються переважно на глибині 0,09-0,4 м від поверхні (свердловини №№ 1-3, 5) і лише в свердловинах № 4-1, 09 м та № 6 і 7 – по 5 м. Під час експлуатації з дебітами 45-85 м³/год зниження рівня досягає 4,5-12,0 м, що обумовлює більшу вразливість підземних вод до перетікання ґрунтових. Глибина залягання дзеркала ґрунтових вод змінюється від кількох десятків сантиметрів в заплавах річок і болотах до 3 м на терасах.

Метою дослідження є встановлення джерела можливого надходження заліза до водозаборів. Ідентифікація джерел забруднення дозволить з достатньою достовірністю уявити форми перебування заліза в підземних водах та запропонувати технологію очищення води з врахуванням можливих поступових змін складу води, обумовлених надходженням у водоносний комплекс поверхневих вод.

Основний матеріал. За хімічним складом води водоносного комплексу гідрокарбонатні магнієво-кальцієві. Загальна мінералізація становить 0,6-0,78 г/дм³. Загальна твердість перевищує допустимі

норми (7,0 мг-екв/дм³, ДержСанПіН 2.2.4-171-10) і змінюється від 7,7 до 10 мг-екв/дм³. Зміни твердості в даному діапазоні погоджено з санітарними службам. За фізичними властивостями та вмістом заліза вода також не відповідає ГДК (вміст загального заліза 1,7-3,92 мг/дм³, що вище граничних концентрацій у 8,5-19,6 рази). Вода, що видобувається, проходить водопідготовку, в процесі якої проводиться знезалізнення та очищення до питної якості.

Джерела забруднення підземних вод відсутні. Рівень води в р. Гуска, найближчій до найбільш потужного водозабору "Лісова Галлявіна", коливається в залежності від кількості опадів і не залежить від роботи водозабору, тобто зв'язок між експлуатаційним водоносним комплексом та річкою відсутній. Досліджуючи тенденцію посезонного коливання концентрації заліза було встановлено, що найбільших значень концентрація набуває у весняний період – 3,63 мг/дм³, що звичайно співпадає з періодом максимального інфільтраційного живлення, найменших в осінній – 2,7 мг/дм³. Однак, при порівнянні динаміки змін концентрації заліза з кількістю опадів за останні 11 років, ніяких закономірностей не було встановлено.

У відкритих водних джерелах залізо може утримуватися у вигляді органічних сполук, частіше за все колоїдних. Прикладом органічного сполучення заліза є гуміново-кисле залізо, яке нерідко присутнє в болотах та річках, які вони живлять. Води, які вміщують гуміново-кисле залізо, зазвичай відрізняються підвищеною кольоровістю. Водозабори "Кам'янка" та "Лісова галлявіна" знаходяться на невеликій відстані від боліт (близько 100 м). Колірність вод коливається від 8,6 до 45,45 град. при нормі 20 град. Можна зробити висновок про декілька шляхів потрапляння розчинних органічних комплексів заліза у водоносний горизонт: 1) одним із джерел живлення експлуатаційного водоносного комплексу може бути перетікання вод із нижчезалягаючого горизонту у відкладах нижнього протерозою, останній має більш значне поширення по площі і місцями меншу глибину залягання, а також живиться поверхневими

водами та опадами, що свідчить про можливий гідродинамічний зв'язок з болотами; 2) можлива присутність фаціальних вікон у водоносному комплексі, через які відбувається інфільтрація болотних вод; 3) дані болота живляться певною мірою за рахунок підземних вод, що не виключає можливу циркуляцію деякої кількості болотних вод у водоносний комплекс.

Використовуючи гідрогеохімічний метод дослідження, можна зробити певні висновки, що підтверджують справедливості першої гіпотези. Найближче до поверхні залягають суглинки: на водозаборі "Кам'янка" їх потужність складає 3,5 м, а на водозаборі "Лісова Галлявіна" від 8 до 12 м (рис. 2).

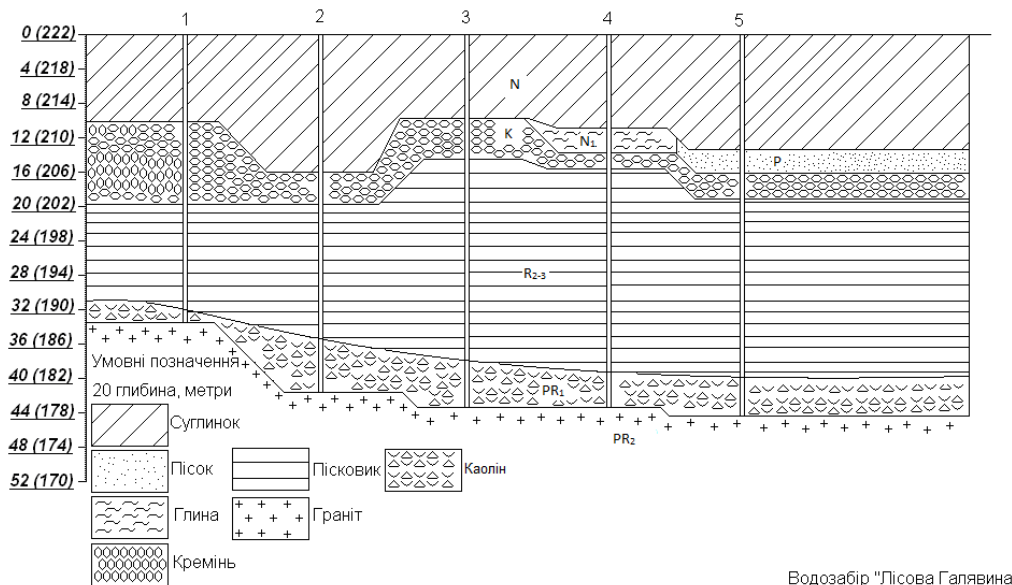


Рис. 2. Геологічний розріз свердловин водозабору "Лісова Галлявіна"

В останньому випадку їх потужності достатньо, щоб сорбувати залізо з інфільтраційних вод (тобто низьке потраплення заліза у водоносний горизонт в значній кількості виключається). Простежується обернена залежність між захищеністю водоносних горизонтів (комплексний показник, що враховує потужність суглинків у покрівлі і відстань до найближчих боліт) та вмістом легкоокиснюваної органічної речовини (перманганатна окиснюваність (ПО). Збільшення захищеності підземних вод обумовлює відновні умови, за яких ПО води мінімальна. Також для відновних умов характерні більш низькі концентрації сульфатів (сульфатами збагачені ґрунтові води поліських торфовищ [1], також вони є ознакою окиснення сульфідів, що містяться в кристалічних породах нижньопротерозойської товщі). Наявність відновних умов та утрудненість інфільтраційного живлення остаточно підтверджується присутністю аміаку та відсу-

тністю нітратів і нітрит-іонів у підземних водах основних водозаборів. Наявність кремнію у водовміщуючих відкладах сеноманського ярусу сприяє зменшенню органічної речовини за рахунок сорбції, про що свідчать також малі концентрації хлоридів (табл. 1) та невисокі – натрію (до 16 мг-екв/дм³). Слід зауважити, що ґрунтові води мають гідрокарбонатний натрієво-кальцієвий склад, мінералізацію до 0,5 г/дм³, помірну твердість.

Тому більш обґрунтованим можна вважати сценарій надходження заліза за рахунок висхідного перетікання та бічного притоку від областей живлення експлуатаційного комплексу та нижчезалягаючого водоносного горизонту у нижньопротерозойських відкладах під час експлуатації водозаборів. Порівнюючи річні витрати та дебіти свердловин із вмістом заліза у воді, можна зробити висновок про існування близької до прямої залежності вмісту загального заліза від потужності водозабору (рис. 3).

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу і властивостей підземних вод з водозаборів

Показник	Кам'янка	Лісова Галлявіна	Дубовий гай	Залізничний водозабір	Держстандарт
Кольоровість в град.	35	30	7,14	7,14	20
Мутність, мг/дм ³	1,4	2,6	0	0	1,5
Сухий залишок мг/дм ³	448,8	411,2	652,8	790,8	1000
Окиснюваність мг О ₂ /дм ³	7,7	1,16	3,35	2,2	4,0
Аміак мг/дм ³	0,45	0,21	0	0,35	2
Нітрити, мг/дм ³	0	0	0	0	3,3
Нітрати, мг/дм ³	0	0	64,6	0,71	45
Залізо, мг/дм ³	2,12	2,98	0,025	0,012	0,2
Хлориди, мг/дм ³	40,7	7,35	73,5	19,6	350
Лужність, мг-екв/дм ³	4,5	7,8	7,1	6,25	не нормується
Загальна жорсткість, мг-екв/дм ³	6,7	7,7	10,8	7,3	7,0
Сульфати, мг/дм ³	45,6	12	103,2	117,6	500
Кальцій, мг-екв/дм ³	5,7	6,1	9,1	5,8	Контролюється жорсткістю
Магній, мг-екв/дм ³	1,0	1,6	1,7	1,5	— " —
pH	7,3	7,15	7,0	7,5	6,0-9,0

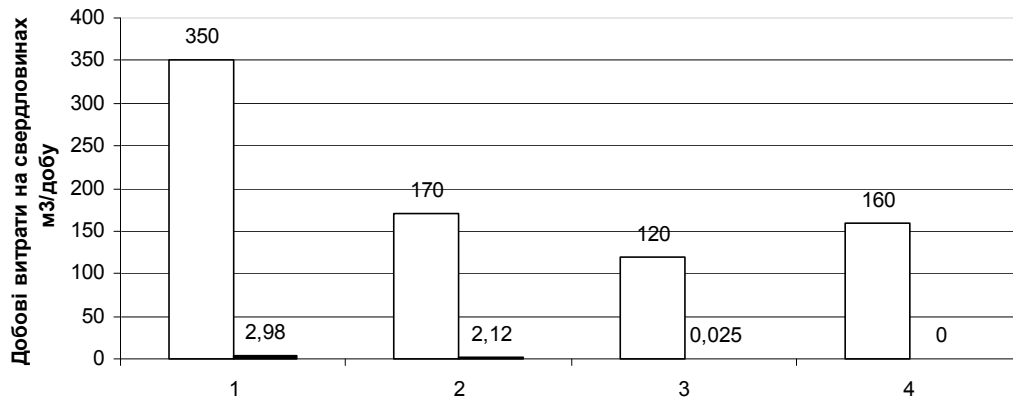


Рис. 3. Залежність між добовими витратами (м³) та концентраціями заліза (м³/добу) в підземних водах водозаборів: 1 – "Лісова Галявина, 2 – "Кам'янка", 3 – "Дубовий Гай", 4 – "Залізничний"

Проте очевидно, що залежність могла б бути більш явною, якби на всіх водозаборах джерела надходження заліза були ідентичні та знаходились на однаковій відстані від свердловин.

Підвищений вміст сульфатів поряд із максимальною окиснюваністю вод на водозаборі "Кам'янка" може свідчити про переважання бічного притоку забруднених залізом вод з боку болотних масивів. Це підтверджується і порівняно невисокою лужністю води. За таких гідрохімічних умов переважаючими формами заліза є сульфати та органічні комплекси із фульвокислотами або більш складні органо-мінеральні колоїдні комплекси.

Для водозабору "Лісова Галявина" характерне переважання перетікання підземних вод нижньопротеро-

зойських відкладів через зону каолінів та оксидів заліза, приурочену до площинної кори вивітрювання гранітів. Це підтверджується близьким хімічним складом підземних вод обох горизонтів: гідрокарбонатним кальцієво-магнієвим нижньопротерозойського горизонту і гідрокарбонатним кальцієво-магнієвим або магнієво-кальцієвим – у відкладах поліської серії. За таких гідрохімічних умов залізо перебуватиме в розчині переважно у вигляді бікарбонатів – $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ [2], і в меншій мірі – в сульфатній формі, що характерно для відновних умов, про які свідчить підвищена лужність (7,8 мг-екв/дм³) та відсутність нітратів (рис. 4).

Найбільш чітка обернена залежність простежується між вмістом заліза та аніонів хлору у воді (рис. 5).

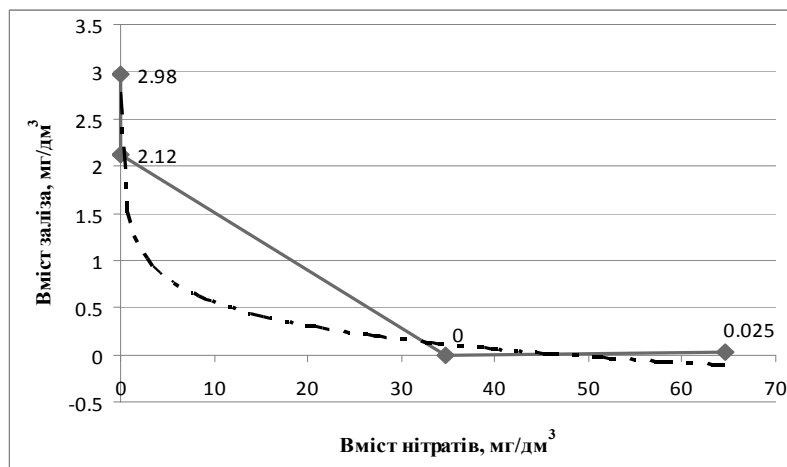


Рис. 4. Залежність між концентраціями Fe та NO_3 , мг/дм³

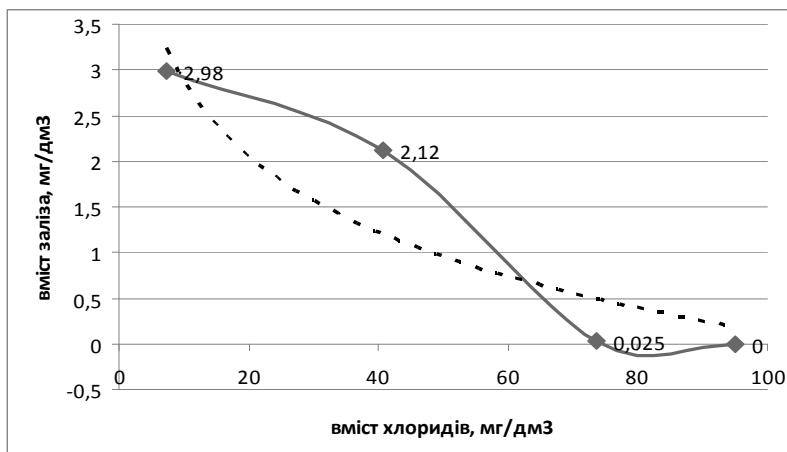


Рис. 5. Залежність між концентраціями Fe та Cl в підземних водах різних водозаборів, мг/дм³

Обернена залежність вмісту заліза від вмісту сульфатів (рис. 6) свідчить на користь висновку, що пе-

реважає водообмін залізовміщуючих вод саме у відновних умовах.

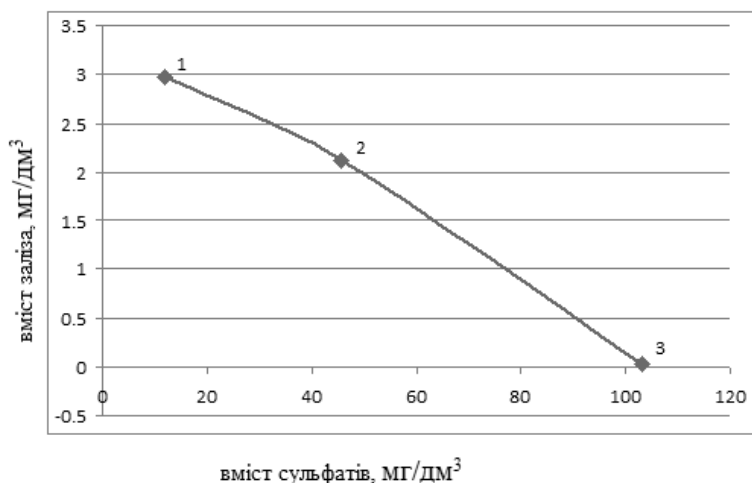
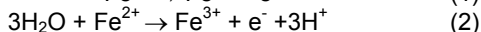
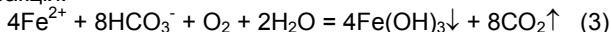


Рис. 6. Залежність між концентраціями Fe та SO₄ (мг/дм³) в підземних водах водозаборів: 1 – "Лісова Галлявина, 2 – "Кам'янка", 3 – "Дубовий Гай"

Очевидно, що ідентифіковані гідрохімічним методом джерела надходження розчиненого заліза до водозаборів не дають підстав для обґрунтування інших заходів щодо мінімізації його вмісту у підземних водах, крім їх очищення методом окиснення шляхом спрощеної аерації повітрям. При цьому відбувається окиснення розчинного двовалентного заліза Fe²⁺ до тривалентного Fe³⁺, яке утворює нерозчинні, великі полімолекулярні колоїди гідроксиду заліза Fe(OH)₃:



За присутності у воді кисню відбувається наступна реакція:



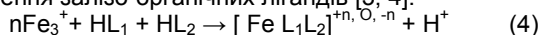
Такий процес з задовільною для виробничих потреб швидкістю утворення колоїдів Fe(OH)₃, що вилучаються з води, можливий за наступного складу води:

- рН – не менше 6,4;
- лужність не менше – 1,35 мг-екв / дм³;
- вміст вуглекислоти – до 100 мг / дм³;
- вміст сірководню – до 10 мг / дм³;
- перманганатна окиснюваність – не більше 8,5 мг O₂ / дм³.

Таким умовам відповідає склад підземних вод діючих водозаборів м. Шепетівка.

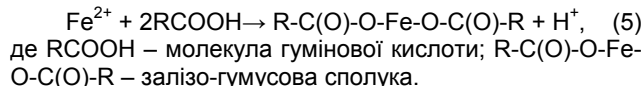
Зараз знезалізнення на водозаборі "Лісова Галлявина" виконується за допомогою 5 цеолітних фільтрів методом "Сухої фільтрації" та 3 пінополістирольних установок з модифікованим фільтруючим завантаженням на базі пінополістиролу типу NOVA Dipol Chemical International марок EPS D 733A, D 833 A, D 833 B, D 933 A. Це забезпечує можливість усунення підвищених концентрацій заліза з підземних вод на вході до даного водозабору.

У той же час, існує постійна загроза підвищення вмісту органічних сполук болотного походження для водозабору "Кам'янка". У такому випадку це може спричинити утворення залізо-органічних лігандів [3, 4]:

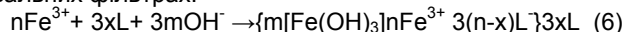


де [Fe L₁L₂]^{+n, O, -n} – стійкі фульватні та гуматні комплекси заліза; L – органічні або неорганічні ліганди, HL – органічні кислоти, наприклад двоховосновні.

Висока вірогідність утворення сполук заліза з гуміновими речовинами:



Органічні форми заліза дуже важко вилучити, оскільки вони знаходяться у розчинній або в мікроколоїдній формі, що не видаляються фільтруванням на прояснювальних фільтрах.



У таких випадках прийнято застосовувати сильні окисники (O₃, H₂O₂, KMnO₄, HClO, Cl₂), які здатні зруйнувати залізоорганічні комплекси та спричинити утворення нерозчинних сполук заліза. Для існуючих очисних Шепетівського водоканалу це призведе до неможливості знезалізнення такого типу вод існуючими технологіями. Тому закриття водозабору "Кам'янка" є доцільним як за економічними так і технологічними оцінками.

Висновок. Таким чином, зростання обсягів водовідбору та об'єктивні геолого-гідрогеологічні чинники обумовлюють стрімке зростання вмісту заліза у водах господарсько-питного призначення основних водозаборів м. Шепетівка. Щорічно на знезалізнення витрачається 95 922,84 грн (враховуючи амортизацію, кошти на сировину та обладнання). Постійний моніторинг хімічного складу підземних вод і співставлення його результатів по різних водозаборах та в часі дозволяє коригувати технологію водоочищення підземних вод, вибирати найбільш оптимальні, уніфіковані варіанти.

Список використаних джерел:

1. Связь изменения объемной активности радиоактивных стронция и цезия и концентраций стабильных макрокомпонентов в грунтовых водах осушаемых участков вблизи Ровенской и Хмельницкой АЭС: Экологические аспекты загрязнения окружающей среды: Тезисы докл. междунар. науч.-практ. Конф. (Киев, 26-28.III. 1996). – К. 1996. Ч.1, – С.169. Шевченко А.Л.
2. Методи досліджень мінеральних підземних вод. Навч. посібник / [Шевченко О.Л., Кондратюк Є.І., Гудзенко В.В., Завертальюк Т.Ю.]. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2011. – 239 с.
3. Квартенко О.М. Багатопроекторна технологія кондиціонування підземних вод, що містять комплексні залізоорганічні та азот-амонійні сполуки. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: науково-технічний збірник. Випуск 14/ К. Квартенко О.М. – К: КНУБА, 2010. – 42–55 с.
4. Чарний Д.В. Обґрунтування доцільності застосування біологічних систем очищення підземних вод України – напрямки розвитку. Меліорація і водне господарство. Випуск 99/ Чарний Д.В. – Київ: (Аграрна наука 2011. 312–324 с.).

Надійшла до редколегії 22.12.12

А. Шевченко, канд. техн. наук, ст. науч. сотруд., доц., С. Корнеев, канд. геол.-мин. наук, доц., А. Дихтярук, студ.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

АНАЛИЗ ПРИЧИН УВЕЛИЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВОДОЗАБОРОВ ГОРОДА ШЕПЕТОВКА

Путем анализа химического состава подземных вод установлены источники наиболее вероятного поступления железа в водозаборы г. Шепетовка Хмельницкой области, что позволило с достаточной достоверностью определить формы нахождения железа в подземных водах и предложить наиболее рациональные технологии обезжелезивания.

O. Shevchenko, Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Associate Professor, S. Korneienko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), O. Dihtiaruk, stud.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

ANALYSIS OF REASONS INCREASE CONCENTRATION OF IRON IN GROUNDWATER INTAKE IN SHEPETIVKA TOWN

The chemical composition of underground water sources was analyzed. It was found that most likely flow to the intake of iron in Shepetivka town Khmelnytsky region. That allowed to determine with sufficient certainty the forms host iron in groundwater and suggest the most appropriate deferrization technology.

УДК 624.131.1

О. Диняк, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ДІЛЯНОК МОЖЛИВОГО РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА БАЗІ ГІС ТА КАРТОГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. М.М. Коржневим)

Порушення стійкості геологічного середовища активізує розвиток небезпечних геологічних процесів. Одним з найбільш складних і поширених процесів урбанізованих територій є підтоплення ґрунтовими водами. Наведено можливість та доцільність застосування картографічного моделювання та ГІС при дослідженні розвитку процесів підтоплення.

Постановка проблеми. Одним із головних завдань при плануванні і забудові міст є найбільш раціональне використання міських територій, в тому числі і несприятливих для забудови. Інженерно-геологічне районування являє собою метод картування для загальної оцінки району будівництва. Таке районування розділяє територію на окремі ділянки в інженерно-геологічному відношенні. Складання інженерно-геологічних карт є невід'ємною частиною інженерно-геологічних досліджень. Основна мета інженерно-геологічного картографування – детальна і вичерпна характеристика інженерно-геологічних умов території досліджень, необхідна для розробки найбільш раціональних проектних рішень і дотримання всіх вимог до охорони довкілля.

Інтенсифікація використання міських територій зумовлює значне розширення інженерно-геологічних вишукувань і підвищення ступеню їх детальності для обґрунтування проектів будівництва різних споруд. Як показує досвід, будівництво за умови проведення повноцінного комплексу досліджень можливо практично в будь-яких інженерно-геологічних умовах [8]. Проте, з ускладненням інженерно-геологічних умов істотно ускладнюються як процедура проведення комплексу проектно-вишукувальних робіт (внаслідок необхідності застосування більш широкого спектру методів і ускладнення розрахункових схем), так і сам процес будівництва [4]. Наукове геологічне обґрунтування планування будівництва і реконструкції міст є однією з головних проблем сучасної інженерної геології.

Аналіз проблеми. Останнім часом підсилюється увага до реконструкції та збільшення щільності міської забудови, а також до інтенсивного освоєння підземного простору міських територій. Порушення стійкості геологічного середовища активізує розвиток небезпечних геологічних процесів, що викликають завчасні деформації споруд та будівель, руйнування підземних комунікацій. Надзвичайно збільшується антропогенне навантаження на території, наслідками чого, відносно до балансу підземних вод стало підвищення їх рівня та підтоплення

великих територій. Гідродинамічні зміни під впливом урбанізації полягають в зміні глибини залягання ґрунтових вод і потужності їх горизонту, а також існування річних коливань рівня ґрунтових вод. Крім того при відповідній геолого-літологічній будові приповерхневої товщі на забудованих ділянках під дією техногенних процесів часто відбувається утворення лінз техногенної верховодки в раніше не обводнених ґрунтах зони аерації. Подібні лінзи можуть іноді зливатися і формувати новий перший від поверхні постійний, витриманий на відносно невеликих ділянках горизонт підземних вод техногенного походження. Компактна забудова, що характерна для міст і обумовлюється економічними чинниками, змусила освоювати під забудову площі зі складними та незадовільними інженерно-геологічними умовами, заходи для покращення яких виконувалися поетапно і конкретно під кожну споруду [8]. Як результат цього, практично в межах усіх міст мають місце процеси підтоплення та затоплення територій, процеси суфозії, зсувів.

Навіть незначну за площею територію розвитку підтоплення слід розглядати як складову частину гідрогеологічної області, в межах якої формується ґрунтовий водоносний горизонт, та враховувати регіональні геолого-гідрогеологічні умови, що склалися на час виконання робіт.

Підтоплення може відбуватися під дією як природних, так і техногенних факторів. Підтоплення – сучасний геологічний екзогенний процес, який слід віднести до найбільш небезпечних для життєдіяльності людини, не тільки тому що він має загальне просторове поширення (до 23,7% загальної території країни), а й тому, що з ними пов'язані такі небезпечні процеси як зсуви, карст, просідання та осідання земної поверхні, зміна сольового стану, загальної та сейсмічної стійкості ґрунтів зони аерації. Порівняно з площею ураження такими небезпечними процесами як карст, зсуви (відповідно 3 і 3,7% відсотка території країни), підтоплення є найбільш розвинутим і вплив його існує практично постійно (особливо техногенного).

Кожний тип підтоплення пов'язаний з певними геоморфологічними, геолого-тектонічними, гідрогеологічними та інженерно-геологічними умовами. Найбільш небезпечним є техногенне підтоплення, пов'язане з освоєнням земель (забудова, зрошення, гідротехнічні споруди, закриття гірничих виробок). Одним з найбільш складних і розповсюджених процесів урбанізованих територій є підтоплення ґрунтовими водами та водами типу "верховодка".

Режим ґрунтових вод в межах міст в значній мірі залежить від відкритості територій, тобто наявності і розміру ділянок вільних від водонепроникного покриття та інженерних споруд.

Перетворення водного балансу забудованих територій призводить, як показують дослідження, до збільшення живлення ґрунтових вод в результаті акумуляції схилового стоку і інтенсивної інфільтрації на ґрунтових поверхнях, техногенної інфільтрації, конденсації вологи під непроникними поверхнями та ін.

Істотну роль у підтопленні урбанізованих територій відіграють палові фундаменти. Палі та переущільнений між ними ґрунт представляють собою водонепроникну перешкоду на шляху фільтрації потоків ґрунтових вод.

При підтопленні змінюються :

- стан гірських порід верхньої частини літосфери, переважно знижується їх стійкість;
- геодинамічні умови (активізуються або виникають геологічні процеси);
- гідрогеологічні умови, а саме взаємозв'язок між ґрунтовими та напірними водоносними горизонтами, що призводить до погіршення якості останніх і розвитку пливунних суфозійних та карстових процесів; підвищується агресивність до бетону підземних вод; засолення ґрунтів зони аерації;
- інженерно-сейсмологічні умови.

Зміни інженерно-геологічних умов під впливом підтоплення відбуваються на різних рівнях: об'єктовому, локальному, місцевому (районному), регіональному. На кожному рівні розвитку підтоплення необхідно враховувати джерела підтоплення, особливо це важливо для територій, де розвинуте техногенне підтоплення.

Для природного та техногенного підтоплення загальним і основним видом довивчення є встановлення меж можливого розвитку підтоплення в просторі та часі, тобто ділянок, де цей процес може проявитися тільки за певних сприятливих умов (потенційного підтоплення) [3]. Встановлення меж ділянок потенційного підтоплення повинно базуватися на геолого-геоморфологічних, тектонічних, гідрогеологічних засадах з урахуванням виду техногенного впливу.

Кожний напрямок змін інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов під впливом певного виду техногенних чинників зумовлює необхідність виконання певного виду інженерно-геологічних досліджень.

Нормативні документи регламентують поетапне проведення інженерно-геологічних вишукувань з підвищенням деталізації на більш пізніх стадіях проектування. Проте, у сучасних умовах ця стадійність дотримується не завжди, що обумовлено в першу чергу стислістю термінів будівництва об'єктів [5].

Результати досліджень, спрямованих на розробку передпроектної документації, можуть бути, з великим ступенем ймовірності, замінені результатами досконального аналізу архівних матеріалів із застосуванням сучасних комп'ютерних ГІС-технологій.

При цьому проведення таких попередніх досліджень в залежності від їх цілей і завдань може бути розділене на два етапи (завдання), що характеризуються принципово різною детальністю геоінформаційної моделі:

1) ослідування спрямовані на вибір ділянок, що характеризуються найбільш сприятливими для будівництва споруд інженерно-геологічними умовами;

2) дослідження, що проводяться з метою здійснення попереднього вибору конфігурації фундаментної основи з урахуванням особливостей геологічної будови ділянки будівництва.

Існує проблема застосування архівних матеріалів при проведенні інженерно-геологічних вишукувань на території. Постійне зменшення фінансування на геологічне картування змусило шукати найбільш раціональні шляхи в складанні середньомасштабних геологічних карт з максимальним використанням матеріалів попередників. Насьогодні накопичений значний досвід будівництва на міських територіях та значний об'єм фонду вишукувальних матеріалів, які не використовуються раціонально.

Виклад основного матеріалу. Якщо 15-20 років тому підтоплення розглядалося як лише гідродинамічний процес і відповідно моделювалося, а негативний вплив визначався лише підйомом рівня ґрунтових вод до глибини, яка заважала нормальному функціонуванню інженерних споруд і порушувала санітарні норми проживання населення, то на сьогодні очевидний цілий комплекс небезпечних природно-техногенних явищ, які або повністю пов'язані і проявляються в умовах підтоплення, або в десятки і сотні раз активуються в наслідок проявлення останніх.

Одним з основних факторів підтоплення міст є територіальна концентрація водоспоживання. Це обумовлено високою щільністю проживання, значними питомими величинами водоспоживання на одного жителя і великими об'ємами виробничо-технічного водоспоживання [1]. Тенденція на збільшення цих показників притаманна процесу урбанізації на протязі багатьох десятиріч як об'єктивний фактор. Зниження територіальної концентрації водоспоживання хоча принципово і можливе, але на сучасному етапі швидких змін очікувати не приходиться.

Вплив антропогенних чинників у певних умовах призводить до розвитку постійного та періодичного підтоплення (промислово-міські агломерації, зони впливу гідротехнічних споруд), також з впливом цих чинників пов'язують території потенційного підтоплення (де воно може розвинути через певний час). Від типу чинників залежить не тільки просторовий розвиток підтоплення, а й інтенсивність прояву його в часі. Незалежно від чинників, основними показниками можливості розвитку підтоплення в просторі та часі є природні геоморфологічні, геологічні, гідрогеологічні умови. Завдяки певній їх взаємодії складаються умови, перспективні для розвитку підтоплення.

Незважаючи на досить широке розповсюдження процесів підтоплення, до цього часу не розроблені надійні заходи з їх запобігання та підтримання рівнів ґрунтових вод на оптимальних відмітках [3]. Періодичні відкачки води, які практикуються на даний час, дуже небезпечні, особливо для споруд на стрічкових фундаментах. Періодичне заповнення пор водою призводить до розущільнення інженерних ґрунтів та руйнування в них структурних зв'язків, а швидкості води в їхніх порах при відкачках перевищують швидкості природної фільтрації, що в кінці призводить до послаблення несучої здатності та зародження процесів суфозії.

Таким чином, аналіз і прогноз режиму підземних вод на щільно забудованих територіях пов'язаний з подоланням ще більш інформативного бар'єру (що обумовлене неповнотою і неточністю гідрогеологічної і гідрологічної інформації), ніж в інших фільтраційних задачах, так як тут додається невизначеність даних про втрати з водонесучих комунікацій, а також порушення природної гідрогеологічної ситуації внаслідок забудови, ремонтів,

зміні режиму стоку з поверхні землі і вертикального вологопереносу. До цього додається ускладнення розрахункових схем, які повинні враховувати різномасштабність об'єктів, вплив на режим фільтрації, а також обмеження території для здійснення кардинальних ремонтно-профілактичних заходів [2].

Всі види інженерно-геологічних вишукувань та досліджень супроводжуються накопиченням великого об'єму інформації різного характеру та змісту. Інформація результатів окремих спостережень або вимірювань надходить в узагальненому або частково узагальненому вигляді. Інформацію у такому вигляді не можна безпосередньо використовувати для отримання висновків прикладного або наукового характеру.

Територія міст характеризується високим ступенем вивченості інженерно-геологічних умов. Проте при аналізі архівних матеріалів минулих років виникає ряд складнощів, перша з яких – невелика глибина вивченості і нерівномірність розподілу фондових даних.

Так, на сьогоднішній день у фондах міститься велика кількість журналів свердловин, проте не всі вони досить представницькі, так як більшість з них має невелику глибину (особливо виробки, пройдені в процесі проведення вишукувань для будівництва лінійних об'єктів).

Ще один фактор, що ускладнює застосування фондових даних інженерно-геологічних досліджень, це їх розрізненість як у просторовому так і у часовому відношенні.

У процесі проведення вишукувань під конкретний об'єкт, особливо невеликий, не завжди можлива правильна інтерпретація результатів бурових робіт і, якщо при проектуванні типової споруди неглибокого закладання невірна геохронологічна інтерпретація отриманих даних незавжди може призвести до критичних помилок, то будівництво унікальних споруд, таких як висотні будівлі, зважаючи значний радіус зони взаємодії споруди з природним середовищем, вже вимагає достовірної оцінки геологічних умов району будівництва. Так, наприклад, при проведенні прогнозного геофільтраційного моделювання в розрахунок береться площа, що в десятки, а іноді і в сотні разів перевищує розміри будівельного майданчика. При цьому в модель закладається велика кількість архівних даних, невідповідність яких здатна привести до завдання принципово невірних параметрів моделі і, як наслідок, до помилкових результатів прогнозу зміни гідрогеологічних умов. Отже, для достовірного моделювання інженерно-геологічних умов ділянки будівництва потрібно узагальнення наявних фондових матеріалів. Для розв'язання поставлених задач необхідний аналіз великого об'єму вихідних даних різної тематики (проектувальних карт і схем, результатів польових досліджень, даних аналізів і розрахунків та ін.) і створення набору результатуючих матеріалів оцінювального, прогнозного і рекомендаційного характеру. Велику кількість цих матеріалів доцільно представити у вигляді карт, схем, блок-діаграм та інших картографічних матеріалів, які повинні добре співставлятися між собою, взаємодоповнюватися. Необхідно побудувати комплект геологічних карт масштабу не дрібніше ніж 1:10 000, провести аналіз і переіндексацію (відповідно до прийнятої геохронологічної легенди) кожної з архівних виробок. Ці оброблені дані по свердловинах нарівні з картографічним матеріалом можуть стати базою для розробки методики інженерно-геологічного районування для будівництва.

Отримання інженерно-геологічної інформації вимагає розробки та застосування нових технологічних рішень та технічних засобів, які направлені на обробку даних прямими або опосередкованими методами. Проблема накопичення, обробки та зберігання інженерно-

геологічної інформації доцільно розв'язувати шляхом використання ГІС, що дозволить розв'язувати задачі оцінки та прогнозу зміни геологічного середовища та його складових компонентів. Сучасні геоінформаційні технології дозволяють вирішувати проблеми такого роду як на локальному, так і на регіональному рівнях та дозволяють приймати управлінські рішення на передпроектних стадіях та стадіях проектування.

Організаційна структура бази даних при оцінці змін рівнів ґрунтових вод на території міських агломерацій повинна передбачати вирішення таких задач, які допомогли б виділити ті чи інші пріоритети, дозволили успішно вирішувати проблему в цілому:

- оцінка сучасного стану території;
- оцінка інтенсивності антропогенно-техногенного навантаження на природно-територіальні і природно-господарські комплекси даної території;
- організація контролю за динамікою стану підземних вод (моніторинг);
- розробка рекомендацій для системи управління і планування заходів для ліквідації наслідків та запобігання розвитку небезпечних процесів.

Проблема підтоплення міста тісно пов'язана житлово-комунальним господарством. Для визначення ступеня впливу виду господарства на природне середовище необхідно мати в базі даних наступну інформацію: щільність забудови, система водопостачання міста і водозабору, об'єм водоспоживання і водовідведення, наявність і ефективність колекторно-дренажної системи і каналізаційної мережі (поля фільтрації, очисні споруди, відстійники). В останній час набув розвитку приватний сектор, тому необхідні відомості про кількість, площі і ареали розміщення індивідуальних забудов і дані про системи водозабору і відведення господарсько-побутових стоків.

Особливо необхідно враховувати можливість негативного впливу підтоплення на історико-архітектурні пам'ятки міста і унікальні природні об'єкти, для збереження унікальності яких необхідно приймати системи охоронних і захисних заходів.

Успішне вирішення проблеми залежить від її інформаційного забезпечення. Пошук і обґрунтування можливих заходів для запобігання розвитку підтоплення обумовлює необхідність оцінки сучасного стану території та вибір першочергових напрямків цих досліджень, які б дозволили вплинути на розвиток сприятливих і затримку несприятливих процесів [6].

Це дозволить провести "інвентаризацію" і аналіз статичних і динамічних природних факторів, які визначають сучасний стан проблеми, встановити найбільш слабкі ланки в ланцюзі природних і техногенних факторів на території міста і таким чином виявити найбільш напружені точки і зони, а також виявити причини їх формування.

Для обґрунтування захисних заходів необхідно проведення натурних спостережень за рівнями ґрунтових вод, вологості ґрунтів, витратами дренажів і водонесучих комунікацій.

В ідеалі система ГІС повинна в автоматичному режимі співставляти оперативні і текучі дані про стан ґрунтових вод на територіях підтоплення з існуючими нормами і видавати споживачу результати в оперативному режимі.

На першому етапі формування бази ГІС необхідно здійснити підготовку пакету картографічної інформації на електронні основи у вигляді відповідних шарів. Створення прогнозової моделі території підтоплення з використанням ГІС-технологій може зводитися для побудови таких шарів або груп шарів: рельєф; гідрологія; геологічна будова; житлова забудова; розподіл земель; промислові об'єкти; заповідні території; гідротехнічні

споруди (водосховища, греблі, дренажні системи), рівні підземних вод та деякі інші шари. Теоретично рівні підземних вод можуть змінюватися між двома поверхнями, які можна побудувати як шари ГІС: історичною (природною) поверхнею підземних вод, яка була на початок та сучасною (техногенною) поверхнею підземних вод, яка сформувалася під впливом техногенних факторів. Остання поверхня є нестабільною.

Результатом попередніх досліджень мають бути створенні такі шари ГІС для територій міських агломерацій: рельєф місцевості, річкова мережа, житлова забудова і господарські об'єкти, історичні рівні підземних вод, гідротехнічні споруди, інженерні мережі, водозабори підземних вод, місця і глибина забруднення ґрунтів, сучасні рівні підземних вод, припустимі небезпечні рівні підземних вод, районування за ступенем небезпечності при підтопленні території.

Навіть просте зіставлення окремих шарів може надати надійну інформацію для попереднього прогнозу розвитку небезпечної ситуації.

У відповідності до задач створення основи цифрової карти сучасного рельєфу необхідно виконувати з урахуванням необхідності виділення найменш диференційованих поверхонь річних долин і депресій і визначення в їх межах основних напрямків поверхневого і підземного стоку [4]. Одночасно необхідно встановити наявність зон природного і штучного підпору, який обумовлений розміщенням схилів, насипів шосейних і залізничних доріг, гідравлічними характеристиками водопропускних споруд. Природні заболочені депресії і зони можливого штучного підпору доцільно виділити окремим шаром разом з мережею балок, ярів, тальвегів і тимчасових водотоків. Наступний шар буде характеризувати межі вододілів головних і місцевих водотоків. Сітку дрібних водотоків, що впадають в річки, а також виражені в рельєфі обводнені яри та балки доцільно виділити у вигляді елементарних басейнів, які в подальшому можуть стати вихідною інформацією при вирішенні задач моніторингу і розрахунку стоку досліджуваної території.

Окремим шаром необхідно винести літологічний склад порід з урахуванням фільтраційних властивостей ґрунтів, а також впливу урбанізації території. Часто спостерігається стан ґрунтового профілю, коли верхні горизонти відсутні взагалі або частково, внаслідок будівельних робіт або заасфальтованих. В моніторингову режимі такі території потребують контролю, але внесення подібних контурів окультурених і деформованих ґрунтів і цифрові карти в якості базових недоцільно. Вони легко розрізняються за характером землекористування. Більш важливим показником стану ґрунтів є вологість і підвищення показника вологості – перезволоження внаслідок техногенного впливу. В більшості випадків це обумовлено тимчасовими чи постійними підпорами внаслідок того, що при будівельних роботах господарських чи промислових об'єктів і транспортних комунікацій не враховуються напрямки поверхневого і підземного стоку. Ділянки з такими несприятливими умовами можна буде виділити в результаті накладання шарів: рельєфу, яружно-балочної мережі, автомобільних доріг і залізниць.

Розміщення на території дослідження великих та дрібних водних об'єктів є однією з важливих базових характеристик. Вони тісно пов'язані з рельєфом території. Водні об'єкти (озера, ставки, річки, канали) доцільно виділити в окремий шар "гідромережа і водні об'єкти". В таблиці атрибутивних даних доцільно вказати не лише дані інвентаризації з описом базових параметрів, що характеризують об'єкт, а й і систему динамічних параметрів (середні, мінімальний, максимальний стік, повеневі рівні. Таблиця атрибутів – комплекс характе-

ристич кожного конкретного об'єкту, який дозволить оцінити його стан. Динамічні параметри доцільно включити в блок оновлення інформації.

Головними для співставлення з кліматичних і погодних характеристик будуть ті, які тим чи іншим чином визначають багаторічні і сезонні стани, впливають на характер процесів підтоплення.

Для одержання даних щодо техногенного впливу на формування процесів підтоплення в базі даних необхідна інформація про просторову структуру розміщення об'єктів, на яких можливі втрати води з водонесучих та водозберігаючих конструкцій. Інформація в базі даних може бути подана у двох видах :

- картографічному, що дозволить визначити і оцінити особливості розміщення земель різного господарського призначення і основних джерел втрат води, і їх взаємозв'язок;

- статистично-довідковому, що дозволить характеризувати виділені об'єкти за різними параметрами, адаптованими до мети ГІС і представленими в таблицях-атрибутах.

Інформація, що надходить, може бути в картографічному вигляді, в формі таблиць і текстових файлів. Обробляється вона повинна на основі пакету комп'ютерних прикладних програм, які здатні імпортуватися і експортуватися в системах, що використовуються для ГІС.

На основі аналізу та синтезу виділених шарів картографічної інформації бази даних ГІС представляється можливість створення зовсім нових карт як по якості так і змісту. Такими можуть бути карти, які несуть оціночний характер. Наприклад, на основі суміщення шарів рельєфу, характеру зволоження, структури басейнів і господарських структур території можна отримати нові контури природно-техногенних утворень, які відрізняються різним ступенем техногенного навантаження.

Висновки. Процес змін гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов територій, що підтоплюються, переважно є стохастичним (імовірним). Тому й прогнозування (довгострокове, короткострокове) підтоплення та пов'язаних з ним змін ґрунтів зони аерації, розвитку екзогенних геологічних процесів теж повинно виконуватися переважно на імовірнісних засадах. На об'єктовому рівні при наявності достатньої вивченості умов розвитку підтоплення та особливостей впливу на його розвиток природних і антропогенних чинників можливе застосування детермінованих моделей прогнозування, переважно короткострокового. Види та кількість спостережень повинні на кожному рівні задовольняти потреби прогнозування. Все це зумовлює необхідність негайної оцінки стану існуючої системи спостережень на всіх рівнях і на її основі обґрунтування основних напрямів удосконалення існуючої системи моніторингу на територіях, що підтоплюються і на тих, що можуть бути підтопленні за розрахунковий час залежно від видів впливу господарської діяльності.

Спочатку доцільно було б створити варіант карти природно-господарського районування території міста з визначенням напружених та небезпечних зон. Наступний етап районування повинен визначатися умовами формування поверхневого, підземного стоку і характером потрапляння втрачених вод в місцеву дренажну систему.

На сьогодні при складанні карт інженерно-геологічного районування доцільним є застосування картографічного моделювання. Зазвичай, при інженерно-геологічному районуванні інформація надається у формі картографічних моделей, які супроводжуються описами включених до них об'єктів у кількісних та якісних категоріях. Такі моделі забезпечують довготривале зберігання, періодичне доповнення та аналіз інформації. Математико картогра-

фічне моделювання на базі ГІС дозволяє виконати інженерно-геологічне районування території використовуючи всю наявну інформацію з урахуванням наявної інформації по геологічній будові, гідрогеологічним умовам, геоморфологічним умовам території та виконати ранжування території і наочно виділити ділянки з різними інженерно-геологічними умовами.

Застосування картографічного моделювання в інженерній геології дає змогу комплексно проаналізувати проблему та зробити обґрунтовані висновки та прогнози для попередження надзвичайних ситуацій при будівництві.

Виконання картографічного моделювання демонструє та доводить необхідність створення та функціонування єдиної системи геологічного середовища міст в межах фактичних глибин зон його взаємодії з підземними та наземними спорудами, а також складання відповідного комплексу карт інженерно-геологічного, геоекологічного та геотехнічного районування міст з урахуванням зон різного техногенного навантаження та можливого розвитку небезпечних геологічних процесів. Застосування картографічного моделювання в інженерній геології дає змогу комплексно проаналізувати проблему та зробити обґрунтовані висновки та прогнози для попередження надзвичайних ситуацій при будівництві.

А. Дыняк, канд. геол. наук

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ УЧАСТКОВ ВОЗМОЖНОГО РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ ГИС И КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Нарушение устойчивости геологической среды активизирует развитие опасных геологических процессов. Одним из наиболее сложных и распространенных процессов урбанизированных территорий является подтопление грунтовыми водами. Приведенная возможность и целесообразность применения картографического моделирования и ГИС при исследовании развития процессов подтопления

O. Dyniak, Cand. Sci. (Geol.)

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

ENGINEERING-GEOLOGICAL ZONING FOR DETECTION OF POSSIBLE AREAS OF HAZARDOUS PROCESSES BASED GEOLOGICAL GIS AND CARTOGRAPHIC MODELING

Violation of the stability of the geological environment activates the development of dangerous geological processes. One of the most challenging and common processes in urban areas are flooded by groundwater. The above possibility and feasibility of cartographic modeling and GIS to study processes of underflooding.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.8:025.4.03

С. Вижва, д-р геол. наук, Г. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук,
І. Віршило, канд. геол. наук, О. Козіонова, інж. 1 кат.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОФІЗИЧНОЇ ТОМОГРАФІЇ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

Розглянуто нову інтерпретаційну технологію геофізичної томографії. Технологія ґрунтується на тривимірній нелінійній динамічній анізотропній моделі середовища. Показано теоретичні та методичні принципи розробки для деяких геофізичних задач.

Вступ. Розглядаються актуальні проблеми інформаційного забезпечення і оптимізації ітераційних задач геофізичної томографії [29]. Бурхливий розвиток геофізичної томографії обумовлений технічною революцією в галузі комп'ютерної техніки і досягненнями в галузі інформаційних технологій та математичної геофізики.

В подальшому під терміном "геофізична томографія" розуміють метод відновлення локальних лінійних і нелінійних ефективних фізичних характеристик, структури і літологічного складу геологічного середовища

Список використаних джерел:

1. Зеркаль О. ГИС при прогнозировании экзогенных геологических процессов // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. – 2003. – № 3 (26). – С. 7-8.
2. Кошляков О.Е., Дыняк О.В., Кошлякова І.Є Дослідження зміни рівнів підземних вод за допомогою картографічного моделювання // Матеріали п'ятої науково-практичної конференції "Екологічна безпека техногенно переважаних регіонів. Оцінка і прогноз екологічних ризиків". – АР Крим. Ялта. 2010. -96-97
3. Луцкич А.В., Швирло М.І, Яковлев Є.О. Основні зміни інженерно-геологічних умов у межах підтоплених територій та напрями їх доведення // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2003 №6, с.24-27
4. Курбатова А.С., Маршев С.В. Использование ГИС в цели оценки экологической ситуации и экологического проектирования//Информационный бюллетень/ ГИС-Ассоциация 1996-35с
5. Неизвестнов Я.В. Теория и практика инженерно-геологического районирования и типизация инженерно-геологических условий // Инженерная геология /Зап. Санкт-Петербургского горного ин-та. 1991. – Т.133. – С.39-47.
6. Осипов В.И., Антипов А.В. Принципы инженерно-геологического районирования территории Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2009. № 1.
7. Поливанов В.С., Поляков М.М. ГИС экологии города. Обеспечение решения экологических проблем. Волгоград, 2001, 163с
8. Цейко О.Б. Природа та причини підтоплення урбанізованих територій//Техногенно-екологічна безпека регіонів як умова сталого розвитку України. К: Товариство "Знання" України, 2002

Надійшла до редколегії 15.02.13

шляхом спостережень геофізичних полів на земній поверхні або (і) в гірських виробках та свердловинах [14, 24, 29, 31, 36].

Геофізична томографія (геотомографія) відрізняється від медичної як за масштабами і типами фізичних явищ, що вивчаються, так і за геометричними характеристиками сканування [14]. Медичний підхід до томографії можна розглядати як метод побудови зображення із контрастом, величина якого кількісно зв'язана із фундаментальними (фізичними) характеристиками об'єкту досліджень,

що забезпечує візуалізацію нормальних і аномальних його структур. Класичний спосіб побудови зображень ґрунтується на теоремі Радона, застосування якої в геофізичній томографії є проблематичним, оскільки спостереження здійснюються на поверхні Землі або (і) в обмеженій кількості свердловин [13, 31].

"Хронічну" неповноту даних в хвильових методах геофізичної томографії, внаслідок практичних міркувань – жорстких обмежень фінансової вартості експерименту, в багатьох випадках подолати неможливо.

Комплексні геофізичні дослідження по регіональним профілям здійснюються згідно з національною програмою розвитку мінерально-сировинної бази і міжнародної програми вивчення глибинної будови літосфери. Внаслідок корпоративного об'єднання зусиль вчених і інженерів-практиків створена мережа регіональних і опорних геофізичних профілів, параметричних і надглибоких свердловин, яка повинна забезпечувати надкористувачів інформацією про глибинну будову земних надр, що необхідна для вирішення геолого-розвідувальних задач, проектування і будівництва промислових об'єктів, прогнозу небезпечних процесів і явищ [9, 24]. Кінцевим результатом комплексних геофізичних досліджень по регіональним і опорним профілям є побудова фізико-геологічних моделей глибинної будови земної кори [2, 6, 7, 11, 12, 22, 23, 24, 33]. При їх побудові орієнтуються на результати сейсмічних досліджень, в першу чергу, МПВ-ГСЗ до глибини 40 км і глибше, а також метод багатократного перекриття МОВ-ОГТ, який забезпечує глибинність до 12-15 км. Дані сейсмічних спостережень при побудові фізико-геологічних моделей доповнюються площинними гравіметричними і аеромагнітними вимірюваннями масштабу 1:200000 і крупніше, які проведені майже на всій території України [2, 9, 11, 12, 23, 32, 33]. Крім того, по окремих регіональних профілях проведені електромагнітні спостереження методом МТЗ, що забезпечує в комплексі з сейсмічними і гравіметричними даними побудову фізико-геологічних моделей за чотирма основними фізичними параметрами: швидкості повздовжніх хвиль, густині, намагніченості та електропровідності.

Технологія побудови фізико-геологічних моделей ґрунтується на методологічних принципах згідно із якими спочатку створюються нометодні моделі, а потім їх узгоджують між собою. Критерієм адекватності узгодженої моделі реальному геологічному середовищу слугує деякий узагальнений цільовий функціонал, який характеризує суму квадратів відхилення теоретичних розрахованих (моделних) значень геофізичного поля від його спостережених значень з урахуванням вагових коефіцієнтів геофізичного поля, які визначають його інформативність [9, 11, 29, 33]. Процедура визначення вагових коефіцієнтів неоднозначна, тому забезпечує лише можливість підбору моделей, які грубо узгоджуються із результатами комплексних геофізичних спостережень. Разом з тим, традиційні методи розв'язку інтерпретаційних задач, які ґрунтуються на апараті розв'язку некоректних задач і методах локальної мінімізації та орієнтуються на визначення невідомих параметрів фізико-геологічної моделі, наштовхується на об'єктивні труднощі, які дуже важко подолати. З одного боку, майже неможливо в умовно-екстремальних задачах охопити все розмаїття можливих форм апріорних припущень щодо особливостей структурної будови реального геологічного середовища. З іншого боку – концепція "оптимального розв'язку" зворотної задачі комплексних геофізичних досліджень наштовхується на очевидну проблему відсутності монотонної залежності якості її розв'язку від об'єму вихідних даних [3]. Це призводить до

парадоксальної ситуації, коли точність розв'язку задачі за даними комплексних геофізичних досліджень виявляється нижчою, ніж у кожного з розв'язків при використанні даних окремих геофізичних методів.

Для верифікації фізико-геологічних моделей застосовують методи сейсмогравітаційного моделювання, які ґрунтуються на емпіричних кореляційних залежностях між густиною і швидкістю повздовжніх пружних хвиль [23, 32, 33].

Факт існування такої залежності в реальному геологічному середовищі не встановлений, а в зонах інтенсивного дислокаційного розуцільнення, в яких формуються різноманітні зони тріщинуватості, така кореляційна залежність взагалі неможлива [21].

Для подолання методологічних і теоретичних труднощів постановки і розв'язку інтерпретаційних задач геофізичної томографії нами розроблений новий підхід для розв'язку цієї складної задачі [29].

В основі комплексної 3D-геофізичної інтерпретації лежить тривимірна нелінійна динамічна флюїдонасичена багатоконпонентна ієрархізовано-блокова анізотропна модель геологічного середовища із внутрішньопором тиском, яка знаходиться в складному напруженому стані і під дією температури. Ефективні динамічні лінійні і нелінійні фізичні властивості цієї моделі і її напружено-деформований стан визначаються сучасними методами механіки стохастичного середовища [1, 8, 28, 29, 37]. Для такої моделі будуються геофізичні томографічні функціонали, що визначають не лише вплив різних локалізованих макроскопічних об'ємів геологічного середовища при вибраній системі спостережень на зареєстроване в пункті спостережень геофізичне поле, але і забезпечують кількісну оцінку в якій мірі зареєстроване поле обумовлене розподілом локальних тензорних полів ефективних геофізичних параметрів і в якій мірі змінами мезоструктурних параметрів геологічного середовища під впливом динамічного і флюїдного режиму об'єкту досліджень [8, 29, 36].

Забезпечення виконання умов просторової спряженості геофізичних функціоналів (перекриття носіїв томографічних функціоналів) здійснюється вибором єдиної структурно-речовинної моделі геологічного середовища.

Задача визначення параметрів моделі зводиться до розв'язку задачі інверсії геофізичних даних шляхом застосування сучасних методів глобальної оптимізації [4, 15, 16, 17, 19, 26, 34, 38, 40].

Теорія методу. Згідно із принципами геофізичної томографії об'єм геологічного простору, який є об'єктом дослідження, розбивають на елементарні кубічні комірки, розмір яких визначається масштабом досліджень, але не повинен перевищувати розмір першої зони Френеля. Розподільна здатність сейморозвідки визначається довжиною хвилі λ і лежить в межах $(1/8 \div 1/4)\lambda$. Просторова орієнтація апроксимаційної комірки строго узгоджується із географічною системою координат. Виходячи із апріорних геологічних і геофізичних даних для кожної комірки задається початкове наближення речовинного складу (петрографічний склад – петротип, або мінералогічний склад, структура тріщино-порового простору, флюїдонасиченість і поровий тиск, напружений стан і температура).

Будемо розглядати деякий макроскопічний об'єм кубічної комірки, пружні характеристики і густина якої є випадковими статистичними однорідними функціями координат x_j відлікової конфігурації [37]. Випадкові поля напруг Кіргрофа t_{ij} і градієнтів переміщень H_{ij} задовольняють умові ергодичності відносно операцій осереднення в об'ємі кубічних комірок. Фізичні співвідношення нелінійної теорії пружності другого порядку запишемо в декартових координатах відлікової конфігурації:

$$t_{ij}^{(1)} = \lambda_{ijkl} e_{kl}^{(1)}, \quad (1)$$

$$t_{ij}^{(2)} = \lambda_{ijkl} E_{kl}^{(2)} + \lambda_{imkl} e_{kl}^{(1)} H_{jm}^{(1)} + L_{ijklpq} (e_{kl} e_{pq})^{(1)}, \quad (2)$$

$$\text{де } e_{ij} = \frac{1}{2} (H_{ij} + H_{ji}), \quad E_{kl}^{(2)} = e_{kl}^{(2)} + \frac{1}{2} (H_{mi} H_{mj})^{(1)}, \quad \lambda_{ijkl}, L_{ijklpq}$$

– тензори пружних постійних другого і третього порядків; верхній індекс у круглих дужках визначає порядок нелінійного наближення.

Оскільки пружні властивості компонент кубічних комірок статистично однорідні в межах недеформованого об'єму, то можна припустити, що їх початковий деформований стан, який визначається тензором H_{ij}^0 , також є статистично однорідним відносно координат відлікової конфігурації x_j . У цьому випадку при заданих граничних умовах збудований напружено-деформований стан, який описується тензорами t_{ij} , H_{ij} , також буде статистично однорідним, а випадкові поля, що розглядаються, будуть задовольняти умові ергодичності.

Тоді макроскопічний закон пружності можна записати у формі:

$$\langle t_{ij} \rangle = L_{ijkl}^* \langle H_{kl} \rangle, \quad (3)$$

де L_{ijkl}^* – тензор ефективних модулів пружності лінеаризованої теорії пружності; $\langle \rangle$ – осереднення по макроскопічному об'єму.

Із урахування умови ергодичності випадкових полів осереднений лінеаризований закон пружності для двохкомпонентного геологічного середовища запишемо у такому вигляді:

$$\langle t_{ij} \rangle = \sum_{r=1}^2 c_r L_{ijkl}^r \langle H_{kl} I_r \rangle, \quad (4)$$

де r – визначає номер компоненти.

Рівняння рівноваги відносно випадкових флуктуацій U_j^r збудувань вектору переміщень тоді можна записати у такій формі:

$$L_{ijkl}^0 U_{kjl}^1 = -(\delta L_{ijkl} H_{kl}), \quad (5)$$

$$\delta L_{ijkl} = L_{ijkl} - L_{ijkl}^0. \quad (6)$$

Розв'язок поставленої задачі зводиться до визначення середніх градієнтів переміщень в компонентах $\langle H_{kl} I_r \rangle$ і розв'язку інтегрального рівняння за допомогою тензорної функції Гріна, яке можна представити компактно у безіндексній операторній формі [37]:

$$H = \langle H \rangle + \Gamma * \tau, \quad \tau = \delta L H, \quad (7)$$

де Γ – інтегральний оператор типу згортки, ядром якого є другі похідні тензорної функції Гріна.

Ефективні лінійні і нелінійні фізичні властивості апроксимуючої кубічної комірки, із урахуванням початкового напружено-деформованого стану, зокрема, для наближення лінеаризованої теорії, визначаються для двохкомпонентного середовища із співвідношення [37]:

$$L^* = \langle L \rangle + c_1 c_2 \tilde{L} Q \tilde{L}, \quad (8)$$

$$\text{де } \tilde{L} = L^{(1)} - L^{(2)}; \quad Q = (J - G \delta L)^{-1} G; \quad \delta L = c_1 L^{(2)} + c_2 L^{(1)} - L^0;$$

J – одиничний несиметризований тензор; G – алгебраїчні компоненти інтегрального оператора, ядром якого є функція-образу другої похідної функції Гріна для лінеаризованого рівняння рівноваги; L^0 – тензор пружних властивостей тіла порівняння; $L^{(1)}$, $L^{(2)}$, c_1 , c_2 – тензори модулів пружності і об'ємна концентрація включень і матриці.

Формули (8) можна узагальнити на випадок багатокомпонентного геологічного середовища із урахуванням термонапруг і внутрішньопорового тиску [8].

Для розв'язку прямих задач геофізичної томографії для чисельних розрахунків ефективних фізичних параметрів і їх похідних здійснюється сплайн-інтерполяція на лініях елементарних кубічних комірок [25].

Трасування сейсмічних променів в методі променевої сейсмічної томографії для дискретної моделі кубічних комірок здійснюється шляхом чисельного розв'язку системи диференціальних рівнянь першого порядку методом Рунне-Кутта [18, 20]. Ця система в ізотропному наближенні має такий вигляд [18]:

$$\frac{dx}{dt} = V(x, y, z) \cos \alpha, \quad \frac{dy}{dt} = V(x, y, z) \cos \beta, \quad \frac{dz}{dt} = V(x, y, z) \cos \gamma, \quad (9)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = V_x \sin \alpha - V_y \operatorname{ctg} \alpha \cos \beta - V_z \operatorname{ctg} \alpha \cos \gamma,$$

$$\frac{d\beta}{dt} = -V_x \cos \alpha \operatorname{ctg} \beta + V_y \sin \beta - V_z \operatorname{ctg} \beta \cos \gamma,$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = -V_x \cos \alpha - V_y \cos \beta \operatorname{ctg} \alpha + V_z \sin \gamma,$$

$$\text{де } V_x = \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial x}, \quad V_y = \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial y}, \quad V_z = \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial z} -$$

градієнти швидкості вздовж координатних осей; α , β , γ – поточні кути променя в просторі.

Для анізотропного випадку система диференціальних рівнянь наведена в роботі [20].

Чисельні розрахунки дифракційних ефектів дискретних апроксимуючих кубічних комірок здійснюються за допомогою моделі "вторинних джерел". Поля розсіюваних хвиль $\delta \bar{U}$, що генеруються вторинними точковими джерелами на локальних неоднорідностях густини ($\delta \rho$) кубічних комірок і вторинними джерелами типу тензорних моментів або подвійної сили, обумовлених локальними неоднорідностями пружних постійних (δc) кубічних комірок описується диференціальним рівнянням [39]:

$$\rho^0 \delta \ddot{U} - \nabla (C \delta E + \delta C E^0) = -\delta \rho \ddot{U}^0. \quad (10)$$

Із розв'язку рівняння (10) знаходять діаграми напрувленості випромінювання розсіяних хвиль для кубічних комірок [39].

Відсутність теорії комплексної інтерпретації геофізичних полів створює значні труднощі для вилучення корисної інформації із результатів польових геофізичних спостережень [2, 3, 11, 35]. Найважливішим питанням при інтерпретації є пошук обґрунтування принципової можливості виділення із сумарного потенціального геофізичного поля (гравіметрія, магнітометрія) ефектів від об'єкту досліджень і його параметричних характеристик. В сейсмічних методах досліджень кожна точка запису хвильового поля відповідає деякій відбиваючій або заломлюючій швидкісній границі або точці дифракції хвилі і, відповідно, навіть одна точка запису несе в собі певну інформацію про параметри об'єкта досліджень.

При дослідженні геопотенціальних полів вимірювання в одній ізольованій точці взагалі не несуть, по суті, ніякої інформації з точки зору геологічної інтерпретації, так як не зареєстроване в точці спостережень геофізичне поле впливає на все геологічне середовище, що оточує комірку. Корисна інформація може бути вилучена лише із сукупності великої кількості значень. Інтерпретаційні технології в цих методах орієнтовані на подолання суттєвого обмеження області визначення поля і його дискретності та зменшення впливу завад і похибок вимірювань [29, 30].

Аномальний гравітаційний ефект від кубічних комірок об'єкту досліджень оцінюють за формулою [30]:

$$\Delta g(x, y, 0) = \gamma \Delta \rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 s \left[h_k \arctan \frac{a_i b_j}{h_k R_{ijk}} - a_i l_n(R_{ijk} + b_j) - b_j l_n(R_{ijk} + a_j) \right] \quad (11)$$

де γ – гравітаційна постійна; $\Delta \rho$ – надлишкова густина;

$R_{ijk} = (\alpha_i^2 + \beta_j^2 + \eta_k^2)^{1/2}$; $s = (-1)^{i+j+k}$ ($i=1, 2$; $j=1, 2$; $k=1, 2$); $\alpha_i = a_i - x$; $\beta_j = b_j - y$; $\eta_k = h_k - z$; $\alpha_i, \beta_j, \eta_k$ – координати вершини кубічної комірки.

Зареєстроване в точці спостережень гравітаційне поле є сумарним:

$$\Delta g(x, y, 0) = \Delta g_k(x, y, 0) + \Delta g_f(x, y, 0) + \Delta \tilde{g}(x, y, 0), \quad (12)$$

де Δg_k – сумарний аномальний ефект кубічних комірок геологічного об'єкту, що досліджується в точці спостережень; Δg_f – аномальне гравітаційне поле об'єктів, що знаходяться за межами об'єму досліджень; $\Delta \tilde{g}$ – випадкові завади (похибки вимірювань сили тяжіння, похибки апроксимації густини реального геологічного середовища однорідною кубічною коміркою).

Глобальна оптимізація задач інверсії. Розв'язок задачі інверсії зводиться до глобальної оптимізації деякого дійсного цільового функціоналу $\Phi(\vec{x})$ ($\vec{x}$ – вектор невідомих параметрів), який визначається сумою різниці квадратів між геофізичними полями зареєстрованими на поверхні землі в точках системи спостережень і чисельними значеннями геофізичних полів, що розраховані для дискретної системи кубічних комірок при прийнятих початкових наближеннях шуканих невідомих параметрів $\vec{x}$. Розв'язок одержаної системи рівнянь здійснюють методом найменших квадратів [4, 15, 29].

Термін "глобальний" при застосуванні до задачі інверсії означає, що необхідно знайти найкращу точку для цільового функціоналу $\Phi(\vec{x})$, і не лише локально в межах деякої околиці початкового наближення.

При відсутності інформації про глобальні умови цільового функціоналу ця особливість поставленої задачі глобальної оптимізації робить її надзвичайно складною. Не випадково, що цей напрямок в методах оптимізації виділяють як самостійний в рамках загальної теорії оптимізації [17, 19, 38].

Існуючі методи загальної оптимізації можна умовно розділити на дві групи: класичні (точкові) і інтервальні [26, 38] (рис. 1), які за технічними засобами пошуку глобального мінімуму можна, в свою чергу, розділити на детерміністичні і стохастичні.

При відсутності апріорної інформації про характер глобальної поведінки цільового функціоналу і структури його локальних мінімумів застосовують класичні методи, які ґрунтуються на тому або іншому способі перебору і порівнянні "усіх точок" області визначення невідомих параметрів $\vec{x}$. До них можна віднести методи нерівномірного покриття [16, 17, 34] або різні методи версії "мультистарти" [19]. Метод нерівномірного покриття, якщо відома стала Ліпшица [16, 17], дає гарантований розв'язок, але на практиці цим методом вдається розв'язувати лише задачі невеликої розмірності. Зменшити розмірність задачі можна лише шляхом паралельної реалізації методу нерівномірного покриття на сучасних багатопроцесорних комп'ютерах.

Чисельні експерименти свідчать, що ефективність методу нерівномірного покриття суттєво залежить від константи Ліпшица, яка апріорі невідома і тому використовують її завищені оцінки, що значно ускладнює розрахунки.



Рис. 1. Класифікація алгоритмів глобальної оптимізації

В подальшому було запропоновано методи, які в системі паралельного програмування реалізують пошук глобального мінімуму цільового функціоналу, градієнти якого задовольняють умові Ліпшица [16, 17].

До цих методів можна віднести різні інтервальні методи розв'язку задачі інверсії [26, 38], в основі яких лежить адаптивне, у відповідності із стратегією "гілок і границь", дроблення області визначення цільового функціоналу, що оптимізується, і інтервальна оцінка області значень по одержаним підобластям. Подібні інтервальні методи глобальної оптимізації є детермінованими процедурами і дозволяють знаходити двобічні границі як для величини оптимуму, так і для забезпечуючи його значень невідомих параметрів $\vec{x}$, але при невеликій і середній їх розмірності N . Для практичної оптимізації цільових функціоналів великої розмірності невідомих параметрів $\vec{x}$ необхідно застосовувати стохастичні методи. На відміну від детермінованих методів оптимізації, стохастичні методи не дають жорсткої гарантії пошуків глобального мінімуму, але розв'язок задачі можна оцінити з достатньо високою вірогідністю.

Стохастичні методи надзвичайно гнучкі при їх реалізації і дозволяють достатньо швидко і з необхідною точністю знаходити глобальний мінімум цільового функціоналу.

Зокрема, в роботах [26, 38] описані інтервальні стохастичні алгоритми глобальної оптимізації функцій. Класичний метод адаптивного інтервального дроблення, який в своїй основі має стратегію "гілок і границь", залученої із дискретної оптимізації, виявився чутливим до, так званого ефекту "застоювання інтервальної оцінки", коли за значний проміжок часу і, відповідно, за велику кількість ітерацій не вдається одержати суттєвого покращення точності інтервальної оцінки. Це свідчить про те, що традиційні інтервальні алгоритми глобальної оптимізації в задачах інверсії із великою кількістю екстремумів і складним цільовим функціоналом не можуть забезпечити ефективний розв'язок поставленої задачі. Це пояснюється внутрішньою логікою цього алгоритму, коли внаслідок послідовного дроблення множини брусів, які не вміщують насправді оптимум, лише несуттєво покращується інтервальна оцінка. Тому необхідно змінювати процедуру вибору бруса для дроблення. В роботі [38] запропоновані алгоритми: "випадкове інтервальне дроблення" та стохастична відбраковка неперспективних брусів для ефективної інтервальної глобальної оптимізації функцій. Для цього використовувався "алгоритм Метрополіса", який застосовувався для моделювання фізичних процесів відпалювання і кристалізації та інтервальні генетичні методи

[17, 38]. Останні методи не використовують поняття "ген" і не застосовують генетичних операторів, а по своїй суті є алгоритмами еволюційного пошуку. В літературі ці методи відомі як "еволюційне програмування" [10, 26]. Основними об'єктами генетичного алгоритму є окремі індивіди, в нашому випадку – бруски на які дробиться вихідна область визначення невідомих параметрів $\vec{x}$. А дроблення – не що інше як розмноження (в термінах генетичних алгоритмів). Причому, "дітей" завжди повинно бути не менше двох, оскільки інтервальна оцінка не покращується якщо не відбувається зменшення під області визначення цільового функціоналу. Крім того, слід відзначити, що для розмноження необхідний лише один родич, який гине в процесі, а бруси-нащадки повністю заміщують батьків. В якості міри пристосованості вибирають нижню границю інтервальної оцінки цільового функціоналу на бруську. Чим вона краща (чим менша нижня границя), тим більше шансів брусу розмножуватися (бути роздібленим) і тим чисельнішими будуть його нащадки.

Об'єднання інтервальних і стохастичних (рандомізованих) підходів дозволяє створювати принципово нові, більш ефективні методи глобальної оптимізації задач інверсії.

Інформаційне забезпечення інтерпретаційної технології геофізичної томографії.

Ключовою методологічною проблемою сучасної геофізичної томографії є завдання збору, зберігання і передачі геолого-геофізичної інформації та можливість її залучення до інтерпретації даних геофізичних спостережень і створення банку інформації.

Суть концепції єдиного інформаційного забезпечення інтерпретаційної технології геофізичної томографії

можна проілюструвати блок-схемою алгоритму бази даних, який наведений на рис. 2. База даних створюється для узагальнення і аналізу геолого-геофізичної інформації. Методи аналізу інформації реалізовані в межах модулю "Геоінформаційного аналізу", який є органічною складовою бази даних. Програмне забезпечення бази даних дозволяє оперативно включати нові фрагменти даних з метою їх використання для комплексного аналізу. Програмний комплекс "Геоінформаційного аналізу" включає оболонку і функціональні програмні модулі, які динамічно виключаються оболонкою для гнучкої побудови графу обробки даних. Оболонка комплексу задовольняє вимогам до сучасного програмного забезпечення: інтегрованість, об'єктна інтегрованість і уніфікований графічний інтерфейс. Набір функціональних модулів може розширюватися із одночасним включенням в оболонку нових пунктів меню. Модуль "Геоінформаційного аналізу" включає програмні засоби для створення (або вибору раніше створеної) бази даних, для вводу в цю базу картографічної інформації і масових геофізичних, петрофізичних даних, а також засоби статистичного аналізу даних і математичного моделювання. Крім того, згідно із принципом "спадкоємності" в якості апіорної інформації здійснюється аналіз результатів інтерпретації попередніх досліджень. Зокрема, обов'язково аналізують інформацію про результати інтерпретації геофізичних досліджень вздовж опорних і регіональних профілів та надглибоких і глибоких свердловин. На основі всебічного аналізу зібраної інформації здійснюється побудова апіорної фізико-геологічної моделі об'єкту досліджень і вибір початкового наближення невідомих параметрів.

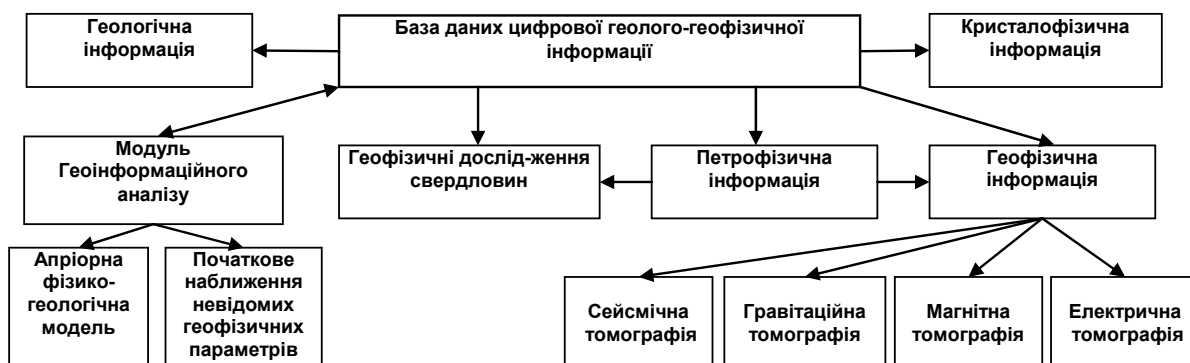


Рис. 2. Алгоритм інформаційного забезпечення бази даних інтерпретаційної технології геофізичної томографії

Висновки. Розроблені методологічні і теоретичні принципи нової інтерпретаційної технології геофізичної томографії, яка ґрунтується на єдиній тривимірній нелінійній динамічній флюїдонасиченій багатокомпонентній ієрархізовано-блоковій анізотропній моделі геологічного середовища із внутрішньопоровим тиском, що знаходиться в складному напруженому стані і під дією високих температур. Ефективні геофізичні параметри такої моделі визначаються методами механіки стохастичного середовища.

Єдина структурно-речовинна модель, максимально наближена до реального геологічного середовища, забезпечує умову просторової спряженості томографічних геофізичних функціоналів.

Визначення структурно-речовинних параметрів моделі здійснюється шляхом розв'язку задач інверсії даних геофізичної томографії. Для підвищення надійності розв'язку задачі інверсії застосовуються нові підходи до розв'язку задачі глобальної оптимізації. Об'єднання інтервальних і стохастичних (рандомізованих) підходів відкриває шлях для створення принципово нових, більш ефективних методів глобальної оптимізації задач інверсії.

Доведено, що ключовою методологічною проблемою сучасної геофізичної томографії, яка в значній мірі визначає її інформативність і достовірність, є необхідність створення цифрової бази даних, яка задовольняє концепції єдиного інформаційного забезпечення інтерпретаційної технології геофізичної томографії і принципу "спадкоємності".

Список використаних джерел:

1. Александров К.С. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород / Александров К.С., Продайвода Г.Т. – Новосибирск, 2000. – 354 с.
2. Анциферов А. В. Комплексирование геофизических методов / Анциферов А. В., Довбняк М. М., Калачник А.А. и др. – Донецк, 2008. – 336 с.
3. Балк П.И. Трёхмерные монтажные технологии интерпретации гравиметрических данных / Балк П.И., Долгаль А.С. // Докл. РАН, 2009. – т. 427, № 3. – С. 380-383.
4. Банди Б. Методы оптимизации / Банди Б. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
5. Березкин В.М. Применение геофизических методов разведки для прямых поисков месторождений нефти и газа / Березкин В.М., Киричек М.А., Кунарев А.А. – М.: Недра, 1978. – 223 с.
6. Вахромеев Г.С. Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений / Вахромеев Г.С. – М.: Недра, 1978. – 152 с.

7. Вахромеев Г.С. Моделирование в разведочной геофизике / Вахромеев Г.С., Давиденко А.Ю. – М.: Недра, 1987. – 192 с.
8. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів / Вижва С.А. – К, 2004. – 236 с.
9. Галуев В.И. Формирование информационного обеспечения региональных геофизических исследований / Галуев В. И. // Геоинформатика, 2008. – № 3. – С. 53-59.
10. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы / Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. – М, 2006.
11. Голыздра Г.Я. Комплексная интерпретация геофизических полей при изучении глубинного строения земной коры / Голыздра Г.Я. – М, 1984. – 212 с.
12. Голыздра Г.Я. О формулировке задач комплексной интерпретации гравитационного поля и сейсмических наблюдений / Голыздра Г.Я. // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1980. – № 7. – С. 95-100.
13. Гольдин С.В. К теории лучевой сейсмической томографии: 1. Преобразование радона в полосу и его обращение / Гольдин С.В. // Геология и геофизика, 1996. – т. 37. – № 5. – С. 3-18.
14. Дайнс К.А. Машинная томография в геофизике / Дайнс К.А., Лайте Дж. // ТИИЭР, 1979. – т. 67. – № 7. – С. 103-112.
15. Дэннис Дж. (мл.) Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений / Дэннис Дж. (мл.), Шнабель Р. – М, 1988. – 440 с.
16. Евтушенко Ю.Г. Методы решения многокритериальных задач / Евтушенко Ю.Г., Потапов М.А. // Докл. АН СССР, 1986. – т. 291. – № 1. – С. 25-29.
17. Евтушенко Ю.Г. Параллельный поиск глобального экстремума функции многих переменных / Евтушенко Ю.Г., Малков В.У., Станевич А.А. // Вычисл. матем. и мат. физ., 2009. – т. 49. – № 2. – С. 255-269.
18. Елисеев В.А. Расчет лучей, распространяющихся в неоднородной среде / Елисеев В.А. // Акустический журнал, 1964. – т. 10. – вып. 3. – С. 284-292.
19. Жилинскас А.А. Поиск оптимума: компьютер расширяет возможности / Жилинскас А.А., Шалтянис В.Р. – М, 1989.
20. Облогина Т.И. Трехмерная задача кинематики волн в произвольном анизотропных неоднородных средах / Облогина Т.И., Пион В.Б., Юдасин Л.А. // Вест. МГУ, 1974. – № 3. – С. 93-99.
21. Козленко В.Г. Об основах комплексирования сейсмометрии и гравиметрии / Козленко В.Г. // Геофизика, 2003. – № 4. – С. 59-61.
22. Комплексирование методов разведочной геофизики: справочник геофизика / Под ред. Бродового В. В., Никитина А.А. – М, 1984. – 384 с.
23. Красовский С.С. Гравитационное моделирование глубинных структур земной коры и изостазия / Красовский С. С. – К, 1989. – 248 с.
24. Липилин А.В. Система обработки и интерпретации геофизических данных при создании Государственной сети опорных геофизических профилей / Липилин А. В. // Геофизика, 2002. – № 3. – С. 27-31.

25. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики / Марчук Г.И. – М, 1989. – 608 с.
26. Панов Н. В. Объединение стохастических и интервальных подходов для решения задач глобальной оптимизации функций / Панов Н. В. // Вычислительные технологии, 2009. – т. 14. – № 5. – С. 49-65.
27. Продайвода Г.Т. Основы сейсмоакустики / Продайвода Г.Т. – К.: ВПЦ "Київ. ун-т", 2001. – 296 с.
28. Продайвода Г.Т. Математичне моделювання геофізичних параметрів / Продайвода Г.Т., Вижва С.А. – К.: ВПЦ "Київ. ун-т", 1999. – 112 с.
29. Продайвода Г.Т. Проблеми геофізики природних і техногенних катастроф / Продайвода Г.Т., Вижва С.А. // Наук. зап. КНУ, 2004. – т. 3. – С. 162-169.
30. Продайвода Г.Т. Гравіметричний метод гео картування структурно-речовинних комплексів Українського щита / Продайвода Г. Т., Гришук П. І. // Вісник КНУ, геологія, 2007. – вип. 41. – С. 7-10.
31. Сейсмическая томография / Под ред. Г. Нолета. – М.: Мир, 1990. – 416 с.
32. Сейсмогравитационное моделирование при изучении литосферы / Отв. ред. Старостенко В.И., Шванцара Я. – К.: Наук. думка, 1994. – 320 с.
33. Старостенко В.И. Комплексная интерпретация сейсмометрии и гравиметрии. Принципы и методика / Старостенко В.И., Костюкевич А.С., Козленко В.Г. // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1988. – № 4. – С. 33-49.
34. Сухарев А.Г. Минимальные алгоритмы в задачах численного анализа / Сухарев А.Г. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
35. Тархов А.Г. Принципы комплексирования в разведочной геофизике / Сухарев А.Г. – М.: Недра, 1977. – 221 с.
36. Троян В.Н. Дифракционная томография: построение и интерпретация топографических функционалов / Троян В.Н., Рыжиков Г.А. // Зап. научн. семинаров ПОМИ, 1994. – т. 218. – вып. 24. – С. 176-196.
37. Хорошун Л.П. Нелинейные свойства композитных материалов стохастической структуры / Хорошун Л.П., Маслов Б.П. – К, 1993. – 132 с.
38. Шарый С.П. Рандомизированные алгоритмы в интервальной глобальной оптимизации / Шарый С.П. // Сибир. журн. вычисл. матем., 2008. – т. 11. – № 4. – С. 457-474.
39. Gibson R.L. Elastic Wave Scattering by Anisotropic Obstacles: Application of Fractured Volumes / Gibson R.L., Ben-Menahem A. // Geoph. Res. – 1981. – v. 96. – № 12. – P. 905-924.
40. Mahdavi-Amiri N. Constrained Nonlinear Least Squares: An Exact Penalte Approach with Projected Structured Quasi-Newton Updates / Mahdavi-Amiri N., Bartels R.H. // ACM Trans. Mathem. Software, 1989. – v. 15. – № 3. – P. 220-242.
41. Wu Ru-Shan Diffraction Tomography and Multisource Holography Applied to Seismic Imaging / Wu Ru-Shan, Tosko M.N. // Geophysics, 1987. – v. 52. – № 1. – P. 11-25.

Надійшла до редколегії 07.03.13.

С. Вижва, д-р геол. наук, Г. Продайвода, д-р физ.-мат. наук, И. Виршило, канд. геол. наук, О. Козинова, инж. 1 кат. Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, Киев

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕРПРЕТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ

В статье рассматривается новая интерпретационная технология геофизической томографии. Технология основана на трехмерной нелинейной динамической анизотропной модели среды. Показаны теоретические и методические принципы разработки для некоторых геофизических задач.

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), G. Prodaivoda, Dr. Sci. (Phys.-Math.), I. Virshilo, Cand. Sci. (Geol.), O. Kozionova, Engineer
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

THE PROBLEMS OF INFORMATION SUPPORT OF GEOPHYSICAL TOMOGRAPHY INTERPRETIVE TECHNOLOGIES

New interpretation technology of geophysical tomography is considered in the paper. Technology based on 3-dimensional nonlinear dynamic and anisotropic model. Theoretical and methodological developing principles are shown for a number of geophysical applications.

УДК (004.01/.08 /6):55(1)

Н. Захарій, инж.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
В. Поліновський, канд. техн. наук, директор
Інститут комп'ютерних технологій Університету "Україна", Київ

АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ РІЗНОРІДНИХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ (ПОБУДОВА МЕТАМОДЕЛІ ДЛЯ ГЕОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)

Проаналізовано специфіку геологічної інформації. Запропоновано метод пошуку прихованих закономірностей та спосіб інтеграції різномірних геоданих в єдине, однорідне середовище. Різні методичні підходи до обробки геологічної інформації призводять до багатоваріантних, неоднозначних, суб'єктивних висновкам і, на думку авторів, вимагають розроблення уніфікованих методик обробки геологічної інформації та їх стандартизації (створення геометаданих).

Постановка проблеми. Сучасні наукові погляди та актуальність вирішення геологічних проблем динамічно змінюються, і закономірності, знайдені вчора, не будуть

працювати завтра. Сьогодні виграє той, хто, застосовуючи новітні технології, своєчасно виявляє нові закономірності й підлаштовує під них свої погляди на вирішення

поставлених задач. При цьому варто згадати про специфіку геологічної інформації – не структурованої, неформалізованої, надлишкової або не рівномірної, для аналізу та обробки якої недостатньо використовувати тільки програми технічного аналізу. Необхідна комплексна система, в якій аналітичні складові виявляють нові закономірності, а програма технічного аналізу реалізує їх.

Аналіз останніх досліджень та невирішені раніше проблеми. Інтелектуальні підходи до аналізу і обробки даних про стан об'єктів різної складності є досить ефективними і широко застосовуються. У [2] розглянута модель і інтегрована експертна система, яка призначена для дослідження методів стегаграфії і стегааналізу.

Щорічно в світі проходить багато конференцій, симпозіумів, форумів, які значною мірою висвітлюють питання використання мережевих моделей на основі нечіткої логіки для моделювання, аналізу і управління взаємодіючими процесами в технічних системах. Так в роботі [4] пропонуються загальні основи штучного інтелекту та стратегії і методи вирішення складних проблем.

Створення інфраструктур геопросторових даних будь-якого рівня ґрунтується на загальних основних складових, принципах і методах реалізації. До таких належать: базові набори геопросторових даних, бази метаданих та механізми обміну даними, стандарти на геопросторові дані, метадані та геоінформаційні сервіси, технологічні засоби інформаційно-комунікаційного середовища створення, оброблення та використання геопросторових даних [3]. Однак відсутність механізму геоаналізу просторової інформації не дозволяють їх використати в повній мірі для вирішення задач, що розглядаються в даній роботі.

Як вже було зазначено, геологічні дані являють собою сукупність різномірної інформації і часто є великим масивом накопичених знань якісного та кількісного характеру. Очевидно, що для виявлення прихованих знань потрібно застосовувати спеціальні методи аналізу даних, за допомогою яких добуваються знання із величезного об'єму інформації. Саме тому, стають актуальними використання нових методів пошуку прихованих закономірностей (Data Mining підхід) та методів і

способів інтеграції різномірних геоданих в єдине, однорідне середовище.

Такий підхід дає можливість більш швидкому та ефективному вирішенні задач побудови моделей геопросторових об'єктів будь-якої складності. Так, наприклад, на сьогоднішній день, при побудові таких моделей дослідники стикаються з проблемами не структурованої, неформалізованої, надлишкової або не рівномірної геопросторової інформації яку необхідно перетворити в певну геопросторову модель, а вже з цією моделлю розпочати певні наукові дослідження. При цьому дослідники, фактично, методом проб та помилок доводиться вибирати, яку саму первинну інформацію D_0 (рис. 1) та за допомогою яких методів синтезу D_0^I необхідно брати, щоб створити D_0^I – структуровану (підготовлену) інформацію, яку буде використовувати геопросторова модель, як вхідну інформацію. Одним із можливих варіантів вирішення поставленої задачі є створення хмарин метаданих при формуванні дослідницької задачі.

Цілі статті. Пропонується розглядати підхід оцінки змін стану геологічного середовища та просторового моделювання екологічних наслідків на основі "метамоделі", що відображає застосування методів обробки та перетворення вхідної інформації для отримання якісно нових даних та практичних відповідей щодо змін геологічних параметрів та стану навколишнього середовища.

Викладення основного матеріалу. Створений ГІС-макету Західного Донбасу [1] забезпечує роботу з наборами карт для комплексного аналізу (кількісна і якісна інтерпретація різномірної інформації, побудова багатofакторних моделей) та дозволяє переходити до повнофункціональної геоінформаційної обробки геоданих та створення бази даних для підтримки рішення задач користування надрами (екологічної спрямованості).

Варто зазначити, що основним недоліком в цьому ГІС-макеті є неможливість автоматизованої обробки всього масиву різномірної інформації самими моделями. Саме тому, як інструмент підтримки прийняття рішення щодо вибору методів оцінки змін стану геологічного середовища була розроблена методологія за допомогою "алгоритму дерева пошуку рішень/метамоделі".

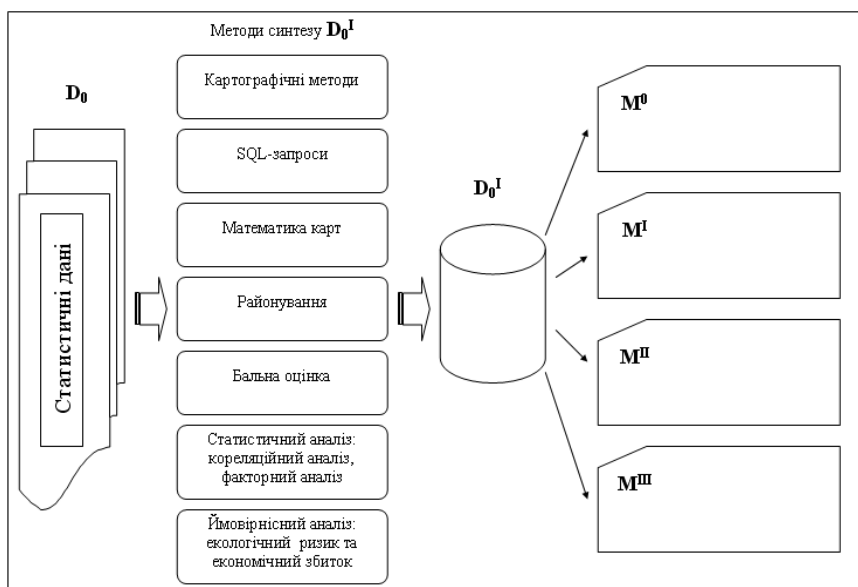


Рис. 1. Схема перетворення неструктурованої інформації D_0

Поняття *алгоритму*, яке введено у дослідженні, можна назвати поняттям алгоритму в інтуїтивному сенсі. Воно має поки що нечіткий, неформальний характер, посилається на деякі точно не визначені, але інтуїтивно

зрозумілі речі. Головна мета формалізації поняття алгоритму така: підійти до вирішення проблеми алгоритмічної можливості розв'язання різних геологічних задач, тобто відповісти на питання, чи може бути побудований

алгоритм, який приводить до вирішення завдання на основі згенерованих експертом-аналітиком сценаріїв.

Зрозуміло, що для нормальної роботи такого алгоритму необхідно на вхід його подавати однорідну D_0 (структуровану) інформацію. Для цих цілей запропоновано створювати геометадані до всього набору геологічної інформації.

Під терміном "геометадані", автори пропонують розглядати метадані, що не тільки вказують до якого саме типу відносяться геопросторові дані, а й "пояснюють" системі, всю сукупність методів, алгоритмів, тощо, які можна використовувати для цих геопросторових даних, з метою створення однорідних з точки зору системи баз геопросторових даних (*machine-readable*).

Поки що в ГІС-технологіях використовуються тільки так звані "Геопросторові метадані" (*Geospatial metadata*) для документування географічних цифрових ресурсів, що на думку авторів є звууженим і неповноцінним використанням всіх можливостей метаданих. На даному етапі геопросторові метадані включають в себе лише інформацію щодо виявлення, обмеження, ступеня, якості, просторових і тимчасових посилення, поширення, походження і технічного обслуговування цифрових географічних наборів даних [5].

Завдяки встановленню єдиного набору термінології *геометаданих*, на думку авторів, необхідно створити стандарт, який сприятиме не тільки належному використанню і ефективному пошуку географічних даних, а і дозволить проводити аналіз однорідної, з точки зору системи (*machine-readable*), інформації просторових геобаз даних та будувати сценарії розвитку змін та оцінки стану навколишнього природного середовища (альтернативних варіантів рішень геологічних задач на основі аналітико-експертної системи інтелектуального інформаційного аналізу геоданих).

Очевидно, що велика кількість параметрів геологічного простору, фільтрів/запитів для перетворень/перекласифікації даних, методів обробки інформації та аналізу набувають вигляду громіздких ієрархічних моделей і

ускладнюють аналітикам сприйняття задачі та побудову функціональних залежностей і визначення кореляцій між параметрами. Саме тому, ці характеристики і параметри пропонується подавати у вигляді хмарин метаданих. Такий підхід дозволить автоматизувати дослідження за допомогою систем інтелектуального аналізу даних.

Кожен з цих параметрів або елементів належить до відповідного масиву (хмарин) метаданих. Отже, маємо чотири таких хмарин: хмара метаданих параметрів (ГІС) та опису змісту сцени: хмара метаданих фільтрів і перетворень, хмара метаданих алгоритмів та хмара метаданих геоаналізу (рис. 2).

Варто зазначити, що в більш загальному вигляді три останні хмаринки являють собою результуючу хмару синтезу задач. Зрозуміло, що аналітику незручно працювати одночасно з всіма трьома хмаринками метаданих "задач", тому в цій хмарі виділено абстрактну сутність – "вибір операцій/задач" (рис. 2) обраних метаданих, що в будь-який момент часу може бути повною реплікацією однієї з трьох хмарин (фільтри, алгоритми, геоаналіз) за вибором оператора. Тобто аналітик працює тільки з однією хмаринкою вибору метаданих.

Такий підхід є практичним, особливо для розподіленої роботи та паралельних обчислень. Більш детально механізм синтезу задач геоаналізу та обробки геологічної інформації розглянемо нижче, а зараз покажемо як формуються вибірки (рис. 2).

Аналітик звертається до хмари метаданих геологічної інформації, з якої він обирає необхідні параметри для проведення досліджень, далі запускається механізм відбору геологічних даних. Відповідний додаток звертається до банку даних різномірної геологічної (просторової) інформації та формує віртуальну вибірку геологічних даних за обраними параметрами. Такий механізм дозволяє сформувати декілька суттєво відмінних вибірок, які використовуватимуться для вирішення різних задач геоаналізу, обробки просторової інформації та статистичних досліджень, що є раціональним для розподіленої роботи та паралельних обчислень.



Рис. 2. Концепція [2] синтезу задачі геоаналізу

Побудуємо концептуальну модель процесу синтезу задач геоаналізу або обробки просторових даних та їх реалізації (рис. 3). Експерт-аналітик, звертається до хмари задач, а саме до хмари "0", з якої, за зазначеному вище способу, починає формувати послідовність задач (від 1 до n, рис. 3), які необхідно буде виконати для проведення геоаналізу або обробки просторових даних. Для кожної з цих задач, аналітик може задати певні параметри (рис. 3). Сукупність задач та їх пара-

метрів формують певний робочий простір, зазначеному на рис. 3 – як W_f , для обробки геологічної інформації, що містяться у віртуальній вибірці. Зрозуміло, що навіть не запускаючи ніяких обчислювальних процесів користувач може заздалегідь створити декілька W_f , і вже після цього запустити процес обробки просторових даних, що дозволить природно використовувати розподілені роботи та паралельні обчислення.

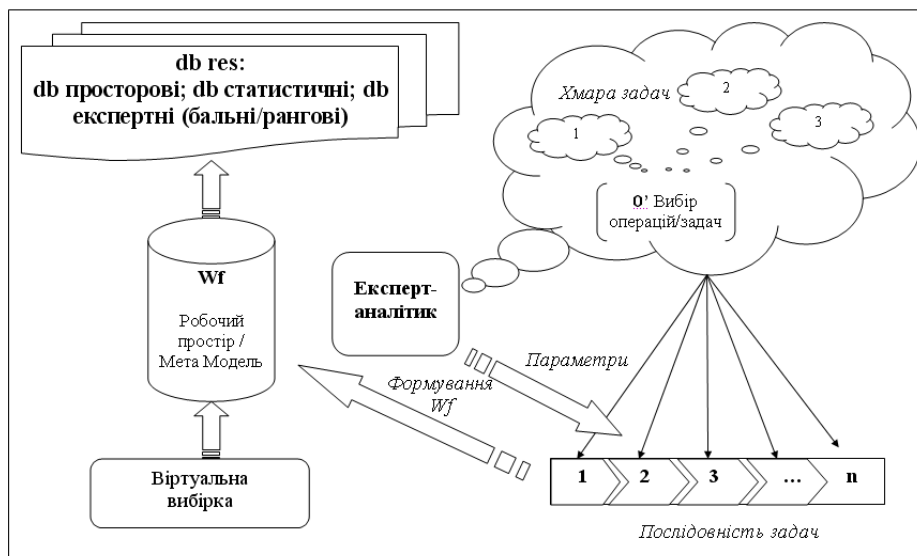


Рис. 3. Модель [2] синтезу задач для геоаналізу або обробки геологічної інформації

Результати руху геологічних даних через робочий простір, тобто послідовна обробка кожного шару даних задачами від 1 до n з певними параметрами, будуть записані в базу даних (**db_{res}**). При цьому, варто зазначити, що ця **db_{res}** база містить в собі три пов'язані між собою бази даних: **db_{просторові}** – база даних, що містить інформацію про кожному з робочих просторів, у яких виконувалися дослідження; **db_{статистичні}** – база даних, що містить статистичну інформацію (кількісну характеристику) та **db_{експертні}** – база даних, що містить інформацію про результати певних подій.

При формуванні робочого простору **Wf**, важливим є не тільки вид задач та з якими параметрами входять до нього, а й послідовність виконання цих задач, оскільки перетворення даних у геоаналізі не є комутативними операціями. Варто зазначити, що обробка кожного шару даних віртуальної вибірки певними алгоритмами геоаналізу або фільтрації, обробка інформації, та самі Data Mining алгоритми споживають багато обчислювальних ресурсів. Тому актуальною науково-прикладною задачею є оптимізація механізмів руху масивів даних через робочий простір при дослідженні просторової інформації методами геоаналізу або обробки просторових даних.

Згідно вищезазначеної концепції (див. рис. 2-3), отримані масиви статистик зберігаються в базі даних, структура якої дозволяє зберігати та отримувати статистику оброблену іншими модулями аналізу даних. Такий комплекс має досить широкі можливості вибірки та аналізу накопичених даних. За переліченими характеристиками комплекс геоаналітичних досліджень суттєво відрізняється від наявних рішень, більшість з яких є вузькоспеціалізованими і виконують аналіз геоданих лише одного типу та одним алгоритмом, а результати обробки представляються в своєму форматі, що часто унеможливує подальший аналіз.

Висновки. Отже, пропонується будувати *алгоритм дерева пошуку рішень (метамодель)*, як синтез методів збору, перетворення, обробки та аналізу інформації для розв'язку геологічних задач різної складності.

Data Mining підхід видобування даних надає аналітику засіб перевірки гіпотез при аналізі даних. І в підсумку для вирішення будь-яких завдань різної складності та сфер застосування результатів необхідний аналітик, який генерує гіпотези, а сучасні технології дозволяють їх обробляти. В той же час, якщо надати досліднику інструментарій по формуванню метаданих, потім ці дослідження можна буде повторювати в напівавтоматизованому режимі.

Автори вважають, що різні методичні підходи до обробки геологічної інформації призводять до багатоваріантних, неоднозначних, суб'єктивних висновкам і, на думку авторів, вимагають розроблення уніфікованих методик обробки геологічної інформації та їх стандартизації (закріплення в нормативно-правових документах).

Список використаних джерел

1. Захарій Н.В. Комплексний аналіз небезпечних змін геологічного середовища на прикладі вугледобувного регіону Західного Донбасу. / Захарій Н.В., Курило М.М. – Вісник КНУ імені Тараса Шевченка, Геологія. – К, 2012. – № 56. – С. 42-45.
2. Інформаційна технологія для дослідження методів стеганографії і стегоаналізу. / [Поліновський В.В., Корольов В.Ю., Герасименко В.А., Горинштейн М.Л.] – Міжвузівський збірник "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво" (м. Луцьк), 2011. – Випуск №5. – С. 236 – 242.
3. Карпінський Ю. Концептуальні створення національної інфраструктури геопросторових даних України / Карпінський Ю., Лященко А. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, – 2005. – С. 295.
4. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект. Стратегия и методы решения сложных проблем = Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving / Д.Ф. Люгер; пер. с англ. : – 4 изд. – М. : СПб. ; К. : Изд. Дом "Вильямс", 2005. – 864 с.
5. Geographic information/Geomatics <http://www.iso.org> ; Geospatial metadata <http://en.wikipedia.org>.

Надійшла до редколегії 04.04.13

Н. Захарій, інж.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
В. Полинський, канд. техн. наук, директор
Інститута комп'ютерних технологій Університету "Україна", Київ

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ РАЗНОРОДНЫХ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ (ПОСТРОЕНИЕ МЕТАМОДЕЛИ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ)

Проанализирована специфика геологической информации. Предложен метод поиска скрытых закономерностей и способ интеграции разнородных геоданных в единую, однородную среду. Различные методические подходы к обработке геологической информации приводят к многовариантным, неоднозначным, субъективным выводам и, по мнению авторов, требуют разработки унифицированных методик обработки геологической информации и их стандартизации (создание геометаданных).

N. Zakcharyi, Engineer
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv
V. Polinovskiy, Cand. Sci. (Tech.), director
Institute of Computer Technology of University "Ukraine", Kyiv

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF DISSIMILAR GEOSPATIAL DATA (CONSTRUCTION OF METAMODELS FOR GEOLOGICAL INFORMATION)

Analyzed the specific geological information. Suggested the method of finding hidden regularities and way of integrating diverse geodata into a single, homogeneous environment. Various methodological approaches to processing of geological information leading to multivariate, controversial, subjective opinion and, according to the authors, requires the development of standardized methods processing of geological information and standardization (create geometadata).

УДК 539.3+656.13

М. Лавренюк, канд. фіз.-мат. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ВОЛОГОНАСИЧЕНОГО МАСИВУ ПІД ДІЄЮ ГРАВІТАЦІЇ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.В. Шевчуком)

Запропоновано загальний підхід до комп'ютерного моделювання поведінки природно-техногенних систем, зокрема прогнозування їх зсувонебезпеки, шляхом розрахунку напружено-деформованого стану зволоженого ґрунтового схилу під дією сил гравітації. Одержано визначальні співвідношення розглядуваної задачі, побудовано ітераційний метод визначення напружено-деформованого стану зсувного масиву, який дозволяє на кожному кроці розглядати плоску задачу теорії пружності. Для розв'язання пружної задачі використовується модифікований метод граничних елементів, який дозволяє одночасно визначати одразу всі компоненти напружено-деформованого стану на границі розглядуваного тіла. Запропонований метод дозволяє також для заданих навантажень та характеру зволоженості схилу визначати можливі зони пластичної течії в масиві.

Механічна поведінка вологонасиченого схилу під дією сил гравітації визначається розвитком в ній механічних напружень і виражається в виді взаємообумовлених і послідовно діючих процесів і явищ, таких як пружне і пластичне деформування масиву, та його зсув. Для оцінки реальної зсувонебезпеки масиву ґрунту необхідне математичне моделювання поведінки такого об'єкту з одержанням значень полів напружень та деформацій в масиві в широкому діапазоні граничних умов та геологічних і механічних параметрів розглядуваного середовища. Значення таких розрахунків особливо велике в районах з можливим розвитком зсувонебезпечних процесів, наприклад в Україні до таких районів відноситься Карпатський регіон.

Зазвичай, при розрахунках стійкості схилів використовують різноманітні методи – від застосування елементарних розв'язків, статистичного та експериментального підходів (стійкість відкосів в ідеально зв'язних ґрунтах, стійкість вертикального відкосу в ідеально зв'язних ґрунтах тощо) [4, 5, 8, 9] до інженерних та чисельних методів (наприклад, метод круглоциліндричних поверхонь ковзання, метод "стійкого відкосу" тощо) [2, 7].

Використання моделей механіки суцільного середовища при комп'ютерному моделюванні поведінки природно-техногенних систем [2, 3], зокрема при прогнозуванні їх зсувонебезпеки дозволяє повністю визначати напружено-деформований стан схилів та відкосів, а отже й оцінити стійкість схилу заданої крутизни чи, навпаки, визначити оптимальну крутизну схилу чи відкосу при заданому коефіцієнті запасу стійкості схилу.

З точки зору механіки суцільних середовищ задачі оцінки стійкості схилів зводяться до розгляду плоскої задачі теорії пружності (плоскої деформації).

Одним з важливих факторів, що впливає на стійкість схилу є його вологонасиченість. Розглянемо вологонасичений схил (рис. 1), пружні властивості якого залежать від консистенції породи (вологонасиченості), яка вважається заданою (аналітично чи чисельно в кожній точці розглядуваного тіла) функцією координат.

Будемо вважати, що від точки до точки змінними є модуль Юнга та коефіцієнт зволоженості розглядуваного тіла, в той час як коефіцієнт Пуассона є незмінним:

$$\nu = \nu_0 = \text{const}, \quad E = E(h), \quad h = h(x_1, x_2). \quad (1)$$

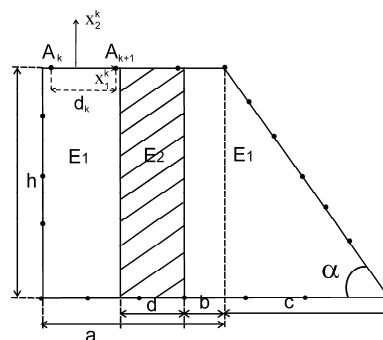


Рис. 1. Схема зсувонебезпечного вологонасиченого масиву ґрунту

Нехай E_0, ν_0 – пружні характеристики тіла в початковому, не зволоженому стані, маємо:

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

$$\lambda_0 = \frac{E_0\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \quad \mu_0 = \frac{E_0}{2(1+\nu)}.$$

Вважаємо, що напруження та деформації в тілі пов'язані співвідношеннями наступного вигляду:

$$\sigma_{ij}(h) = \lambda(h)\theta\delta_{ij} + 2\mu(h)ah\delta_{ij} = s_{ij} - 3K(h)ah\delta_{ij}. \quad (2)$$

де $K(h) = \frac{E(h)}{3(1-2\nu)}$, a – коефіцієнт зміни вологості, а h

– консистенція породи.

Залежність $E = E(h)$ одержується на основі експериментальних даних.

Продиференціювавши співвідношення (2), одержимо рівняння рівноваги в переміщеннях

$$\left(\lambda(h)u_{i,i}\delta_{ij} + \mu(h)(u_{i,j} + u_{j,i}) \right)_{,j} - 3(K(h)ah)_{,i} + \rho g_i = 0 \quad (3)$$

Домножимо обидві частини (3) на E_0 , одержимо:

$$E_0 \left(\lambda(h)u_{i,i}\delta_{ij} + \mu(h)(u_{i,j} + u_{j,i}) \right)_{,j} - 3E_0(K(h)ah)_{,i} + E_0\rho g_i = 0$$

Згідно (1), маємо:

$$\left(E(h) \left(\lambda_0 u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j} + u_{j,i}) \right) \right)_{,j} - 3E_0 (K(h)ah)_{,i} + E_0 \rho g_i = 0 \quad (4)$$

Виконуючи диференціювання (4) частинами, одержимо:

$$E(h) \left((\lambda_0 + \mu_0) u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 \Delta u_i \right) + \frac{\partial E}{\partial x_j} \left(\lambda_0 u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j} + u_{j,i}) \right) - 3E_0 (K(h)ah)_{,i} + E_0 \rho g_i = 0 \quad (5)$$

Поділимо обидві частини (5) на $E(h)$, одержимо:

$$(\lambda_0 + \mu_0) u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 \Delta u_i + \frac{1}{E(h)} \frac{\partial E}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x_j} \tilde{s}_{ij}^0 - 3 \frac{E_0}{E(h)} (K(h)ah)_{,i} + E_0 \rho g_i = 0$$

де $\tilde{s}_{ij}^0 = \lambda_0 u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j} + u_{j,i})$.

Далі будемо метод послідовних наближень за наступною схемою. На першому кроці маємо наступну систему рівнянь:

$$(\lambda_0 + \mu_0) u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 \Delta u_i - 3E_0 \left(\frac{K(h)ah}{E(h)} \right)_{,i} = 0$$

разом з граничними умовами на вільній від навантажень границі розглядуваного тіла

$$E(h) \left(\lambda_0 u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j} + u_{j,i}) \right) n_j = 3K(h)ahn_i.$$

На наступному кроці до масових сил додається доданок $\frac{\partial E}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x_j} \tilde{s}_{ij}^0$, де $\tilde{s}_{ij}^0$ – напруження, визначені на попередньому кроці, а крайова задача для цього кроку запишеться у вигляді:

$$(\lambda_0 + \mu_0) u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 \Delta u_i + \frac{\partial E}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x_j} \tilde{s}_{ij}^0 - 3E_0 \left(\frac{K(h)ah}{E(h)} \right)_{,i} + E_0 \rho g_i = 0 \quad (6)$$

$$E(h) \left(\lambda_0 u_{i,j} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j} + u_{j,i}) \right) n_j = 3K(h)ahn_i. \quad (7)$$

Розв'язуючи одержану систему рівнянь (6), (7) таким же чином, як і на попередньому ітераційному кроці, одержимо значення напружень в центрах елементів дискретизації $\tilde{s}_{ij}^1$. Отже, на k -му ітераційному кроці матимемо:

$$(\lambda_0 + \mu_0) u_{i,j}^{(k)} \delta_{ij} + \mu_0 \Delta u_i^{(k)} + \frac{\partial E}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x_j} \tilde{s}_{ij}^{k-1} - 3E_0 \left(\frac{K(h)ah}{E(h)} \right)_{,i} + E_0 \rho g_i = 0 \quad (8)$$

$$\left(\lambda_0 u_{i,j}^{(k)} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j}^{(k)} + u_{j,i}^{(k)}) \right) n_j = \frac{ahn_i}{(1-2\nu)}. \quad (9)$$

Одержану систему диференціальних рівнянь в частинних похідних (8), (9) зведемо до системи гранично-контактних рівнянь, скориставшись співвідношеннями Сомільяно. Остаточно одержимо наступну систему гранично-контактних рівнянь для першого ітераційного кроку:

$$\frac{1}{2} \delta_{ij} u_j^{(0)}(x) = -3 \int_{S_0} \left(\frac{E_0}{E(h)} (K(h)ah)_{,i} \right) U_i^l(x, \xi) dS_0 + \int_{S_0} \rho g_i U_i^l(x, \xi) dS_0 + \int_{\Gamma_0} U_i^l(x, \xi) \tilde{s}_{ij}^{(0)} n_j d\Gamma_0 - \int_{\Gamma_0} g_j^l(x, \xi) u_j^{(0)}(\xi) d\Gamma_0 \quad (10)$$

$$\left(\lambda_0 u_{i,j}^{(0)} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j}^{(0)} + u_{j,i}^{(0)}) \right) n_j \Big|_{\Gamma_0} = \frac{ahn_i}{(1-2\nu)} \Big|_{\Gamma_0} \quad (11)$$

для k -го ітераційного кроку:

$$\frac{1}{2} \delta_{ij} u_j^{(k)}(x) = \int_{S_0} \frac{\partial E}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x_j} \tilde{s}_{ij}^{(k-1)} U_i^l(x, \xi) dS_0 - \int_{S_0} \frac{E_0}{E(h)} (K(h)ah)_{,i} U_i^l(x, \xi) dS_0 + \int_{\Gamma_0} U_i^l(x, \xi) \tilde{s}_{ij}^{(k)} n_j d\Gamma_0 - \int_{\Gamma_0} g_j^l(x, \xi) u_j^{(k)}(\xi) d\Gamma_0 + \int_{S_0} \rho g_i U_i^l(x, \xi) dS_0, \quad (12)$$

$$\left(\lambda_0 u_{i,j}^{(k)} \delta_{ij} + \mu_0 (u_{i,j}^{(k)} + u_{j,i}^{(k)}) \right) n_j \Big|_{\Gamma_0} = \frac{ahn_i}{(1-2\nu)} \Big|_{\Gamma_0} \quad (13)$$

Таким чином, на кожному кроці маємо задачу плоскої деформації однорідного тіла, де неоднорідність механічних властивостей тіла та вплив вологонасиченості враховані в поверхневому інтегралі в (10), (12) та в граничних умовах (11), (13).

Здійснимо дискретизацію границі розглядуваного масиву (рис. 1), вибираючи елементами дискретизації відрізки ламаних, на які заміняємо границю масиву. Введемо на цих відрізках локальну систему координат. Невідомі щільності потенціалів подвійного шару на границях включень можуть бути представлені на кожному відрізку дискретизації як функції двох змінних. На відміну від стандартного методу граничних інтегральних рівнянь таке представлення дозволяє після розв'язання системи граничних інтегральних рівнянь визначити всі компоненти переміщень та напружень на всіх границях контакту.

У випадку лінійної апроксимації компоненти переміщень на i -му відрізку дискретизації можуть бути записані наступним чином:

$$u_i^i(x') = a_{1i}x'_1 + a_{2i}x'_2 + a_{3i} \quad (14)$$

Використовуючи співвідношення Коші та реологічний закон (2) для ізотропного пружного тіла, одержимо відповідні вирази для напружень на кожному відрізку дискретизації для кожного ітераційного кроку:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{i(k)}(x') &= (\lambda_0 + 2\mu_0) a_{1i}^{(k)} + \lambda_0 a_{5i}^{(k)} - 3K(h)ah \\ \sigma_{22}^{i(k)}(x') &= (\lambda_0 + 2\mu_0) a_{5i}^{(k)} + \lambda_0 a_{1i}^{(k)} - 3K(h)ah \\ \tau_{12}^{i(k)}(x') &= \mu_0 (a_{2i}^{(k)} + a_{4i}^{(k)}), \quad k=1, \dots, N_{iter}, i=1, \dots, M \end{aligned} \quad (15)$$

та s_{ij} :

$$\begin{aligned} s_{11}^{i(k)}(x') &= (\lambda_0 + 2\mu_0) a_{1i}^{(k)} + \lambda_0 a_{5i}^{(k)} \\ s_{22}^{i(k)}(x') &= (\lambda_0 + 2\mu_0) a_{5i}^{(k)} + \lambda_0 a_{1i}^{(k)} \\ s_{12}^{i(k)}(x') &= \mu_0 (a_{2i}^{(k)} + a_{4i}^{(k)}), \quad k=1, \dots, N_{iter}, i=1, \dots, M \end{aligned} \quad (16)$$

Таким чином, після підстановки в граничні інтегральні рівняння, де всі ядра підінтегральних виразів записані в локальній системі координат, а вирази для переміщень та напружень замінені на їх представлення (14)-(16) через введені невідомі в локальних координатах, та обчисливши відповідні інтеграли, одержимо систему лінійних алгебраїчних рівнянь.

Для її замикання у випадку лінійної апроксимації складових вектора переміщень (14) додаються умови **неперервності переміщень у вузлах ламаної**:

$$\begin{aligned} (0.5a_{1i}d_i + a_{3i})\cos\alpha_i - (0.5a_{4i}d_i + a_{6i})\sin\alpha_i &= \\ = (-0.5a_{1i+1}d_{i+1} + a_{3i+1})\cos\alpha_{i+1} - (-0.5a_{4i+1}d_{i+1} + a_{6i+1})\sin\alpha_{i+1}, \\ (0.5a_{1i}d_i + a_{3i})\sin\alpha_i + (0.5a_{4i}d_i + a_{6i})\cos\alpha_i &= \\ = (-0.5a_{1i+1}d_{i+1} + a_{3i+1})\sin\alpha_{i+1} + (-0.5a_{4i+1}d_{i+1} + a_{6i+1})\cos\alpha_{i+1} \end{aligned}$$

Таким чином, після розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь для k -го кроку ітерації, знайдемо значення напружень на границі тіла. Для знаходження

значень напружень у внутрішніх точках розглядуваного тіла скористаємось формулами, одержаними із формул Сомільяно за допомогою їх диференціювання та складання з них виразів для напружень для 1-го кроку:

$$\hat{s}_{ij}^{(0)}(\xi) = \int_{\Gamma_0} u_{ijl}^*(\xi, x) p_l^{(0)}(x) d\Gamma_0(x) - \int_{\Gamma_0} p_{ijl}^*(\xi, x) u_l^{(0)}(x) d\Gamma_0 + \int_S u_{ijl}^*(\xi, x) X_l^{(0)}(x) dS_0$$

де $u_{ijk}^* = -\sigma_{ijk}^*$,

$$\begin{aligned} \sigma_{jki}^*(\xi, x) = & -\frac{1}{4\alpha\pi(1-\nu)r^\alpha} \left[(1-2\nu)(r_{,i}\delta_{ij} + r_{,j}\delta_{ik} - r_{,i}\delta_{jk}) + \beta r_{,i}r_{,j}r_{,k} \right], \\ p_{ijk}^*(\xi, x) = & \frac{G}{2\alpha\pi(1-\nu)r^\beta} \beta \frac{\partial r}{\partial n} (1-2\nu) \delta_{ij} r_{,k} + \\ & + \frac{G}{2\alpha\pi(1-\nu)r^\beta} \beta \frac{\partial r}{\partial n} \nu (\delta_{ik} r_{,j} + \delta_{ji} r_{,i}) - \frac{G}{2\alpha\pi(1-\nu)r^\beta} \beta \frac{\partial r}{\partial n} \gamma r_{,i} r_{,j} r_{,k} + \\ & + \frac{G}{2\alpha\pi(1-\nu)r^\beta} (\beta \nu (n_{,i} r_{,j} r_{,k} + n_{,j} r_{,i} r_{,k}) - (1-4\nu) n_k \delta_{ij}) + \\ & + \frac{G}{2\alpha\pi(1-\nu)r^\beta} (1-2\nu) (\beta n_k r_{,i} r_{,j} + n_{,j} \delta_{ik} + n_i \delta_{jk}) \\ \alpha = 1, \beta = 2, \gamma = 4, r_{,i} \equiv & \frac{\partial r}{\partial x_i}(x) = -\frac{\partial r}{\partial x_i}(\xi), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i^{(0)}(x) = & -3 \frac{E_0}{E(h)} (K(h) a h)_{,i} = \\ & - \frac{E_0}{(1-2\nu)} \frac{\partial h}{\partial x_i} \left(\frac{a h}{E(h)} \frac{\partial E(h)}{\partial h} + a \right) \end{aligned}$$

для k -го кроку:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{ij}^{(k)}(\xi) = & \int_{\Gamma_0} u_{ijl}^*(\xi, x) p_l^{(k)}(x) d\Gamma_0(x) - \\ & - \int_{\Gamma_0} p_{ijl}^*(\xi, x) u_l^{(k)}(x) d\Gamma_0 + \int_S u_{ijl}^*(\xi, x) X_l^{(k)}(x) dS_0 \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} X_i^{(k)}(x) = & \frac{\partial E}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x_j} \hat{\sigma}_{ij}^{(k-1)}(x) - 3 \frac{E_0}{E(h)} (K(h) a h)_{,i} = \\ & = \hat{\sigma}_{ij}^{(k-1)} - \frac{E_0}{(1-2\nu)} \frac{\partial h}{\partial x_i} \left(\frac{a h}{E(h)} \frac{\partial E(h)}{\partial h} + a \right), \end{aligned}$$

а $\hat{\sigma}_{ij}^{(k-1)}$ – напруження з попереднього кроку.

Н. Лавренюк, канд. физ.-мат. наук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЛАГОНАСЫЩЕННОГО МАССИВА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГРАВИТАЦИИ

Предложено общий подход к компьютерному моделированию поведения природно-техногенных систем, в частности, прогнозирования их сдвигоопасности, посредством расчета напряженно-деформированного состояния влагонасыщенного грунтового склона под воздействием сил гравитации. Получены определяющие соотношения рассматриваемой задачи, построен итерационный метод определения напряженно-деформированного состояния оползневого массива, позволяющий на каждом шаге рассматривать плоскую задачу теории упругости. Для решения упругой задачи используется модифицированный метод граничных элементов, позволяющий одновременно определять сразу все компоненты напряженно-деформированного состояния на границе рассматриваемого тела. Предложенный метод также позволяет для заданных нагрузок и характера увлажнения склона определять возможные зоны пластического течения в массиве.

M. Lavrenyuk, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

STRESS-STRAIN STATE OF SATURATED LANDSLIDE SUBJECTED TO GRAVITATION FORCES

The general approach to computer simulation of behavior of natural and technogeneous systems, in particular forecast of its sliding safety, by calculating the stress-strain state of saturated ground slope subjected to gravitation forces is proposed. The governing relations for considered problem was obtained, and iteration method of stress-strain state assessment of landslide area, that allows to solve on every step planar elasticity problem was constructed. For solving the elastic problem the modified boundary element method is used; it allows to find simultaneously all the components of stress-strain state on the boundary of examined body. The method proposed allows for prescribed external loadings and saturation of landslide to determine possible zones of plasticity within the landslide area.

Таким чином, одержимо значення всіх компонент напружень у центрі кожного елемента дискретизації. Ітераційний процес триває доти, доки виконується умова $\max_{x \in V} \|\sigma_{ij}^{(k)} - \sigma_{ij}^{(k-1)}\| > \varepsilon$.

Після закінчення ітераційного процесу із значень σ_{ij} обчислюємо вирази для інтенсивності дотичних напружень:

$$\begin{aligned} T(h) = & \sqrt{\frac{1}{2} \hat{S}_{ij}(h) \hat{S}_{ij}(h)}, \\ \hat{S}_{ij}(h) = & \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{kk} \delta_{ij}, \end{aligned}$$

і порівнюємо їх в середині кожного із елементів дискретизації із значеннями $T_y(h)$. Сукупність елементів, де $T < T_y$ утворюють потенційні зони пластичності з можливим розвитком пластичних деформацій. Таким чином, підхід, запропонований в [1] та продовжений в роботах [2], [3], [6] можна поширити на задачі визначення напружено-деформованого стану вологонасичених схилів.

Список використаних джерел

1. Лавренюк В. І. Про визначення напружено-деформованого стану матриці з включенням методом граничних елементів // Вісник Київського університету. – 1993. – № 2. – С. 27–35.
2. Шевчук В.В., Іванік О.М., Лавренюк В.И., Лавренюк Н.В. Напряженно-деформированное состояние системы геологическая среда-трубопровод в условиях криолитозоны // Геофизический журнал. – 2008. – №1. – Т. 30. – С. 62–71.
3. Шевчук В.В., Іванік О.М., Горбань В.О., Лавренюк М.В. Моделирование влияния геологического окружения на функционирование транспортных природно-техногенных систем // IX Міжн. наук. конф. "Моніторинг геологічних процесів". – 2009. – К. – С. 30–34.
4. Patrick L. Barnard, Lewis A. Owen, Milap C. Sharma, Robert C. Finkel Natural and human-induced landsliding in the Garhwal Himalaya of northern India // Geomorphology. – 2001. – V. 40. – P. 21–35.
5. L. Claessens, G. B. M. Heuvelink, J. M. Schoorl and A. Veldkamp DEM resolution effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modelling // Earth Surf. Process. Landforms. – 2005. – V. 30. – P. 461–477.
6. O. Ivanik, V. Shevchuk, M. Lavrenyuk. Numerical Modeling of Geological Environment Impact on the Pipelines // 71st EAGE Annual Conference, Earthdoc, Amsterdam, – 2009.
7. Richard M. Iverson Landslide triggering by rain infiltration // Water resources research, – 2000. – V. 36, no. 7. – P. 1897–1910.
8. David R. Montgomery, Kathleen Sullivan and Harvey M. Greenberg Regional test of a model for shallow landsliding // Hydrol. Process. – 1998. – V. 12. – P. 943–955.
9. Joshua J. Roering, James W. Kirchner, Leonard S. Sklar, William E. Dietrich Hillslope evolution by nonlinear creep and landsliding: An experimental study // Geology. – 2001. – V. 29. – no. 2. – P. 143–146.

Надійшла до редколегії 01.04.13

УДК 550.3 (519.21)

3. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЕЙСМІЧНОГО ШУМУ У ЧОТИРИВИМІРНІЙ ОБЛАСТІ ЗМІННИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.Н. Жуковим)

Розглянуто задачу статистичного моделювання випадкових полів у чотиривимірній області змінних (однорідних за часом та однорідних ізотропних за 3-D просторовими координатами) при впровадженні у сейсмологічні дослідження для визначення частотних характеристик геологічного середовища. Побудовано модель та сформульовано алгоритм чисельного моделювання реалізацій таких випадкових полів на основі модифікованих інтерполяційних розкладів Котельникова-Шеннона для генерування адекватних реалізацій шуму сейсмограм.

Вступ. У статті розглянуто задачу статистичного моделювання реалізацій випадкових полів з обмеженим спектром, які залежать від часу та задані у тривимірній області, для впровадження в сейсмологічні дослідження з потребами визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками. Побудовано модель та на основі оцінок похибок середньоквадратичного наближення таких випадкових полів цією моделлю сформульовано алгоритм для чисельного моделювання реалізацій полів, адекватних реалізаціям шуму сейсмограм.

Це є подальшим узагальненням вирішених у роботах [2, 3, 4, 5, 15] задач стосовно збільшення розмірності простору, в якому зосереджена область спостереження.

Реалізації статистичного моделювання таких випадкових полів важливо використовувати на практиці для виділення сейсмічного шуму від зовнішнього впливу і для того, щоб отримати відповідні оцінки частотних характеристик геологічного середовища тривимірної області спостереження. Вказані оцінки необхідно враховувати при будівництві об'єктів різного призначення з метою забезпечення надійності споруд.

Моделі та алгоритми статистичного моделювання випадкових процесів та полів на основі розкладів в ряди Фур'є, Фур'є-Бесселя та в ряди по синк-функціям (інтерполяційні формули Котельникова-Шеннона) вико-

ристовується в геологічних науках порівняно недавно: [14, 11, 8, 12, 10] та ін.

В статті розглянуто перспективи застосування побудованих моделей та алгоритмів статистичного моделювання випадкових процесів та полів до задачі дослідження параметрів сейсмічного шуму для потреб визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками на тривимірній області спостереження.

1. Модель та алгоритм

При статистичному моделюванні спостережених шумів сейсмограм використовувався метод, розроблений на основі спектрального розкладу [9] та модифікованої теореми [2] Котельникова-Шеннона для випадкових полів з обмеженим спектром, однорідних за часом та однорідних ізотропних за просторовими тривимірними координатами.

Вказано розклад у модифікований ряд Котельникова-Шеннона для таких випадкових полів та тримано оцінки їх середньоквадратичного наближення частковими сумами цього розкладу з використанням результатів [7] та [2].

На основі такого розкладу побудовано модель [15] гауссівського однорідного за часом та однорідного ізотропного за просторовими тривимірними координатами випадкового поля $\xi(t, \rho, \theta, \phi)$ на $R \times R^3$ з обмеженим спектром, зосередженим на інтервалі $[-\tilde{\omega}, \tilde{\omega}]$, у вигляді:

$$\xi_{N,M}(t, \rho, \theta, \phi) = \sum_{k=-N}^N \frac{\sin \omega \left(t - \frac{k\pi}{\omega} \right)}{\omega \left(t - \frac{k\pi}{\omega} \right)} \left\{ \sum_{m=0}^M \sum_{l=0}^m c_{m,l} P_m^l(\cos \theta) \left[\cos l \varphi_{m,1} \left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho \right) + \sin l \varphi_{m,2} \left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho \right) \right] \right\} \quad (1)$$

де ω – будь-яке число: $\omega > \tilde{\omega}$, $\varphi_{m,1} \left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho \right)$, $\varphi_{m,2} \left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho \right)$,

$m = 0, 1, \dots, M$; $l = 0, 1, \dots, m$; $k = -N, \dots, N$ – послідовності гауссівських випадкових процесів, які задовольняють умовам:

$$E \zeta_{m,i}^1 \left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho \right) = 0,$$

$$E \zeta_{m,i}^1 \left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho \right) \zeta_{n,j}^l \left(\frac{\tilde{k}\pi}{\omega}, \rho \right) = \delta_i^l \delta_j^l \delta_n^m \tilde{b}_m \left(\frac{(k - \tilde{k})\pi}{\omega}, \rho \right);$$

$$m, n = 0, 1, \dots, M; \quad l, \tilde{l} = 0, 1, \dots, m; \quad k, \tilde{k} = -N, \dots, N; \quad i, j = 1, 2. \quad (2)$$

Причому, $\{\tilde{b}_m(t-s, \rho)\}$ – послідовність додатньо визначених ядер на $R \times R_+$, які можна обчислити за просторово-часовим спектром $\Phi(du, d\lambda)$ випадкового поля $\xi(t, \rho, \theta, \phi)$ та для яких виконується така умова:

$$\sum_{m=1}^{\infty} \tilde{b}(t-s, \rho) < \infty. \text{ Вони мають наступний вигляд:}$$

$$\tilde{b}_m(t-s, \rho) = \int_{|u| \leq \tilde{\omega}} \int_0^{+\infty} e^{i(t-u)} J_m^2(\rho \lambda) \Phi(du, d\lambda) \quad (3)$$

де $J_m(u)$ – функція Бесселя першого роду порядку m .

Сформульовано алгоритм статистичного моделювання реалізацій гауссівських однорідних за часом та однорідних ізотропних за тривимірними просторовими змінними випадкових полів $\xi(t, \rho, \theta, \phi)$ з обмеженим за часом t спектром.

Алгоритм

1. Вибираємо, відповідно до необхідної точності $\varepsilon > 0$, натуральні числа N та M для моделі (1) за допомогою однієї з наступних нерівностей:

$$\frac{5\pi\rho^3}{4M^2} \tilde{\mu}_3 + \frac{\gamma^2(t)}{N^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{\tilde{\omega}}{\omega}\right)^2} \tilde{B}_M(0, \rho) < \varepsilon,$$

$$\frac{5\pi\rho^3}{4M^2} \tilde{\mu}_3 + \frac{L_0^2(t)\omega^2}{(\omega - \tilde{\omega})^2 N^2} \tilde{B}_M(0, \rho) < \varepsilon,$$

$$\frac{5\pi\rho^3}{4M^2}\tilde{\mu}_3 + \frac{4}{\pi^2(2N-1)}\tilde{B}_M(0,\rho) < \varepsilon,$$

де ρ – полярний радіус, ω – будь-яке фіксоване число, яке задовольняє умові: $\omega > \nu = \sup_{u \in \Lambda} |u|$,

$$\tilde{\mu}_3 = \int_{-\tilde{\omega}}^{+\tilde{\omega}} \int_0^{+\infty} \lambda^3 \Phi(d\lambda, d\lambda), \quad \tilde{B}_M(0,\rho) = \tilde{b}_0(0,\rho) + 2 \sum_{m=1}^M \tilde{b}(0,\rho),$$

$$\gamma(t) = \frac{4\left(\frac{\omega}{\pi}|t|+1\right)}{\pi}, \quad L_0(t) = \frac{2}{1-e^{-\pi}}\left(\frac{2}{\pi}\right)|\sin \omega t|.$$

Моделюємо послідовності гауссівських випадкових величин (ρ – фіксований полярний радіус) $\zeta_{m,1}^1\left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho\right)$,

$\zeta_{m,2}^1\left(\frac{k\pi}{\omega}, \rho\right)$, $m=0,1,\dots,M$; $l=0,1,\dots,m$; $k=-\overline{N}, \overline{N}$ які задовольняють умовам (2).

2. Обчислюємо вираз (1) у заданій точці $(t, \rho, \theta, \phi) \in [-T, T] \times A^2$, $A^2 \subset R^2$, підставляючи в нього обчислені за попередніми пунктами 1 та 2 величини N та M і послідовності значень гауссівських випадкових величин.

3. Перевіряємо згенеровану за п. 3 реалізацію випадкового поля $\xi(t, \rho, \theta, \phi)$ у точках сітки в області спостереження на адекватність даним цього випадкового поля шляхом порівняння відповідних статистичних характеристик.

1. Практичне використання моделі поля із просторово-часовою кореляційною функцією

Для практичного використання розробленого алгоритму та моделі (1) чисельного моделювання реалізацій дійснозначних однорідних за часом t , однорідних ізотропних за змінними r, θ, ϕ на $R \times R^3$ випадкових полів $\xi(t, r, \theta, \phi)$ з обмеженим спектром із просторово-часовою кореляційною функцією $B_z(\tau, \rho)$ необхідно зазначити наступне. При моделюванні випадкових полів із такою кореляцією можна скористатись різними підходами [6]. При цьому потрібно врахувати, що моделі просторово-часової кореляційної структури підрозділяють на два види: перший, що враховує розподіл на просторову та часову компоненти та другий – такий, що цього розподілу не передбачає. Нижче наведено згадані моделі, які мають на даний час найбільше поширення.

Метрична модель використовує узагальнену змінну, яка моделює евклідову просторово-часову метрику для коваріаційної функції:

$$B_z(\tau, \rho) = B\left(a^2|\rho| + b^2\tau^2\right),$$

де a, b – дійснозначні коефіцієнти. Така модель базується на припущенні однакового типу моделі для просторової та часової коваріаційної функції із можливими відмінностями тільки у радіусі кореляції.

Лінійна модель розділяє просторово-часову коваріацію на просторову та часову компоненти та її загальна формула є їх сумою:

$$B_z(\tau, \rho) = B_x(\rho) + B_t(\tau),$$

де $B_t(\tau)$ – часова компонента коваріаційної функції; $B_x(\rho)$ – просторова компонента коваріаційної функції.

Модель добутку просторово-часової коваріації також заснована на розділенні залежності за простором та часом, але, на відміну від попереднього випадку, модель будується, як добуток цих компонент:

$$B_z(\tau, \rho) = k B_x(\rho) B_t(\tau), \quad (4)$$

де k – параметр.

Просторово-часова модель коваріації може бути переписана в термінах просторово-часової варіограми:

$$\gamma_z(\rho, \tau) = k(B_t(0)\gamma_x(h) + B_x(0)\gamma_t(\tau) - \gamma_x(h)\gamma_t(\tau)), \quad (5)$$

де $\gamma_z(\rho, \tau)$ – просторово-часова варіограма; $\gamma_t(\tau)$ – часова компонента варіограми; $\gamma_x(h)$ – просторова компонента варіограми; $B_z(0,0)$ – плато просторово-часової варіограми $\gamma_z(\rho, \tau)$; $B_x(0)$ – плато просторової компоненти варіограми $\gamma_x(h)$; $B_t(0)$ – плато часової компоненти варіограми $\gamma_t(\tau)$.

Параметр k можна визначити із рівняння (5):

$$k = \frac{B_z(0,0)}{B_x(0)B_t(0)},$$

щоби при нульових відстанях по простору ($|h|=0$) і/або часові ($t=0$) залишалась тільки потрібна компонента.

Модель добутку-суми, яка розділяє просторову та часову компоненти за правилом добутку-суми, тобто зводить лінійну модель та модель добутку разом:

$$B_z(\tau, \rho) = k_1 B_x(\rho) B_t(\tau) + k_2 B_x(\rho) + k_3 B_t(\tau), \quad (6)$$

де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, які можна визначити із наступних співвідношень:

$$k_1 = \frac{B_x(0) + B_t(0) - B_z(0,0)}{B_x(0)B_t(0)},$$

$$k_2 = \frac{B_z(0,0) - B_t(0)}{B_x(0)},$$

$$k_3 = \frac{B_z(0,0) - B_x(0)}{B_t(0)}.$$

Відповідна просторово-часовій кореляційній функції $B_z(\tau, \rho)$ вигляду (6) випадкового поля $\xi(t, r, \theta, \phi)$ модель просторово-часової варіограми $\gamma_z(\rho, t)$ цього поля задана виразом:

$$\gamma_z(\rho, \tau) = (k_1 B_x(0) + k_3)\gamma_t(\tau) + (k_1 B_t(0) + k_2)\gamma_x(h) - k_1 \gamma_x(h)\gamma_t(\tau)$$

де $B_x(0)$ – дисперсія просторових проб, $B_t(0)$ – дисперсія часових проб, а коефіцієнти k_1, k_2, k_3 – ті самі, що і для просторово-часової кореляційної функції $B_z(\tau, \rho)$ у формулі (6).

Також можна використовувати інший підхід до моделювання просторово-часової кореляції, який дозволяє отримати класи нерозділених просторово-часових стаціонарних коваріаційних функцій. Цей підхід базується на використанні частотного представлення коваріаційної функції.

2. Спектральний аналіз виділеного та згенерованого шуму

Оцінки частотних характеристик геологічного середовища тривимірні області спостереження (наприклад, під будівельними майданчиками) можна отримати шляхом розрахунку та побудови графіків амплітудного та фазового спектрів шумів в сейсмограмах пунктів спостережень у такій області. Розрахунки можна проводити прямим способом [1], тобто методом періодограм. Далі потрібно будувати спектральне відношення земної кори, яке не залежить від спектра падаючих сейсмічних хвиль, а визначається виключно будовою геологічного середовища під досліджуваним пунктом.

Висновки. Розроблено модель та алгоритм статистичного моделювання однорідних за часом, однорідних ізотропних за тривимірними змінними випадкових полів з обмеженим спектром, застосування яких проілюстровано на прикладі генерування реалізацій шуму сейсмограм плоскої області спостереження [4] та розглянуто перспективу для сейсмограм тривимірної області спостереження. Такі результати є продовженням напрямку досліджень, започаткованим у роботах [2, 3, 4 і 5] і є важливим доповненням до методів Монте-Карло, які використовуються в геології, наприклад, у [10].

Список використаних джерел

1. Бат М. Спектральный анализ в геофизике. Пер. с англ. / Бат М. – М.: Недра, 1980. – 535 с.
2. Вижва З.О. Статистичне моделювання випадкових процесів та полів. / Вижва З.О. – К.: Обрії, 2011. – с. 388.
3. Вижва З.О. Статистичне моделювання сейсмічного шуму у двовимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища / Вижва З.О. // Вісн Київ. ун-ту. Геологія. – 2012. – №59. – С. 65-67.
4. Вижва З.О. Статистичне моделювання сейсмічного шуму у тривимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища / Вижва З.О. // Вісн Київ. ун-ту. Геологія. – 2013 (Здано до друку).
5. Вижва З.О. Визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками з використанням статистичного моделювання сейсмічного шуму на прикладі спостережень в м.

Одеси / Кендзера О.В., Вижва З.О., Федоренко К. В., Вижва А.С. // Вісн Київ. ун-ту. Геологія. – 2012. – №58.

6. Демьянов В.В. Геоэстатистика. / Демьянов В.В., Савельева Е.А. / Под ред. Арутюняна Р.В. М.: Наука. -2010. – 327 с.

7. Оленко А.Я. Порівняння оцінок помилки апроксимації в теоремі Котельникова-Шеннона. / Оленко А.Я. // Вісник Київ. нац. ун-ту. – 2005. – Вип. 13. – С. 41-45.

8. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей / Пригарин С. М. Новосибирск: Изд-во ИВМ и МГ, 2005. – 259 с.

9. Ядренко М.И. Спектральная теория случайных полей / Ядренко М.И. / – К., – 1980.

10. Chiles J.P. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty / Chiles J.P., Delfiner P. / John Wiley & Sons, Inc. New York, Toronto. – 2009. – 720 p.

11. Gneiting T. Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics / Gneiting T. / Von der Universität Bayreuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung. – 1997. – P.107.

12. Schlather M. Introduction to Positive Definite Functions and to Unconditional Simulation of Random Fields / Schlather M. / Technical Report ST-99-10. Lancaster University, UK. – 1999.

13. Lantuejoul C. Geostatistical simulations: models and algorithm / Lantuejoul C. / Springer. – 2001. – 256 p.

14. Mantoglov A. Simulation of random fields with turning bands method / Mantoglov A., Wilson John L. // "MIT Ralph M.Parsons Lab. Hydrol. And Water Syst. Rept", -1981, - N 264, -199 p.

15. Vyzhva Z.O. Statistical Simulation of 4D random fields by means of Kotelnikov-Shannon decomposition / Vyzhva Z.O., Fedorenko K.V. // Conference materials: International Conference "Modern Stochastics: Theory and Applications III" Dedicated to 100th anniversary of B.V. Gnedenko and 80th anniversary of M.I. Yadrenko. September 10-14, 2012, Kyiv, Ukraine. – P. 21.

Надійшла до редколегії 04.03.13

3. Вижва, д-р физ.-мат. наук, доц

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА В ЧЕТЫРЕХМЕРНОЙ ОБЛАСТИ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотрена задача статистического моделирования случайных полей в четырёхмерной области переменных (однородных по времени и однородных изотропных за 3-D пространственными координатами) при внедрении в сейсмологические исследования для определения частотных характеристик геологической среды. Построена модель и сформулирован алгоритм численного моделирования реализаций таких случайных полей на основании модифицированных интерполяционных разложений Котельникова-Шеннона для генерирования адекватных реализаций шума сейсмограмм.

Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Assos. Prof.

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

THE STATISTICAL SIMULATION OF 4-D SEISMIC NOISE FOR FREQUENCY CHARACTERISTICS OF GEOLOGY ENVIRONMENT DETERMINATION

The problem of random fields in 4-D space (homogeneous in time as well as homogeneous isotropic in the 3-D space) statistical simulation has been considered for the introducing into seismic research into frequency characteristics of geology environment. Statistical model of such random fields and numerical simulation algorithm have been developed on the basis of modified Kotelnikov-Shannon interpolation sums for generating of adequate realizations seismic noise.

ЕКОНОМІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 502.64

М. Курило, канд. геол. наук, Ю. Бондар, асп.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПЕРСПЕКТИВИ ОСВОЄННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ПАМ'ЯТОК КРИВОРІЗЖЯ З МЕТОЮ НАУКОВО-ПІЗНАВАЛЬНОЇ ТА ТУРИСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. М.М. Коржневим)

Визначено об'єкти з найсприятливішими характеристиками для подальшого збереження й освоєння. До таких належать: гранітоїди с. Лозуватки, кварцити с. Латієви, амфіболіти с. Рахманово, відслонення скеляватої світи криворізької серії, скелі МОДРУ, Карачунівські граніти, Кіровський історико-геологічний заповідник, балка Північна Червона. Розроблено екскурсійний маршрут по геологічним пам'яткам Криворізжя. Пропонується методика визначення вартості геологічних об'єктів, які мають важливе наукове, культурне, освітньо-пізнавальне значення.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Геологічна пам'ятка природи (ГПП) – унікальний або типовий об'єкт (комплекс взаємопов'язаних об'єктів) природного походження, який найбільш повно для даної місцевості відображає певні етапи розвитку земної кори, протікання геологічних процесів та їх результати, являє собою нау-

кову, освітню, культурно-пізнавальну, естетичну цінність, доступний для спостереження й вивчення і охороняється державою. В чинному законодавстві передбачено освоєння геологічних пам'яток, зокрема, в ст.14 Кодексу України про надра визначено такий вид користування надрами як "створення геологічних територій та об'єктів, що мають важливе наукове, культурне, сані-

тарно-оздоровче значення (наукові полігони, геологічні заповідники, заказники, пам'ятки природи, лікувальні, оздоровчі заклади та ін.) [8]. Згідно з наведеним визначенням геологічні пам'ятки можуть використовуватись, головним чином, у наукових, освітньо-пізнавальних та туристичних напрямках.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У світі розроблені підходи і реалізуються різноманітні заходи із створення, охорони і збереження ГПП, які досить відмінні в окремих регіонах. Розробляються різного роду міжнародні угоди, пропонуються критерії визначення конкретних геологічних об'єктів для включення їх до реєстру Світової геологічної спадщини. У 1988 році була створена Європейська Асоціація зі збереження геологічної спадщини (ProGeo). Особливої уваги заслуговує проект ПроГео під назвою "Геоконсервація геологічної спадщини в Європі". У 1991 р. у м. Дінь (Франція), при підтримці ЮНЕСКО відбувся I Міжнародний Симпозіум ПроГЕО, на якому прийнято історичну декларацію прав пам'яті Землі.

В Україні систематичні дослідження геологічних пам'яток як особливих наукових і культурних об'єктів розпочато в 70-х роках ХХ ст. Останнє десятиріччя геологічною службою України проведено масштабні роботи з інвентаризації, каталогізації й створенню комп'ютерної бази даних геологічних пам'яток України. В 2006 р. в Україні проходив V симпозіум ПроГЕО у якому брали участь 70 представників з 12 країн (Албанії, Англії, Греції, Росії, Норвегії, Швеції та ін.) [5]. У період з 2006 по 2009 р. було опубліковано двомовний трьохтомник "Геологічні пам'ятки України", де наведено стислий опис 479 геологічних пам'яток [2, 3, 4].

На сьогоднішній день, на території нашої держави, геологічний туризм ще не набув широко розвитку, але питання про доцільність його використання піднімалися в численних роботах І.С. Паранька [6], Ю. Зінька [7], В.В. Манюка [11]. Даною проблематикою займаються науковці з Національного Науково-природничого музею НАН України: В.П. Гриценко, К.І. Деревська та ін. [1, 5], створена "Геологічна компанія Геомандри" [10], яка займається моніторингом геологічних об'єктів, розробкою геологічних екскурсій по Україні, підготовкою тематичних колекцій для музеїв, шкіл і т.п.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогоднішній день крім необхідності виявлення й обліку ГПП, існує проблема їхньої охорони і збереження, оскільки деякі з них знаходяться під загрозою часткового, або повного знищення. Можливість використання геологічних пам'яток природи з метою проведення науково-пізнавальних маршрутів є одним із можливих і раціональних шляхів не лише освоєння ГПП, але й покращення їх екологічного стану та збереження.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є комплексна оцінка ГПП Криворізької і розробка екскурсійного маршруту по визначених об'єктах. Практичне значення роботи полягає у розробці та апробації методик визначення вартості геологічних об'єктів, які мають важливе наукове, культурне, освітньо-пізнавальне значення.

Виклад основного матеріалу дослідження. У межах території України наявна велика кількість різноманітних геологічних об'єктів, які юридично оформлені або можуть вважатись геологічними пам'ятками. Найбільша кількість зосереджена в АР Крим, Тернопільській, Івано-Франківській, Закарпатській областях. Більшість серед перерахованих пам'яток складають стратиграфічні, геоморфологічні, мінералогічні та петрографічні. За кількістю стратиграфічних пам'яток лідирують АР Крим, Харківська, Івано-Франківська, Тернопільська та Хмельницька області; геоморфологічних – АР Крим, Тернопільська та Львівська; мінералого-петрографічних – Житомирська, Кіровоградська і Черкаська.

З огляду на можливість використання надр з метою створення геологічних об'єктів, які мають наукову цінність і освітньо-пізнавальне значення, все більше проявляється інтерес до вивчення питань організації й розвитку геологічного туризму.

Геологічний туризм можна визначити як вид туризму, що має на меті наочне спостереження геологічної будови певної структури, протікання геологічних процесів та їх результати, різноманітність мінерального і породного складу геологічних верств і масивів; дослідження історії розвитку земної кори, збір колекцій мінералів, гірських порід (при умові, якщо дана послуга не завдає шкоди об'єкту), фотографування проявів різноманітних складчастих і розривних геологічних структур тощо. Загалом геологічний туризм розглядають як одну з форм екотуризму, який базується на використанні природних ресурсів довкілля, в даному випадку геологічного середовища.

Об'єктами даного дослідження є ГПП Криворізького району, який вважається одним з найбільш перспективних для розвитку даного виду туризму. Криворізька структура належить до одного з найцікавіших геологічних об'єктів Українського щита. На даній території збереглися унікальні геологічні пам'ятки, до яких належать:

- скельні виходи плагіогранітоїдів по берегах ріки Інгулець на околицях сс. Раєво-Олександрівка, Лозуватка, Чкалівка та інших. Найбільш представницькі природні відслонення цих порід, які віднесені до геологічних пам'яток, поширені вздовж ріки Інгулець в районі с. Лозуватка;

- відслонення амфіболітів, розміром 5х12 м, у долині р. Інгулець між селами Латівка і Рахманівка. Макроскопічно амфіболіти являють собою дрібнозернисті, масивні породи темно-зеленого до чорного забарвлення, складені роговою обманкою, біотитом, кварцом і польовими шпатами. Характерною властивістю амфіболітів є мигдалекам'яна текстура, а також кульова окремість. Ці дві ознаки вказують на те, що вулканічне виверження відбувалося в підводних умовах, тобто на дні криворізького мезоархейського палеобасейну;

- метаконгломерати, метагравеліти і метапісковики, які утворюють скельний лівий берег ріки Інгулець, висотою до 8–15 м, в районі селища Південного гірничо-збагачувального комбінату;

- виходи філітових сланців, тальк-карбонатних порід і відкладів нижньої частини розрізу продуктивної залізо-кременистої товщі Кривбасу, розташованих у межах Кіровського історико-геологічного заповідника;

- скельні виходи кварцитів протяжністю 250 – 300 м і висотою 12 – 15 м справа від брукованої дороги Кривий Ріг – Рахманівка – Латівка – Інгулець, які залягають в основі розрізу конкської серії;

- відслонення залізистих кварцитів, що чергуються зі сланцями зім'яті в складки і розбиті численними розломами та тріщинами (Скелі МОДРу). У геологічному відношенні Модрівський історико-геологічний заповідник цікавий тим, що тут породи продуктивної залізисто-кременистої товщі зім'яті в складки. Це говорить про те, що в процесі метаморфізму, який супроводжувався високими температурами, первинні породи набули пластичного стану і внаслідок тектонічних рухів були зім'яті в різноманітні складки. Найбільшою складкою є так звана Тарапако-Лихманівська антикліналь;

- виходи сірих і рожево-сірих біотитових та амфібол-біотитових плагіогранітів та плагіомігматитів інгулецького комплексу мезоархею – геологічна пам'ятка Карачунівські граніти;

- ландшафтний заказник загальнодержавного значення балка Північна Червона. В балці відслонюються сланцеві та залізисті горизонти саксаганської світи. Пів-

нічно-західний схил лівого розгалуження складений товщею світло-сірих неметаморфізованих кварцових пісковиків на кварц-карбонатному цементі, які відслонюються в численних брилеподібних виходах. Ще однією особливістю балки, як геологічної пам'ятки є те, що тут зустрічаються окремі брили своєрідних порід, що трактуються як імпакті утворення Тернавської астроблеми [9].

Ці геоб'єкти можуть служити предметом наукових екскурсій і фундаментальних досліджень, стати темою

для навчання студентів і школярів, викликати інтерес у широкого кола зацікавлених осіб.

Туристичними об'єктами, які включені в маршрут є геологічні пам'ятки природи Криворізького району, до яких належать гранітоїди села Лозуватки, кварцити села Латівки, амфіболіти с. Рахманово, відслонення скелюватської світи криворізької серії палеопротерозою, скелі МОДРу, Кіровський історико-геологічний заповідник, Карачунівські граніти, балка Північна Червона (рис. 1).



Рис. 1. Схема маршруту екскурсії: П – початок екскурсії, К – кінець екскурсії

Головною метою геологічної екскурсії є візуальна ілюстрація головних етапів становлення земної кори, починаючи від становлення і кратонізації протокори (пермобільна стадія) з формуванням плагіогранітоїдного комплексу (гранітоїди села Лозуватки), розкриття криворізького проторифта і накопичення вулканогенно-осадового комплексу (кварцити с. Латівки, амфіболіти с. Рахманово), накопичення конгломерат-пісковиково-сланцевого породного комплексу (відслонення скелюватської світи криворізької серії), ультраосновний вулканізм у підводних умовах (Кіровський історико-геологічний заповідник), формування теригенно-хемогенних залізисто-кременистих утворень в умовах відносної тектонічної стабілізації (Скелі МОДРу, Кіровський історико-геологічний заповідник) до закриття проторифта. А також відвідати ландшафтний заказник балка Північна Червона з унікальними рослинними асоціаціями, різноманітним природним ландшафтом та не менш унікальною геологічною будовою. Особливістю балки, як геологічної пам'ятки є те, що тут зустрічаються продукти космічного бомбардування (імпакти) земної поверхні метеоритами 360 – 400 млн років тому.

Відповідно до поставленої мети всі геологічні об'єкти розташовані в хронологічному порядку, що надає можливість спостерігати послідовність геологічних подій.

Вихідними даними для оцінювання перспектив освоєння геологічних пам'яток Криворіжжя з метою науково-пізнавальної та туристичної діяльності є наступні показники:

1. Екскурсійний маршрут розрахований на 9 академічних години.

2. Загальна довжина маршруту – 133 км.

3. Екскурсія припускає 8 зупинок із виходом з автобуса.

Маршрут почнеться з відвідування гранітоїдів с. Лозуватки, наступним об'єктом є кварцити с. Латівки. Довжина першого відрізка маршруту – 44,1 км. Від кварцитів с. Латівки екскурсія продовжується в наступній

послідовності: відвідування амфіболітів с. Рахманово (довжина відрізка маршруту – 4,8 км), відслонення скелюватської світи криворізької серії (довжина відрізка маршруту – 24,2 км), історико-геологічний заповідник "Скелі МОДРу" (довжина відрізка маршруту – 14,1 км). Наступним об'єктом відвідування є Карачунівські граніти, де увагу відвідувачів привертають Карачунівське водосховище та мальовничі скелі з порогами і невеликими водоспадами (довжина відрізка маршруту – 9,6 км). Далі від Карачунівських гранітів маршрут буде спрямований до Кіровського історико-геологічного заповідника (довжина – 12,7 км). Кінцевою зупинкою буде балка Північна Червона. Довжина маршруту – 23,6 км. Загальна довжина маршруту – складе 133 км.

Крім геологічного обґрунтування доцільності освоєння геологічних пам'яток в якості туристичних об'єктів необхідною складовою комплексної їх оцінки є визначення вартості геологічних об'єктів, які мають важливе наукове, культурне, освітньо-пізнавальне значення. В даній роботі пропонується апробація методики, яка базується на підходах, які використовують при визначенні початкової ціни продажу на аукціоні спеціального дозволу на право користування надрами [12, 13]. При цьому головними складовими вартісної оцінки є:

- річний дохід від проведення геологічних екскурсій та маршрутів;
- експлуатаційні витрати та собівартість;
- розмір податків і платежів, що не входять до експлуатаційних витрат;
- капітальні вкладення в будівництво тимчасових споруд та утримання задовільного екологічного стану об'єктів освоєння;
- строк використання ділянки надр

Рекомендовані оціночні показники вартісної оцінки геологічних пам'яток природи, запропонованих у роботі, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Оціночні показники вартісної оцінки геологічних пам'яток природи

№ п/п	Оціночні показники	Одиниці виміру	Орієнтовні значення показників (в розрахунок на одну екскурсію)	Орієнтовні значення річних показників		
				максимальні	середні	мінімальні
1.	Паливно-енергетичні витрати	грн	290,25	6966	4353,8	1741,5
2.	Витрати на оренду автобуса	грн	399	9576	5985	2394
3.	Витрати на заробітну плату екскурсовода	грн	450	10 800	6750	2700
4.	Витрати на заробітну плату прибиральника (робочий день – один раз в неділю)	грн./місяць	320	1920	1920	1920
5.	Витрати на рекламу	грн./місяць	700	4200	4200	4200
6.	Питомі паливно-енергетичні витрати	грн	17,07	409,68	256,1	102,42
7.	Капіталовкладення на будівництво тимчасових споруд, розчистку споруд	грн./рік	-	-	2 000	-
8.	Собівартість екскурсії	грн	2159, 25	33 462	23208,8	12 955,5
	теж саме на 1 екскурсанта	грн	127	1969	1365,5	762
9.	Вартість екскурсії (норма прибутку 30 %) на 1 екскурсанта	грн	165,1	2559,7	1775,2	990,6
10.	Дохід від реалізації	грн	2806,7	43 514,9	30177,6	16 840,2
11.	Прибуток	грн.	647,45	10 052,9	6968,8	3884,7

При визначенні орієнтовних річних показників, в розрахунках прийнята сезонність проведення геологічних екскурсій протягом шести місяців з травня по жовтень включно. Визначено орієнтовні оціночні показники прибутку та витрат за трьома варіантами. При максимальному показникові, передбачається проведення екскурсій 1 раз на тиждень протягом шести місяців, мінімальне значення враховує проведення екскурсій 1 раз на місяць.

Слід зазначити, що складання тематичних маршрутів необхідно орієнтувати з огляду на рівень підготовленості туристів, їхня освіченість в області геології (фахівці, студенти, аматори).

Висновки. В роботі проведено обґрунтування доцільності освоєння геологічних пам'яток Криворіжжя з метою науково-пізнавальної та туристичної діяльності, при цьому розробка та реалізація екскурсійного маршруту по геологічним пам'яткам природи забезпечить їх раціональне використання, покращення екологічного стану та збереження. До найбільш цікавих об'єктів, які включені в маршрут належать гранітоїди с. Лозуватки, кварцити с. Латівки, амфіболіти с. Рахманово, відслонення скелюватської світи криворізької серії, скелі МОДРу, Карачунівські граніти, Кіровський історико-геологічний заповідник, балка Північна Червона. Позитивні результати вартісної оцінки освоєння геологічних пам'яток Криворіжжя з метою туристичної діяльності засвідчили достатню прибутковість такої діяльності з врахуванням методичних підходів інвестиційного аналізу. Визначено, що орієнтовний прибуток від реалізації однієї екскурсії становить 647 грн, а середній річний – близько 7 тис грн, в залеж-

ності від кількості проведених екскурсій за сезон. Запропонована методика може використовуватися при визначенні вартісної оцінки не тільки геологічних пам'яток Кривого Рогу, а й інших подібних об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Бубняк М., Деревська К.І., Павлюк О.М., Солецькі А., Слівінські В. Геологічні практики для іноземних студентів в Україні: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції "Геологічні пам'ятки – яскраві свідчення еволюції Землі", (м. Кам'янець-Подільський, 16–20 травня 2011 р.). – К.: Логос, 2011. – 142 с.
2. Геологічні пам'ятки України / За ред. В.І. Калініна, Д.С. Гурського, І.В. Антакової. – К.: ДІА, 2006. – Т. I. 320 с.
3. Геологічні пам'ятки України / За ред. В. І. Калініна, Д. С. Гурського, І.В. Антакової. – К.: ДГС, 2007. – Т. II. 320 с.
4. Геологічні пам'ятки України / За ред. В. І. Калініна, Д. С. Гурського, І.В. Антакової. – Львів: ВД "Панорама", 2009. – Т. III. – 200 с.
5. Геологічні пам'ятки природи України: проблеми вивчення, збереження та раціонального використання / [Гриченко В.П., Іщенко А.А., Русько Ю.О., Шевченко В.І.]. – К.: Препринт НАН України, Центральний науково-природничий музей, 1995. – 60 с.
6. Залізорудний Кривбас: [путівник геологічних екскурсій] / І.С. Паранько, О.В. Плотніков, М.М. Курило, В.А. Михайлов. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2011. – 78 с.
7. Зінько Ю. Природоохоронні геоморфологічні об'єкти у структурі геотуризму Західної України / Ю. Зінько, О. Шевчук // Вісник Львів. ун-ту серія геогр. – 2008. – № 35. – С. 94 – 104.
8. Кодекс України "Про надра": за станом на 27 липня 1994 р. / Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 36. – 341 с.
9. Паранько І. С. Геологічна практика в Кривбасі: [методичний посібник для студентів I курсу природничих спеціальностей] / Ігор Степанович Паранько. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2011. – 100 с.
10. <http://geomandry.com.ua/>.
11. <http://manuk-geo.ucoz.ua/>.
12. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1374-2004-p>.
13. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/599-2008-p>.

Надійшла до редколегії 02.04.13

М. Курило, канд. геол. наук, Ю. Бондарь, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ КРИВОРОЖЬЯ С ЦЕЛЬЮ НАУЧНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ И ТУРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Определены объекты с благоприятными характеристиками для дальнейшего сохранения и освоения. К таким относятся: гранитоиды с. Лозуватки, кварциты с. Латовки, амфиболиты с. Рахманово, обнажение скелюватской свиты криворожской серии, скалы МОПРа, Карачуновские граниты, Кировский историко-геологический заповедник, балка Северная Красная. Разработан экскурсионный маршрут по геологическим памятникам Криворожья. Предлагается методика определения стоимости геологических объектов, имеющих важное научное, культурное, образовательно-познавательное значение.

M. Kurylo, Cand. Sci. (Geol.), Y. Bondar, PhD student
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF GEOLOGICAL MONUMENTS OF KRYVYI RIG FOR SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND TOURISM ACTIVITIES

It's defined geological objects with favorable conditions of following preservation and developing. There are granitoids of Lozuvatka village, quartzites of Lativka village, amphibolites of Rakhmanovo village, outcrop of Skeliuvatka Suite of Paleo-Proterozoic Kryvyi Rih Series, "Sceli MODRu", Balka Pivnichna Chervona, Karachunivski granites, Kirov historical and geological monument. It was developed excursion route on the geological monuments of Kriviy Rig. The method of determining the value of geological objects is proposed.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 2(61)

Статті подано в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка та коректування Ю.А. Тимченко

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Рукописи та електронні носії не повертаються.



Формат 60x84¹⁸. Ум. друк. арк. 8,7. Наклад 300. Зам. № 213-6658.
Вид. № Гл2. Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний.
Підписано до друку 24.07.13

Видавець і виготовлювач
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
01601, Київ, б-р Т. Шевченка, 14, кімн. 43
☎ (38044) 239 3222; (38044) 239 3172; тел./факс (38044) 239 3128
e-mail: vpc@univ.kiev.ua
<http://vpc.univ.kiev.ua>
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02