

# **ОСАДОВІ ФОРМАЦІЇ: КОРИСНІ КОПАЛИНИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ / ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ: ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА**

УДК 552.53+504.062(553.631:622.234.4)](477.6+477.86)

**С. Б. Шехунова, М. В. Алексєєнкова**

## **ЛІТОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ПОВ'ЯЗАНІ З НИМИ ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КАМ'ЯНОЇ СОЛІ МЕТОДОМ ПІДЗЕМНОГО ВИЛУГОВУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ ВЕРХНЬОСТРУТИНСЬКОГО ТА СЛОВ'ЯНСЬКОГО РОДОВИЩ)**

**S. B. Shehunova, N. V. Alyeksyeyenkova**

### **LITHOLOGICAL FEATURES AND RELATED ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ROCK SALT DEPOSITS DEVELOPING BY UNDERGROUND LEACHING (VERKHNIY STRUTYN AND SLOVYANSK FIELDS)**

Висвітлені геоекологічні проблеми, що виникають при залученні соленосних формацій в економічну діяльність, зокрема на прикладі Райгородського розсолотрому. Розглянуті літологічні аспекти аварійних чинників. Проаналізовані літологічні та екологічні аспекти освоєння Верхньострутинського родовища кам'яної солі.

*Ключові слова:* соленосні формації, літологія, підземне розчинення, камери вилуговування, Верхній Струтин, Слов'янськ.

Освещены геозкологические проблемы, возникающие при привлечении соленосных формаций в экономическую деятельность, в частности на примере Райгородского рассолотрому. Рассмотрены литологические аспекты аварийных факторов. Проанализированы литологические и экологические аспекты освоения Верхнеструтинского месторождения каменной соли.

*Ключевые слова:* соленосные формации, литология, подземное растворение, камеры выщелачивания, Верхний Струтин, Славянск.

Geoecological issues on the involvement of salt formations in economic activity, particularly in case of Raigorodskiy brine mining enterprise, lithological aspects of emergency factors are examined. Lithological and environmental aspects of Verkhniy Strutyn rock salt deposit development are analyzed.

*Keywords:* Salt formation, lithology, solution mining, cavern leaching, Verkhniy Strutyn, Sloviansk.

#### **ВСТУП**

Сучасний етап розвитку науки в епоху тотального техногенезу характеризується тісними зв'язками з екологічними аспектами. Геоекологічні функції притаманні і літології. Осадки та низка осадових порід (поряд з атмо- і гідросферою) зазнають техногенного навантаження; осадові породи та їх потужні товщі, що виповнюють седиментаційні басейни, активно залучаються у техногенну діяльність, стають частиною геологічного середовища. Серед відносно новітніх напрямів залучення підземного простору осадових формацій (утворень), таких як створення підземних сховищ вуглеводнів, діоксиду вуглецю у теригенних відкладах, видобування сланцевого газу, залучення соленосних формацій у економічну діяльність є найбільш вивченим, прогнозованим та найменш ризикованим [наприклад, 12–16]. Проте подальше безпечно, економічно доцільне використання соленосних формацій у господарстві має базуватися на глибокому розумінні умов їх утворення та постседиментогенних трансфор-

мацій, стабільності змін їх характеристик, прогнозуванні властивостей речовини формацій та ін. Тому метою даної роботи є висвітлення геоекологічних проблем, що виникають при залученні соленосних формацій в економічну діяльність, зокрема на прикладі Райгородського розсолотрому; розгляд літологічних аспектів аварійних чинників; аналіз літологічних та екологічних аспектів (особливостей) освоєння Верхньострутинського родовища кам'яної солі.

#### **ОСНОВНІ ЛІТОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИЛУГОВУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ КАМЕР У СОЛЕНОСНИХ ФОРМАЦІЯХ**

Розробка родовищ корисних копалин, зокрема кам'яної солі, методом підземного вилуговування водночас з явними перевагами (економія на спорудженні шахтних виробок, збільшення доступних глибин видобування, можливість ізоляції відходів у підземних вироботках та ін.) пов'язана і з певними проблемами, що можуть набувати різного характеру та масштабу: від непередбачуваного характеру деформування

камер у результаті нерівномірного підземного вилуговування, розвитку карсту до катастрофічних змін геологічного середовища. Аналіз матеріалів аварійних ситуацій, як, наприклад, на розсолопромислі Окнеле Марі (Румунія), осідання ґрунту на розсолопромислах біля Кракова (розсолопромисел Lezkowice / Barucz, Польща), руйнування на розсолопромислах компанії Salins у Желленонкурі (Лотарінгія, Франція), руйнування соляних виробок Каргілл, біля Хутчінсону (Канзас, США), затоплення калійних рудників на Березниківському родовищі калійних та магнієвих солей та ін., показує, що основні проблеми виникають через ігнорування добре відомих властивостей порід соленосних формацій: їх розчинності та здатності зазнавати пластичних деформацій, а також синергетичної дії цих факторів за умов підвищених температур та вологості. Найтиповіші аварійні ситуації при видобування кам'яної солі методом підземного вилуговування спричинені обваленням породи із стелини та/або стінок камери, що можуть призвести до ушкодження обладнання. За статистикою значна частина аварій при спорудженні та/або експлуатації підземних споруд у соленосних формаціях методом вилуговування пов'язана з проблемами затрубного простору експлуатаційних свердловин та спотворенням напряму вилуговування через особливості будови соляної та вміщуючих товщ [2, 3, 5, 7, 9, 10, 12–16 та ін.].

Форма камери, що утворюється, залежить від низки чинників, серед яких структурно-текстурні особливості кам'яної солі та її речовинний склад (рис. 1, 2). Хрестоматійним став приклад камери Хунторф в Німеччині, що має спотворену форму через присутність у її робочому об'ємі кам'яної солі різних структурно-текстурних та літологічних різновидів [15]. Роботами Н.М. Проскуракова, Д.П. Хрущова, Ю.С. Оксенкруга, С.Б. Шехунової, Е.М. Шафаренка, Т.Ю. Журавльової, О. Hunchе, М. Langer, А. Albreht та інших вчених встановлено залежність міцнісних характеристик від структурно-текстурних особливостей кам'яної солі та інших соляних порід. Зокрема, показано, що існує низка літологічних типів кам'яної солі,

що характеризуються аномально низькими показниками миттєвої та тривалої міцності, відрізняються швидкістю розчинення, що необхідно враховувати при визначенні робочих інтервалів для спорудження підземних виробок [3–5, 8–11].

Внутрішня будова соленосних формацій відрізняється мінливістю та різноманітністю. Інвестування приватного капіталу у галузь (за умов нежорсткого екологічного регулювання) може спокушати власників до економії на геологорозвідувальних роботах. З цієї точки зору певну небезпеку несуть публікації, в яких пропонується, зокрема, «методика побудови структурно-літологічних моделей соляних масивів (зокрема цільових), що є ефективним засобом вивчення їх будови» шляхом картування та «визначення функціональних типів кам'яної солі за структурно-текстурними особливостями та міцнісними властивостями» (Данишурка Н. А. Структурно-літологічні моделі як метрологічний прийом розшифровки внутрішньої структури соляних масивів // Мінер. ресурси України. — 2005. — №2. — С. 15). Для характеристики цих загадково-функціональних типів автором згаданої публікації запозичено (без посилань) «Методику оперативної оцінки **відносної** міцності кам'яної солі», розроблену за участі автора даної публікації під керівництвом проф. Д.П. Хрущова ще наприкінці 80-х років минулого століття\*. Цю «дитячу» необережність можна було б поблажливо не помітити, якби автором публікації не було додано до таблиці свого стовпчика, в якому кожному з типів кам'яної солі не обґрунтовано приписано **конкретні величини** межі міцності на стискання. А це може ввести в оману потенційних інвесторів, поставити під сумнів необхідність виконання лабораторних досліджень та провокувати спроби економити на комплексних літолого-геохімічних та фізико-механічних дослідженнях кам'яної солі та інших порід соленосної та вміщуючих формацій.

Вилучення і перерозподіл значних об'ємів порід при розробці родовищ призводить до змін геоекологічної ситуації та складно-напруженого стану гірничого масиву. В макромасштабі це

\* Методику було розроблено для диференціації одноманітних розрізів 700–1000 м потужності, що розкриті в солянокупольних структурах південно-західної частини Прикаспійської западини, що розбурювались зі 100% відбором керна. Основна ідея методики базувалась на визначенні за результатами багатьох експериментів фонового (для даної структури) значення міцності кам'яної солі на стискання, відносно якої і виконували прогноз міцності та оцінка перспективності інтервалу.

проявляється у перерозподілі тектонічних напруг (що, зокрема, спричиняє утворення систем тріщинуватості як у породах вміщуючих формацій, так і в соляній товщі), активізації газодинамічних явищ, провокує прояви техногенних землетрусів. На поверхні над відпрацьованим простором формується мульда осідання. Макродеформації земної поверхні визначаються деформаціями всього підземного відпрацьованого простору, а мікродеформації формуються над окремими елементами-камерами та складають до 10% від макродеформацій [5, 7]. Порухення соляного масиву призводить до утворення на поверхні мульди осідання, розміри якої визначаються геометричними характеристиками відпрацьованого простору, наймасштабніший з яких спостерігається над шахтними полями. Максимальних деформацій порід зазнають крайові частини мульд — зони впливу розтягуючих напруг з амплітудою до 4–5 м та більше на площі до десятків тисяч гектар. Деформації фіксуються за інструментальними моніторинговими спостереженнями, що виконуються по опорних профілях. За значних осідань на границі мульди утворюються тріщини та розломи, що спостерігаються зокрема над виробками в Бахмутській улоговині. Осідання земної поверхні призводить до формування ослаблених зон, що може викликати виникнення шляхів міграції вод низької мінералізації та спричинити розвиток техногенного карсту, що спостерігається над виробками як калійних рудників (наприклад, у Калуші), так і шахт на кам'яну сіль (Солотвинське, Артемівське родовища). Проблеми надійної ізоляції підземних виробок від водоносних горизонтів набувають надзвичайної гостроти при виконанні робіт у соленосних формаціях. Так, видобування калійних солей у Передкарпатському калієносному басейні ускладнюється через розвиток карсту. Калуш-Голинські родовища, з слабо похилим заляганням шарів, мають перекиваючі надсольові слабо проникні верстви, що відокремлюють водоносні горизонти четвертинних відкладів, але в межах солевидобування поширені карстові форми. Вони представлені провальними лійками, понорами, порами вилуговування, кавернами. На Стебницькому родовищі, яке має складнішу будову, контакт соляних відкладів з надсольовими породами переважно обводнений, води верхніх горизонтів та розсоли гідравлічно пов'язані. Гірничі виробки розташовані одна над одною; карстові форми (пори

вилуговування, щілини, промивини, каверни, понори, камери, провальні лійки) зосереджені в межах площ відробки солей. Розвиток техногенного карсту відбувається через пониження гірничими виробками місцевого базису дренажу, формування депресійних лійок, що створює градієнти падіння гідростатичних напорів у надсольових слабомінералізованих водоносних горизонтах. Підземні виробки в соленосних формаціях стають штучними дренами, або зонами розвантаження розсолів. Розвиток техногенного карсту є результатом порушення соляного дзеркала, розкриттям вторинних змінених зон, по яких мігрують розсоли, обводнених тектонічних зон та ін. Приклади порушення водозахисної товщі та методи досліджень описані у численних публікаціях. Тому велике значення мають методологія контролю та прогнозування цих процесів і заходи інженерного захисту.

До формування мульди осідання призводять прояви конвергенції підземних виробок, що є найхарактернішими для соленосних товщ за специфічними реологічними властивостями порід соленосної формації (передусім кам'яної солі та сильвініту). Наприклад, ємності, споруджені у структурі Еміненс (США) та Терсані (Франція), втратили відповідно до 40 і 50 % первинного корисного об'єму; резервуари на Сеїтівській площі (СРСР) — 60–80 %. Проблеми, що виникли на Сеїтівській соляній структурі з передчасною втратою корисних об'ємів резервуарів, пов'язані, як показано у ряді публікацій, з геолого-літологічними особливостями будови соленосної формації в межах структури, геологічними та гідрогеологічними умовами частини Прикаспійської западини, де розташована структура, які не були відомі у 70-х роках ХХ ст. на стадії проектування. Прояви конвергенції підземних камер та просідання непрогнозованих масштабів спостерігалися у Нідерландах при видобуванні солі методом підземного вилуговування з глибини 2890 м на найглибшому у світі розсолопромислі. В результаті лабораторних досліджень зразків було визначено параметри повзучості кам'яної солі та розраховано конвергенцію камер і швидкість просідання земної поверхні. Очікувалось 4% конвергенції камер на рік та 0,8 см просідання поверхні через 2,5 роки. Але через два роки експлуатаційного видобування виявилось, що просідання поверхні сягнуло 5 см, а об'єми камер відповідають швидкості конвергенції до 71% на рік. Причини помилок в оцінці швидкості конвер-

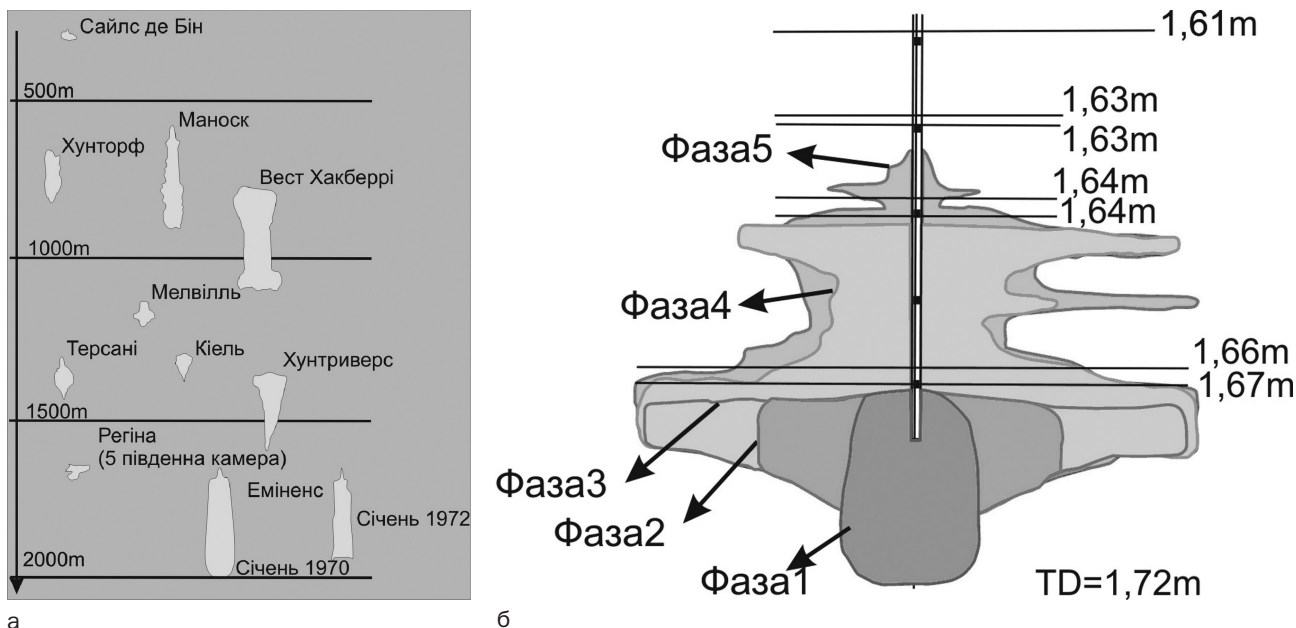


Рис. 1. Приклади форм камер, створених методом вилуговування у різних типах соленосних формацій (перерізи). Зіставлено об'єми ємності Еміненс, яка зазнала конвергенції (а). Зміна форми під час розмиву ємності Регіна (камера 5), що створена у девонській соленосній формації пластової форми залягання (Вінніпег, Канада) (б) [14, 15]

генції було поділено на три групи: зовнішні, обумовлені недоврахуванням таких обставин, як тиск у камері та його коливання; внутрішні, що пов'язані з непередбачуваними особливостями прояву фізико-механічних властивостей кам'яної солі; та ті, які зумовлені недоліками програмного забезпечення розрахунків.

Причини помилок в оцінці швидкості конвергенції обумовлені як природними факторами, зокрема з невивченими геологічними, літологічними особливостями (а відтак, фізико-механічними властивостями кам'яної солі та інших порід в робочому інтервалі), так і недоліками програмного забезпечення розрахунків та недоврахуванням таких обставин, як тиск у камері вилуговування та його коливання [2, 14, 15 та ін.].

Створення гірничих виробок призводить до порушення рівноваги та переміщення гірських порід у бік виробленого простору. Порушення цілісності ціликів в результаті пластичних деформацій солі призводять до розшарування вищезалігаючих шарів порід. Наприклад, для Верхньокамського родовища встановлено, що прояви гірського тиску внаслідок повзучості соляних порід супроводжуються розпушенням та розтріскуванням гірського масиву; руйнуванням масиву через розтягуючі напруги з наступним валоутворенням; прогресуючим розшаруванням та наступним відокремленням

покрівлі виробок через присутність значної кількості ослаблених глинистих прошарків.

Час стійкості виробок визначається гірничо-геологічними та гірничо-технічними факторами. До перших належать: глибина розробки, початковий природний напружений стан техногенно-непорушеного соляного масиву, деформаційні, міцнісні та реологічні властивості.

Показовим є приклад розробки родовища кам'яної солі Лежковіце (Lezkowice, Польща). Це родовище — одне з низки соляних міоценових утворень в Передкарпатті на р. Раба у 30 км на схід від Кракова. Геологічна будова формації в межах родовища, як і більшості покладів у цьому регіоні, дуже складна. Певною мірою її можна зіставити з Верхньоострутинським родовищем. Соляна субформація складається з шарів кам'яної солі, глини, аргілітів та ангідриту. Цей комплекс сильно деформований у складні складки. Родовище розроблялося методом підземного вилуговування з поверхні впродовж 1968–1988 рр. Протягом цих років застосовувалося декілька технологічних варіантів підземного вилуговування та видобування розсолу з глибини 120–400 (425) м. Проектний діаметр камер — 25 м, відстань між експлуатаційними свердловинами — 35 м. При розробці родовища застосовувалися різні експлуатаційні методи: з однією та двома висячими колонами, з одною висячою коло-

ною з частковою або повною (по всій довжині) цементацією зовнішньої та ін. Поступово із збільшенням відпрацьованих об'ємів на розсолопромислі спостерігалися такі несприятливі процеси. Припинення вилуговування в нижній частині камер внаслідок осадження нерозчинних речовин, надмірне вилуговування у верхній частині камер, що призвело до руйнування покрівлі і колон, надмірного вилуговування ціликів між сусідніми виробками. З часом через поширення провалів покрівлі у вищерозміщені відпрацьовані соляні шари неконтрольовані каверни були вилужені та утворилися гідравлічні зв'язки між відпрацьованими камерами та водоносним горизонтом в перекриваючих відкладах і поверхневим водоносним горизонтом. Згодом процес вилуговування став неконтрольованим і дуже руйнівним: на поверхні утворилися численні глибокі провали та мульди осідання. Під час експлуатації і через багато років після закриття розсолопромислу були спроби обмежити розвиток негативних поверхневих явищ шляхом засипки провалів. Засипку, вирівнювання поверхні і рекультивациі видобувної ділянки закінчено у 2008 р. [15]. Тобто після 20-річної експлуатації розсолопромислу ще 20 років вкладалися кошти у реабілітацію території, що простраждала.

#### ОСОБЛИВОСТІ ОСВОЄННЯ РАЙГОРОДСЬКОЇ ДІЛЯНКИ СЛОВ'ЯНСЬКОГО РОДОВИЩА КАМ'ЯНОЇ СОЛІ

Розгляд наслідків розробки Райгородської ділянки Слов'янського родовища кам'яної солі, що характеризується дуже простими умовами (пластове залягання солей з кутом падіння 4–8° в південно-східному напрямку та відсутність розривних порушень) є досить показовим та актуальним [15].

Наведемо коротку загальну характеристику геологічних умов розробки родовища. На родовищі розробляються підбрянцівський, брянцівський (об'єднаний) та надбрянцівський пласти кам'яної солі середньою потужністю відповідно 44,5 м, 43,2 м, 31,7 м, що належать до слов'янської світи, яка залягає на глибині 330 м та більше.

Кам'яна сіль чиста крупнокристалічна, з реліктами первинно-зональних мікроструктур зерен галіту, щільна. Порода безколірна, біла до сірої; прозора, непрозора, напівпрозора (на окремих ділянках). Текстура породи шарувата, зумовлена присутністю «сезонних»

міліметрових глинисто-ангідритових прошарків. Структура крупнозерниста, дуже крупнозерниста, гігантозерниста, гранобластова, неповнозональна. Петельчаста текстура обумовлена радіально-променевими зростками і скупченнями хаотично орієнтованих кристалів ангідриту та глинистою плівкою розташованих на межах зерен галіту. Зерна галіту мають неправильну ізометричну форму з численними газово-рідкими включеннями, розташованими по зонах росту (утворюють структуру «ялинки»). Вміст — NaCl 92–99,6%, нерозчинного залишку — 0,35–7%. Нерозчинний залишок представлений карбонатно-глинистими агрегатами, ангідритом, баритоцелестином з незначною домішкою монациту, ільменіту, біотиту, турмаліну та ін.

Важкорозчинні прошарки складені переважно ангідритом з прошарками та домішками алевроліту, доломіту та вапняку, з включеннями крупних кристалів галіту, кавернозним (каверни виповнені кам'яною сіллю), часто розбитим вертикальними або майже вертикальними (8–10° до осі керна) закритими тріщинами, виповненими волокнистою кам'яною сіллю. Підстилаючий підбрянцівський пласт солі — брекчієподібний карбонатний горизонт не є непроникним.

На території родовища за даними геолога розвідувальних робіт присутні водоносні горизонти в четвертинних та тріасових відкладах. У відкладах пермського віку виділяється лише один локально поширений водоносний горизонт в зоні закарстованих порід, який відсутній на Райгородській ділянці Слов'янського родовища.

Райгородська ділянка розробляється з 1961 р. методом підземного вилуговування через свердловини із застосуванням камерно-поверхової системи розташування камер в межах потужностей кондиційних пластів солі при залишку міжповерхових стельових покриттів з пластів ангідриту або гіпсу. Ізольованість камер і провалів від поверхні мають забезпечити потужні надкамерні цілики та досить високі міцнісні характеристики кам'яної солі, які мають міцність на стискання 16–26 МПа.

За проектом було передбачено таке. Підготовка виробка свердловини — гідровруб. На підготовчому етапі протягом 350–400 діб проводиться розмив горизонтальної підготовчої гірничої виробки до досягнення проектного радіуса (50–70 м) та висотою 5 м. Для уточнення

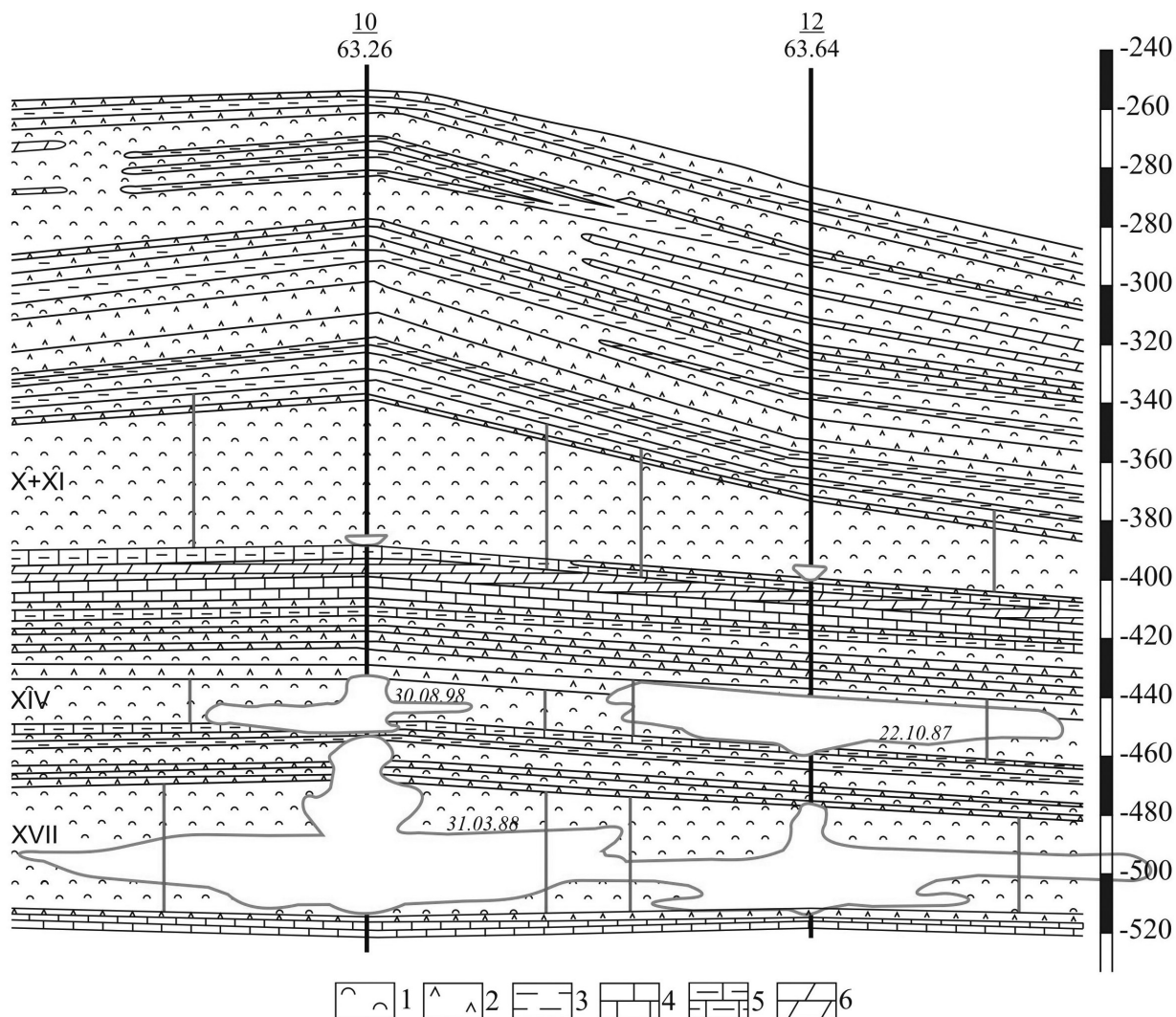


Рис. 2. Розріз через св. 10 та 12 Райгородської ділянки Слов'янського розсолотрому. Спотоврена форма камер та їх гідравлічний зв'язок (за матеріалами І. Н. Шевченко, 1952; С. В. Софронової та ін.)

Цифрами на рисунку позначено: 1 — кам'яна сіль; 2 — гіпси, ангідрити; 3 — глини, аргіліти; 4 — карбонатні породи; 5 — карбонатно-теригенні породи; 6 — доломіти

фактичного розмиву після закінчення розрахункового часу розмиву за проектом має виконуватися гідролокаційне обстеження утвореної камери. Видобування солі має здійснюватися знизу вгору шарами невеликої потужності (2–3 м) з керованим формоутворенням камер завдяки нерозчиннику, інертному до розсолу і кам'яної солі. Між камерами залишаються цілики розміром до 60 м. Для керування за формоутворенням камер визначається глибина контакту «нерозчинник – вода», яка здійснюється «підбашмачним» методом (проводиться кожні 5 діб фактичної роботи свердловини) та методом імпульсного нейтронно-нейтронного каротажу (ІННК) (проводиться через кожні 30 діб фактичної роботи свердловини). Для надійнішого визначення рівня «вода – нерозчинник» також

застосовується схема «каротаж – закачування – каротаж». За значеннями зниження рівня та об'єму закачаного нерозчинника визначається середній радіус камери. Для контролю форми та розмірів камери мають проводитися щорічні гідролокаційні зйомки; для контролю за зрушеннями земної поверхні — нівелювання реперної мережі на території гірничого відводу.

За даними фондів матеріалів за період розробки на ділянці було пробурено 25 експлуатаційних свердловин; 9 свердловин повністю вироблені, знаходяться на тривалій консервації та підлягають ліквідації з 1993 р. На разі через складні економічні умови більшість свердловин знаходяться на консервації.

Найбільш відпрацьований підбрянцівський пласт солі, який має складну двошарову будо-

ву. Розрахунковий об'єм камер вилуговування змінюється від 52,556 тис. м<sup>3</sup> (63,701 тис. м<sup>3</sup> за даними ГЗ) для св. №22 до 417,378 тис. м<sup>3</sup> (505,864 тис. м<sup>3</sup> за даними ГЗ) для св. №10. Недостатнє вивчення літологічних характеристик товщі, відхилення від технології вилуговування та коливання середньорадіальної швидкості розмиву солі призвело до перевищення фактичного розміру камер вилуговування відносно проектного. Як наслідок, між камерами 1, 14, 15; 3, 5, 4, 7; 6, 8; 10, 12; 11, 13 встановився гідравлічний зв'язок (рис. 2).

Принаймні на п'яти ділянках встановлено гідравлічний зв'язок 2–4 камер. За різними оцінками спостерігається гідравлічний зв'язок на площі від 0,4 км<sup>2</sup>. Таке явище зумовлює просядку земної поверхні, формування мульди просідання над відпрацьованим простором та може призвести до різномасштабних обвалів надсоліових гірських порід.

Аналіз розробки Райгородської ділянки Слов'янського родовища з досить сприятливими літологічними, інженерно-геологічними умовами свідчить про необхідність детальної кваліфікованої роботи із вивчення особливостей літологічної будови на перший погляд однорідних інтервалів кам'яної солі та розробки детальних інформаційних геолого-літологічних моделей родовищ для безпечної їх експлуатації.

#### ОСОБЛИВОСТІ ОСВОЄННЯ ВЕРХНЬОСТРУТИНСЬКОГО РОДОВИЩА КАМ'ЯНОЇ СОЛІ

Верхньострутинське родовище, на якому виконуються роботи з розвідувально-експериментальної експлуатації методом підземного вилуговування, має особливості, які мають бути враховані при проектуванні та експлуатації.

На території родовища, яке досліджувалося з 50-х років минулого століття, пробурено близько трьох десятків свердловин, у 60–70-х роках виконано роботи з розвідки покладів кам'яної солі для спорудження підземних сховищ.

В геологічній будові району робіт за даними А.І. Федченка, О.М. Войтенка та інших фахівців встановлено відклади крейди, палеогену, неогену та четвертинні. Неогенові відклади представлені воротищенською світою, яку складають соленосні глини, алевроліти, аргіліти, пісковики, тектонічна брекчія, брекчія вилуговування соленосних порід, кам'яна сіль. Відклади утворюють синклінальну структуру, у

центральної частині ускладнену антикліналлю, осі яких простягаються з північного заходу на південний схід. Кам'яна сіль на родовищі утворює на глибині від 90 до понад 700 м лінзоподібні пластові поклади, які на окремих ділянках розпадаються на пачки шарів з різним вмістом глинисто-сульфатних порід та соляної брекчії. Потужність пластів кам'яної солі невитримана: від десятка (нижній та середній) до сотні (верхній) метрів. Верхня частина пластів зазнала вилуговування та вивітрювання, що призвело до утворення на окремих ділянках сульфатно-теригенних шарів потужністю від перших метрів до 150 м та більше.

На родовищі між нижньою та верхньою пачками кам'яної солі встановлено три горизонти калійних солей, присутність яких значною мірою може ускладнити інженерно-геологічні умови експлуатації родовища.

Якість кам'яної солі визначається вмістом водонерозчинного залишку, який представлений головним чином легкою фракцією пелітової та алевритової розмірностей, що складена ілітом, хлоритом, монтморилонітом; важка фракція представлена ангідритом, піритом. Переважання у нерозчинному залишку легкої пелітової фракції вимагає оцінки швидкості осадження нерозчинного залишку у розсолі, вивчення швидкості розчинення різних літотипів кам'яної солі з метою уникнення ускладнень. Такими можуть бути, наприклад, такі призупинення вилуговування у нижній частині ємності внаслідок накопичення нерозчинного залишку та прискореного вилуговування стелини, що може призвести до руйнування технологічної колони, сполучення ємності з водоносними горизонтами у перекриваючих відкладах, розвитку карсту, руйнування ціликів між сусідніми камерами.

Фізико-механічні властивості кам'яної солі родовища відрізняються різко проявленою мінливістю. За даними В.Г. Войченка та ін., міцність на одновісне стискання ( $\sigma_{ст}$ ) кам'яної солі змінюється у широкому діапазоні — від 2,8 до 28,7 МПа, міцність на розтягнення ( $\sigma_{рт}$ ) — від 0,56 до 2,25 МПа. Значні відміни фізико-механічних властивостей порід у робочому інтервалі можуть призвести до технологічно непрогнозованого розвитку процесу вилуговування та спотворення форми ємності: руйнування стелини та розмиву верхніх шарів солі, неконтрольованого вилуговування «диких» каверн, встановлення гідравлічного зв'язку з

водоносним горизонтом у перекриваючих шарах тощо, із рівнем поверхневих вод та розвитком карсту; прогресуючого розшарування та наступного відшарування стелини виробок або міжкамерних ціликів через присутність великої кількості слабких прошарків глинистих порід.

Територія родовища зазнає розвитку поверхневого карсту — соленосні породи на четвертинній поверхні досить рівномірно вилуговуються з утворенням гіпсово-ангідритової шляпи та просіданням поверхні землі, що проявлені у рельєфі.

Характерною особливістю соленосних утворень району родовища є присутність розсільних горизонтів, приурочених як до контакту сульфатно-глинистих та соляних порід, так і до власне соленосних. Виходячи з гідрогеологічної ситуації в районі родовища — поширення четвертинного водоносного горизонту на глибину 0,2–3 м та спорадичного розвитку водоносного горизонту у гіпсово-ангідритових відкладах, літологічної мінливості порід, — критерієм допустимих мікрODEФОРМАЦІЙ має бути збереження суцільності вміщуючого породного масиву та збереження водоупорів.

Очевидною перевагою родовища є те, що територія майбутнього розсолопромислу не зазнала значних техногенних порушень внаслідок попереднього видобування корисних копалин, але можливий вплив численних геологорозвідувальних та нафтовидобувних свердловин має бути ретельно вивчений та виключений. Ще одним важливим елементом досліджень має бути оцінка безпеки проявів гіпогенного карсту, якого досі при проведенні геологорозвідувальних робіт задокументовано не було.

Промисловій розробці родовища мають передувати уточнення гірничо-геологічних та гірничо-технічних факторів, зокрема, літологічних (шаруватість та фаціальна мінливість промислової частини пласта, присутність площин ослаблення та ін.), а також уточнення, деталізація та вивчення на сучасному науковому і технічному рівнях вихідного напруженого стану непорушеного масиву, деформаційних, міцнісних та реологічних властивостей порід.

З метою комплексного використання природних ресурсів необхідно розглянути варіанти подальшого залучення створених ємностей у господарську діяльність, можливо, шляхом облаштування підземних сховищ вуглеводнів. Такі перспективи подальшого використання покладу вимагатимуть підвищення проектних

строків стійкого стану виробок та забезпечення належного моніторингу території.

## ВИСНОВКИ

Аналіз стану підземних камер вилуговування на Райгородській ділянці Слов'янського родовища свідчить, що навіть при досить сприятливих літологічних, інженерно-геологічних умовах принаймні на п'яти ділянках встановлено гідравлічний зв'язок 2–4 камер. За різними оцінками, спостерігається гідравлічний зв'язок на площі від 0,4 км<sup>2</sup>, що зумовлює просадку земної поверхні, формування мульди просідання над відпрацьованим простором та може призвести до різномасштабних обвалів надсоліових гірських порід. Це свідчить про необхідність детальної кваліфікованої роботи із вивчення особливостей літологічної будови на перший погляд однорідних інтервалів кам'яної солі та розробки детальних інформаційних геолого-літологічних моделей родовищ для безпечної їх експлуатації.

Виходячи з літолого-фаціальної мінливості соленосних відкладів в межах Верхньострутинського родовища, проявів гіпергенезу, тектоніки, присутності розсоліових горизонтів, складності умов залягання та будови воротищенської соленосної формації, а також враховуючи, що розробка родовища передбачається методом підземного вилуговування, на всіх стадіях виконання робіт необхідне суворе дотримання технології ведення геологорозвідувальних робіт та забезпечення буріння по соленосних відкладах з суцільним виходом керна. Слід виконати його кваліфікований первинний детальний пошаровий опис та розчленування соленосної формації за структурно-текстурними характеристиками, речовинним складом, вмістом та складом водонерозчинного залишку кам'яної солі; забезпечити відбір зразків для подальших лабораторних (літолого-мінералогічних, геохімічних, фізико-механічних та інших спеціальних) досліджень за виділеними літологічними типами порід, виконати виділення технологічних типів кам'яної солі та побудувати літолого-технологічну модель формації в межах досліджуваної ділянки (з використанням ГІС-технологій).

Для запобігання розвитку техногенного карсту необхідне удосконалення технології видобування корисних копалин: збереження водозахисної товщі, соляного дзеркала та ін.); аналіз палеокарсту, гіпогенного карсту та вивчення гідрогеологічних та гідрологічних умов, зокре-

ма із застосування сучасних методів, наприклад, ізотопії.

Необхідним елементом наукового обґрунтування та супроводу робіт має бути розробка моделей родовищ, що враховують особливості ділянок, зокрема деталізовані структурно-текстурні особливостей та пов'язані з ними фізико-механічні властивості в зоні підробки.

Роботи з використання підземного простору соленосних формацій вимагають дотримання високої культури виробництва та професіоналізму на всіх етапах їх виконання – від рекогносцировок робіт до визначення робочих інтервалів та моніторингу ділянок з відпрацьованими камерами.

1. *Галогенные формации северо-западного Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины и их калиеносность / [Корневский С. М., Бобров В. П., Супрунюк К. С., Хрущов Д. П.]. — М.: Недра, 1968. — 240 с.*
2. *Инженерно-геологические проблемы создания подземных хранилищ. Москва: ИГиРГИ, 1988. — 152 с.*
3. *Литологические критерии оценки участков и перспективы строительства подземных сооружений различного целевого назначения в соляных толщах. — Киев: Ин-т геол. наук АН УРСР, 1989. — 46 с. — (Препринт / АН УРСР, Ин-т геол. наук. 89–3).*
4. *Проскураков Н. М. Физико-механические свойства соляных пород / Проскураков Н. М., Пермяков Р. С., Черников А. К. — М.: Недра, 1973. — 187 с.*
5. *Смирнов В. И. Оценка параметров сдвижения земной поверхности над ПХГ в каменной соли / Смирнов В. И., Розанов А. Б., Баклашов И. В., Хлопцов В. Г. // Газовая промышленность. — №11. — 1998. — С. 24–26.*
6. *Хрущов Д. П. Литологические предпосылки создания подземных камер-хранилищ в соляных толщах / Хрущов Д. П. // Ин-т геохимии и физики минералов АН УССР. — Киев, 1982. — 52 с. (Препринт / АН УССР, Институт геохимии и физики минералов).*
7. *Шафаренко Е. М. Длительная устойчивость подземных горных выработок в отложениях каменной соли / Шафаренко Е. М. // Диссертация докт. техн. наук, ИГД СО АН СССР. — Новосибирск, 1985. — 32 с.*
8. *Шехунова С. Б. Основные аспекты петрографических исследований при подземном строительстве в соляных толщах / Шехунова С. Б. / Тез. докл. совещания «Технология строительства и эксплуатации подземных хранилищ нефти, газа и продуктов их переработки». Москва, 26–30 окт. 1991 г. — 1991. — С. 10–11.*
9. *Шехунова С. Б. Современная модель прочностных свойств каменной соли в массиве / Шехунова С. Б., Шафаренко Е. М. / Тез. докл. совещания «Технология строительства и эксплуатации подземных хранилищ нефти, газа и продуктов их переработки». Москва, 26–30 окт. 1991 г. — 1991. — С. 8–9.*
10. *Шехунова С. Б. Изменения структурно-текстурных особенностей строения соляных пород в объемном напряженном состоянии / Шехунова С. Б. // Геол. журн. — 2003. — №3. — С. 58–64.*
11. *Шехунова С. Б. Структурно-текстурні особливості кам'яної солі франської соленосної формації Дніпровсько-Донецької западини / Шехунова С. Б. // Геол. журн. — 2005. — №4. — С. 58–64.*
12. *Шехунова С. Б. Досвід використання підземних виробок соленосних формацій / С. Б. Шехунова // Геолог України. — 2007 — №1. — С. 44–53.*
13. *Шехунова С. Б. Особливості літогенезу соленосних формацій та проблеми їх використання / Шехунова С. Б. / Автореф. дис. докт. геол. наук, ІГН НАН України. — Київ, 2011. — 43 с.*
14. *Bérest P. Safety of Salt Caverns Used for Underground Storage / Bérest P., Brouard B. // Oil & Gas Science and Technology — Rev. IFP. — 2003. — Vol. 58 — No. 3. — P. 361–384.*
15. *Poborska-Mlynarska K. Solution mining techniques at Lezkowice salt deposit — from the history of brine production in the Sub-Carpathian region. — Geologia. — 2009. — Vol. 35. — No. 3. — P. 393–405.*
16. *Warren J. K. Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons / Warren J. K. — Springer, 2006. — 1035 p.*

Інститут геологічних наук НАН України, Київ  
e-mail: shekhun@igs-nas.org.ua