

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Державна установа «Науковий центр гірничої геології,
геоекології та розвитку інфраструктури»

ГІРНИЧА ГЕОЛОГІЯ ТА ГЕОЕКОЛОГІЯ

№1 (6)

Головний редактор

кандидат геолого-мінералогічних наук

Ігор Михайлович Скопиченко

Заступник головного редактора

доктор геологічних наук, професор

Мирон Степанович Ковальчук (Україна)

Відповідальний секретар видання

Вікторія Валеріївна Вергельська

Редакційна колегія

доктор наук, професор

Буніамін Акгул (Туреччина)

кандидат геологічних наук

Ірина Володимирівна Бучинська (Україна)

доктор геологічних наук

Наталія Вікторівна Вергельська (Україна)

доктор інженер

Кремена Дедеянова (Болгарія)

доктор геологічних наук

Дмитро Володимирович Лисинчук (Україна)

доктор геологічних наук

Іван Іванович Михальченко

Ph.D., професор

Радослав Наков (Болгарія)

доктор геологічних наук

Любов Степанівна Осьмачко

доктор геологічних наук

Людмила Іванівна Пимоненко (Україна)

доктор геологічних наук

Володимир Васильович Покалюк (Україна)

2023

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
**State Institution «Scientific Center of Mining Geology,
Geocology and Infrastructure Development »**

MINING GEOLOGY AND GEOECOLOGY
№ 1 (6) * 2023

Editor in Chief

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

Igor Skorychenko

Deputy Editor-in-Chief

Doctor of Geological Sciences, Professor

Myron Kovalchuk (Ukraine)

Executive Secretary of the publication

Victoriia Vergelska

Editorial board

Assoc. Prof. Dr.

Buniamin Akgul (Turkey)

candidate of geological sciences

Iryna Buchynska (Ukraine)

Doctor of Geological Sciences

Nataliia Vergelska (Ukraine)

doctor engineer

Kremena Dedelyanova (Bulgaria)

Doctor of Geological Sciences

Dmytro Lysynchuk (Ukraine)

Doctor of Geological Sciences

Ivan Myhalchenko

Ph.D., professor

Radoslav Nakov (Bulgaria)

Doctor of Geological Sciences

Lybov Osmachko

Doctor of Geological Sciences

Lyudmila Pymonenko (Ukraine)

Doctor of Geological Sciences

Volodymyr Pokalyuk (Ukraine)

Адреса редакції:

01601 Київ, бул. Вернадського 34-б

ДУ НЦ ГГГРІ НАН України

e-mail: vvika10@meta.ua

*Затверджено до друку Науково-технічною радою
ДУ «Науковий центр гірничої геології, геоecології
та розвитку інфраструктури НАН України»
Протокол № 4 від 14.06.2023*

Електронне видання,

Літературний редактор: С.М. Озірська

Технічний редактор: А.О. Нікітіна

Згідно постанови Відділення наук про Землю

Протокол 8 §63 від 08.12.2020

ЗМІСТ

Гірнича геологія

Крошко Ю.В., Ковальчук М.С.

Структурно-літологічна модель західної ділянки Глухівецького родовища елювіальних каолінів 5

Вергельська Н. В., Вергельська В. В.

Регіональні та локальні системи поширення газу-метану у вуглепородних масивах Донецького басейну 18

Геоекологія

Д'яченко Н. О., Яловчак Т. М., Касьяненко Д. Л.

Оцінка інтегральної еколого-технологічної ситуації (Солотвино) 35

Нові напрями дослідження

Вергельська Н. В., Скопиченко І. М.

Особливості визначення сучасної газової міграції у верхніх шарах літосфери 57

Дискусії

Демчук Ю. В., Лівенцева Г.А.

Потенціал розвитку геотермальних джерел енергії в Україні 64

CONTENTS

Mining Geology

- Kroshko Yu. V., Kovalchuk M. S.*
STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL MODEL OF THE WESTERN
SECTION OF THE GLUKHIVETSKY DEPOSIT OF THE ELUVIAL
KAOLIN 5
- Vergelska N. V., Vergelska V. V.*
REGIONAL AND LOCAL SYSTEMS OF METHANE GAS DISTRIBUTION
IN THE COAL-BEARING MASSIFS OF THE DONETS BASIN 18

Geoecology

- Diachenko N. O., Yalovchak T. N., Kasyanenko D. L.*
ASSESSMENT OF THE INTEGRATED ECOLOGICAL AND
TECHNOLOGICAL SITUATION (SOLOTVYNO) 35

New Research areas

- Vergelska N. V., Skopychenko I. M.*
FEATURES OF DETERMINATION OF MODERN GAS MIGRATION IN
THE UPPER LAYERS OF THE LITHOSPHERE 57

Discussions

- Demchuk Y. V., Liventseva H. A.*
GEOTHERMAL OVERVIEW OF UKRAINE 64

УДК 551.311.231:(553.612.08:549.623.9)](477.42)

Ю. В. Крошко, М. С. Ковальчук

**СТРУКТУРНО-ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ЗАХІДНОЇ
ДІЛЯНКИ ГЛУХІВЕЦЬКОГО РОДОВИЩА ЕЛЮВІАЛЬНИХ
КАОЛІНІВ**

Узагальнено матеріал по західній ділянці Глухівецького родовища елювіальних каолінів, яке знаходиться в Козятинському районі Вінницької області поблизу смт. Глухів, і входить до складу Глухівецько-Турбівського каолінового району. Розкрито причинно-наслідкові зв'язки різних петротипів порід фундаменту з товщиною, речовинним складом і зональністю кори вивітрювання і, як наслідок, зі структурно-літологічною будовою покладу елювіальних каолінів та його якісними показниками. На підставі координат і опису свердловин досліджено рельєф підосви і поверхні каолініт-гідрослюдистої зони кори вивітрювання і покладу елювіальних каолінів, а також латеральну зміну їх середньої товщини. Досліджено кореляційні зв'язки між рельєфом поверхні і підосви та товщиною каолініт-гідрослюдистої зони і елювіальних каолінів. За результатами опробування свердловин та хімічного аналізу каолінів досліджено латеральний розподіл середніх вмістів оксидів заліза та титану і середнього вмісту показника білизни, а також встановлено їхні кореляційні зв'язки.

Ключові слова: Вінницька область, Глухівецьке родовище, західна ділянка, кора вивітрювання, елювіальні каоліни, геологічна будова, структурно-літологічна модель.

Вступ.

Україна посідає одне з провідних місць у світі за кількістю розвіданих і попередньо оцінених запасів глин та каолінів [1]. Каолінові глини в Україні представлені двома генетичними типами: каоліном елювіальним (основного і лужного складу) та каоліном флювіальним (перевідкладеним) [1, 2]. Освоєння родовищ каоліну в Україні є вигідним завдяки значній товщині верств корисних копалин, яка становить на родовищах елювіальних нормальних каолінів в середньому 20 м, елювіальних лужних каолінів – 8 м, флювіальних каолінів – близько 4 м (Бодюгов В.П., 1997). Основні запаси цієї мінеральної сировини зосереджено в межах каолінової провінції Українського щита. Глухівецьке родовище елювіальних каолінів розташоване в Козятинському районі Вінницької області поблизу смт. Глухів і входить до складу Глухіве-

цько-Турбівського каолінового району. Експлуатується родовище з 1901 року.

На базі родовища працює Глухівецький каоліновий комбінат, продукція якого постачається підприємствам фарфоро-фаянсової, хімічної, радіокерамічної, легкої та паперової промисловості, а також використовується при виробництві кабелю, гуми, ультрамарину, вогнетривів, парфумерії [1]. У виробництві тонкої кераміки, через низьку механічну міцність, каоліни Глухівецького родовища застосовуються в суміші з каолінами Проснянського родовища.

Матеріали та методи дослідження.

Методико-методологічні основи та алгоритм побудови структурно-літологічних моделей родовищ каоліну елювіального і флювіального генезису напрацьовані й апробовані авторами статті на низці родовищ Українського щита та оприлюднені у наукових публікаціях й на наукових конференціях різного рівня [3, 5].

Фактичним матеріалом досліджень слугували виробничі звіти серед яких базовим для створення структурно-літологічної моделі був звіт Муштенко І. Ф. зі співавторами [4]. Картографічні побудови щодо структури і якості покладу здійснювалися на основі даних координат, опису і опробування свердловин, результатів хімічного аналізу каолінів. На основі даних координат, опису, результатів опробування свердловини, хімічного аналізу каолінів та визначення їх білизни була створена цільова атрибутивна електронна база даних, яка стала фактологічним матеріалом для картографічних побудов, що характеризують рельєф підшви і покрівлі елювіальних каолінів, їх товщину, а також латеральний і вертикальний розподіл у них оксидів заліза, титану й індексу білизни. Картографічні побудови здійснювалися з використанням ГІС-технологій у програмних забезпеченнях Golden Software Strater, Golden Software Surfer. Кореляційні зв'язки між певними параметрами досліджувалися в Microsoft Excel.

Аналіз попередніх досліджень.

Перші відомості про Глухівецьке родовище елювіальних каолінів були у 1901 році. Значний внесок у дослідження родовища зробили С.Г. Коклик, С.І. Боженів, М.І. Безбородько, О.В. Красовський та ін. Перші геолого-розвідувальні роботи на родовищі виконано у 1925-1926 роках під керівництвом В.І. Лучицького. Протягом 1928-1938 років здійснювалися роботи з геологічного дослідження родовища. Зокрема, протягом 1931-1932 років геолого-розвідувальні роботи здійснювалися Українським відділенням

Інституту прикладної мінералогії (під керівництвом С.Г. Коклика), а в 1938 р –Українським геологічним управлінням (під керівництвом І.Г. Лобача). У 1940 році державним комітетом по запасам були затверджені запаси родовища. Після другої світової війни неодноразово проводилися роботи з дорозвідки і переоцінки запасів родовища у зв'язку зі зміною вимог до сировини та ГОСТів. Зокрема такі види робіт були проведені у 1951-1952 рр. трестом «Укргеолнеруд» (керівник робіт Б.О. Гіндалевич). У 1961 році дорозвідка родовища була здійснена Вінницькою партією Подільського раднаргоспу. З 1961 року на родовищі постійно здійснювалася експлуатаційна розвідка з метою уточнення умов залягання і сортності каолінів. Неодноразово проводилася дорозвідка окремих ділянок родовища з метою переведу однієї категорії запасів в іншу.

У подальші роки, значний внесок у дослідження Глухівецького родовища елювіальних каолінів загалом, зональності, речовинного складу кори вивітрювання й її структурного контролю; особливостей поширення і морфології покладу елювіальних каолінів, його речовинного складу, якості тощо у різні роки зробили В.І. Бондаренко, С.С. Всехсвятський, Ю.К. Іванов, В.Ю. Кондрачук, І.Ф. Муштенко, Ю.А. Русько, М.М. Семеоненко, Л.С. Сонкін, Ю.М. Теодорович, О.С. Ткаченко, В.М. Тютюнник, М.Ю. Фішкін та ін.

Геолого-економічна характеристика родовища представлена за матеріалами Муштенко І. Ф., Тютюнник В. М., Бондаренко В. І., 1978.

Мета дослідження полягає у поданні цілісної логічно пов'язаної інформації про геологічну будову західної ділянки Глухівецького родовища, розкритті причинно-наслідкових зв'язків петротипів порід фундаменту з речовинним складом і зональністю кори вивітрювання і, як наслідок, зі структурно-літологічною будовою покладу елювіальних каолінів та його якісними показниками.

Результати дослідження та їх обговорення.

Загальні риси геологічної будови.

У геологічній будові Західної ділянки Глухівецького родовища бере участь складний комплекс архей-нижньопротерозойських порід бердичівського комплексу (граніти і мігматити чудново-бердичівські, граніти апліто-пегматоїдні, гнейси біотитові, амфібол біотитові бугської серії), гнейси дністровсько-бузької серії, мезозой-кайнозойська кора вивітрювання кристалічних порід та осадові утворення міоцен-пліоцену і четвертинної системи. Домінуюче значення у геологічній будові належить чудново-

гранітам бердичівським і мігматитам з біотитовими гнейсами. Підлегле поширення мають пегматити і пегматоїдні граніти.

У межах ділянки дослідження рельєф поверхні кристалічних порід фундаменту складний з перепадами висот до 33,4 м.

На усіх, без винятку, породах кристалічного фундаменту розвинута кора вивітрювання. Поверхня кори вивітрювання визначається характером поверхні кристалічних порід фундаменту в результаті вивітрювання яких вона утворилася та характером сучасного рельєфу. Відмітки поверхні кори вивітрювання знаходяться в межах +250 - +280 м; максимальні абсолютні відмітки поверхні становлять +301,6 м, мінімальні – +279,04 м (середня відмітка +294,91 м).

Кора вивітрювання характеризується вертикальною зональністю, яка налічує три зони (знизу-догори): перша – дезинтеграції і вилуговування, друга – початкового гідролізу (каолінит-гідрослюди́ста), третя – кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання (каолінітова).

У корі вивітрювання на чудново-бердичівських гранітах майже рівномірно поширені усі три зони: в профілі елювію за гнейсами і мігматитами зона дезинтеграції і вилуговування виражена слабо і переважає зона початкового гідролізу (каолінит-гідрослюди́ста); у профілі вивітрювання пегматитів і апліт-пегматоїдних гранітів навпаки – зона дезинтеграції і вилуговування має добре вираження, в той час як зона початкового гідролізу виокремлена здебільшого умовно.

Зона дезинтеграції і вилуговування представлена різного розміру жорствою та інтенсивно тріщинуватими уламками порід, які зберігають структурно-текстурні особливості материнських порід [4].

У межах розвитку гнейсів порода представлена уламками напіввивітрених гнейсів зі сланцюватою і лускувато-зернистою текстурою. Мінеральний склад зони представлений кварцом, цирконом, монацитом, біотитом, гідробіотитом, каолінітом та іншими глинистими мінералами, напівзруйнованим польовим шпатом [4]. Породи сірого кольору з зеленуватим і бурим відтінками.

У межах поширення чудново-бердичівських гранітів і мігматитів зона дезинтеграції і вилуговування представлена різнорозмірною жорствою, у якій уверх за розрізом збільшується вміст глинистої складової. Породи мають масивну і смугасту текстуру гранітів і мігматитів. Мінеральний склад представлений кварцом (20-30%), каолінізованими польовими шпатами (40-60%), гідратизованим біотитом (8-10%), гранатом, серицитом, хлоритом, глинистими мінералами [4]. Породи зберігають забарвлення материнських порід з вторинними бурими і вохристо-жовтими плямами.

У межах поширення апліто-пегматоїдних гранітів і пегматитів зона представлена сірою, зеленувато-рожевою породою, яка складена кварцом, рожевим мікрокліном, каолінізованими плагіоклазами, лейкоксеном, гідробіотитом, гідрослюдами та іншими акцесорними мінералами материнських порід [4].

Загалом мінерали материнських порід переважають над новоутвореними, які присутні в значній кількості. Товщина зони дезинтеграції і вилуговування змінюється від 3,5 м до 22,3 м (в середньому 6,24 м).

Зона початкового гідролізу (каолініт-гідрослюдиста) характеризується майже повним заміщенням мінералів материнських порід на новоутворені. Мікроклін заміщується каолінітом, а темноколірні мінерали – гідрослюдами, а подекуди – монтморилонітом і бейделітом. Забарвлення порід здебільшого плямисте, смугасте.

У корі вивітрювання чудново-бердичівських гранітів і мігматитів ця зона представлена глинистою породою жовтувато-білого забарвлення з зеленуватим відтінком та вохристо-жовтими плямами. Мінеральний склад представлений кварцом, опалом, каолінітом, біотитом, гідробіотитом, гідроксидами заліза, зрідка серицитизованими польовими шпатами [4].

У корі вивітрювання гнейсів породи зони мають сірувато-зелене забарвлення з вохристо-жовтими плямами. Мінеральний склад: кварц, каолініт, гідрослюда, гідроксиди заліза, акцесорні мінерали гнейсів.

У корі вивітрювання апліто-пегматоїдних гранітів і пегматитів зона представлена породами білого, жовтувато-кремowego забарвлення з вохристо-бурими плямами. Мінеральний склад: кварц, каолініт, вивітрений мікроклін та ін.

На підставі координат і опису свердловин нами створено карти рельєфу підосви, покрівлі і товщини каолініт-гідрослюдистої зони (рис. 1).

Товщина зони початкового гідролізу змінюється від 0,1 м до 31,7 м (в середньому 6,24 м). Її розподіл за латераллю нерівномірний, з локальними ділянками та смугами підвищених товщин (див рис. 1 б). Рельєф підосви і покрівлі не слабо корелюється з її товщиною, натомість рельєф підосви і покрівлі зони добре корелюються між собою.

Кореляційний аналіз показав, що сила кореляційного зв'язку між товщиною каолініт-гідрослюдистої зони та рельєфом її підосви пряма слабка (+ 0,22); між товщиною зони і рельєфом її покрівлі – обернена дуже слабка (- 0,19); між рельєфом підосви і покрівлі зони – пряма дуже сильна (+ 0,91).

Зона кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання (каолінітова) має суцільне поширення, характеризується майже повним розкладом первинних мінералів (вміст каолініту 80-85%) і за мінеральним

складом поділяється на дві підзони: підзона лужних і підзона нормальних каолінів [4].

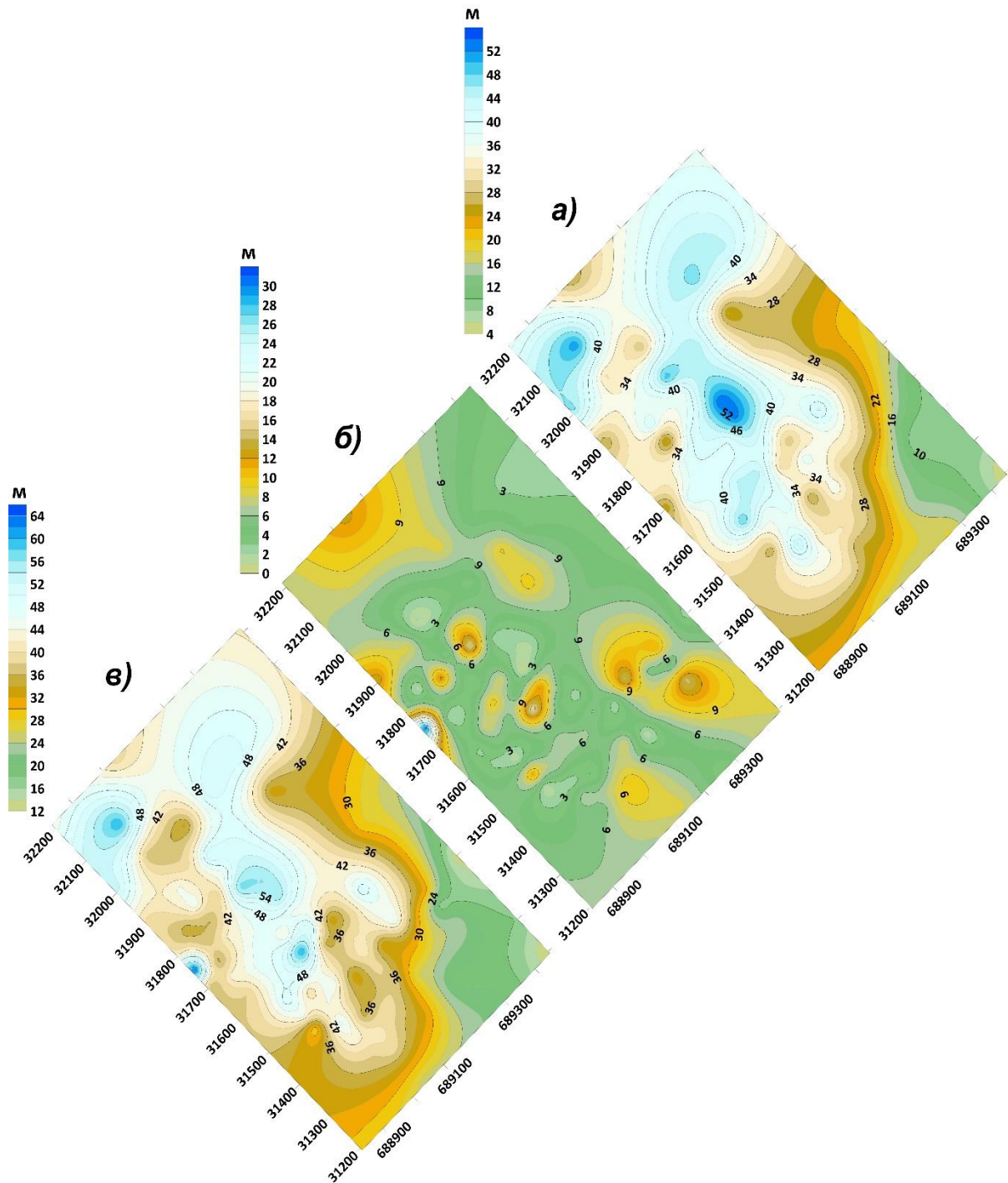


Рис. 1. Карти співвідношення ізогіпс верхньої (а) і нижньої (в) поверхні каолініт-гідрослюдистої зони та ізопахіт їхньої товщини (б).

Товщина лужних каолінів 1,2-4,3 м. Каолінітова зона має складну будову і містить кондиційні і некондиційні за якістю каоліни. На межі зони початкового гідролізу і зони кінцевого гідролізу та окиснення на окремих

ділянках присутні пеліканіти у вигляді гнізд, лінз, прожилків, рідкісно – у вигляді плаstopодібних тіл неправильної форми [4]. Пеліканіти являють собою білу, жовто-сіру щільну породу, яка є продуктом заміщення мінералів елювію кварцом і опалом.

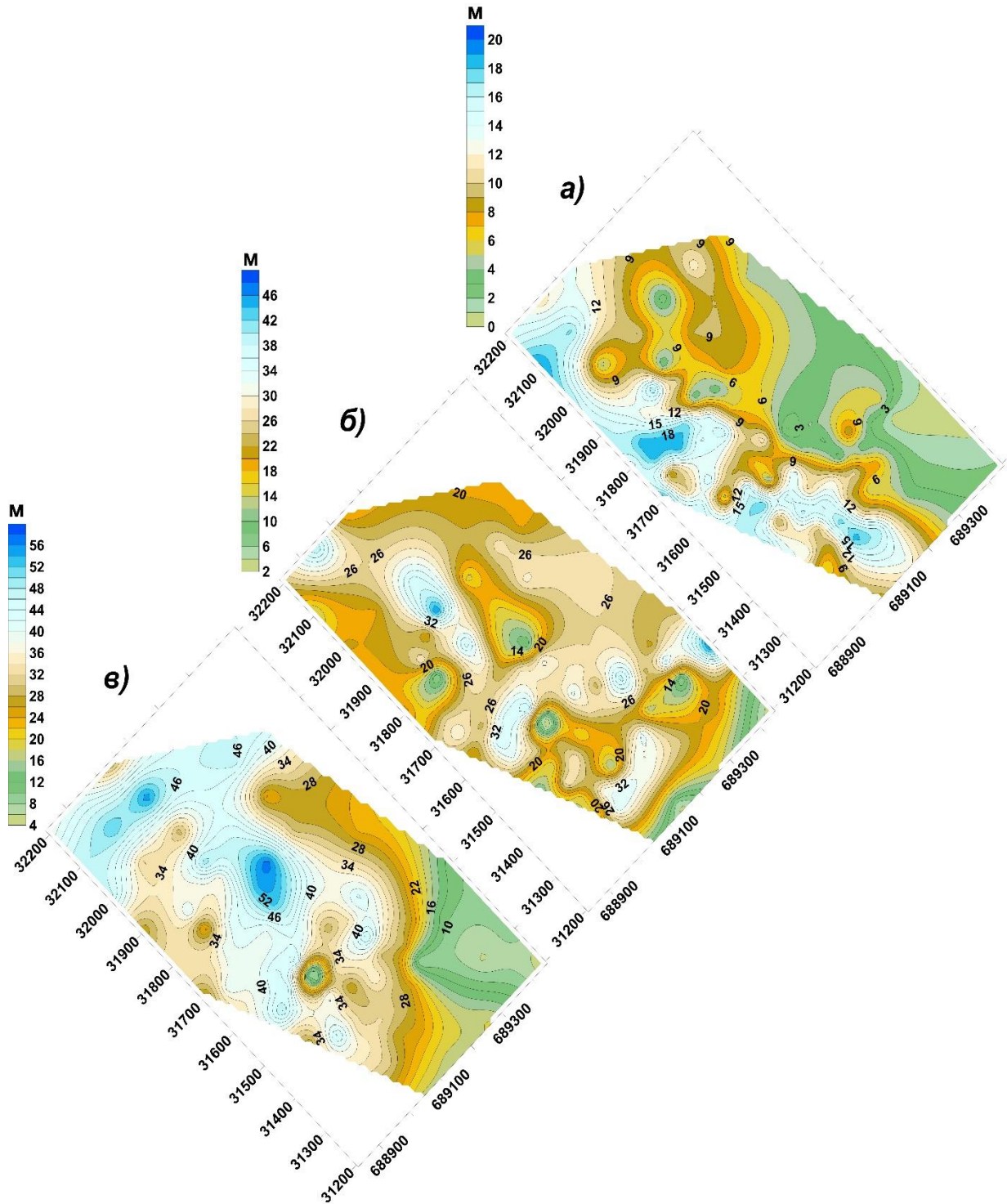


Рис. 2. Карти співвідношення ізогіпс верхньої (а) і нижньої (в) поверхні покладу елювіальних каолінів та ізопахіт їхньої товщини (б)

На підставі координат і опису свердловин нами створено карти рельєфу підосви, покрівлі і товщини каолінів (рис. 2). Товщина покладу кондиційних каолінів змінюється від 1,8 м до 48,9 м (в середньому 22,18 м); абсолютна відмітка покрівлі покладу – від +276,9 м до +295,2 м; абсолютна відмітка підосви покладу – від +236,5 м до +279,6 м. На локальних ділянках присутня часта зміна товщини. Рельєф підосви і покрівлі на окремих ділянках корелюються між собою; товщина каолінів частково корелюється з рельєфом їх підосви і майже не корелюється з рельєфом їх покрівлі через частковий їх розмив (див. рис. 2).

Сила кореляційного зв'язку між товщиною каолінів та рельєфом їх підосви пряма помірна (+ 0,40); між товщиною каолінів і рельєфом їх поверхні – обернена слабка (- 0,05); між рельєфом покрівлі і підосви покладу каолінів – пряма помірна (+ 0,34).

Кореляційний аналіз між товщинами каолініт-гідрослюдистої зони і покладу каолінів показав, що сила кореляції між ними обернена і дуже слабка (- 0,06). Сила кореляції між рельєфом підосви каолініт-гідрослюдистої та каолінітової зон пряма і дуже сильна (+ 0,99), а між рельєфом покрівлі цих зон пряма помірна (+ 0,34).

Товщина розкривних порід, що залягають над покладом каолінів змінюється від 0,6 м до 21,0 м. Розкривні породи представлені строкатими глинами міоцену товщиною 0,8-15,6 м; середньо-верхньочетвертинними суглинками з лінзами і прошарками супісків та піску товщиною 0,4-9,3 м та сучасним ґрунтово-рослинним шаром товщиною 0,2-1,5 м [4].

Характеристика покладу каолінів.

Зовнішній вигляд каолінів, їх мінеральний склад та фізико-хімічні характеристики визначаються петротипом порід фундаменту за якими вони утворилися. Залежно від петротипу і мінерального складу материнських порід виокремлено три різновиди каолінів [4]. Каоліни, що утворилися за рахунок вивітрювання чудново-бердичівських гранітів і мігматитів, являють собою породу переважно білого, жовтуватого-сірого забарвлення з жовто-бурими плямами. Мінеральний склад: каолініт (50-70 %), кварц (25-40 %), гідроксиди заліза (3-5 %), гідрослюда (1-2 %), циркон, монацит, ільменіт, лейкоксен, рутил, сагеніт, каолінізовані польові шпати, вивітрений гранат, слюда, серицит [4]. Текстура масивна, слабо виражена смугаста, структура – тонколускувата.

Каоліни, що утворилися за рахунок вивітрювання гнейсів, поширені в східно-північно-східній частині ділянки. Це світло-сіра порода з жовтуватими і кремевими відтінками та вохристо-бурими плямами. Мінеральний склад: каолініт (70-78 %), кварц (15-18 %), гідроксиди заліза (3-4 %), гідрослюда, циркон, рутил, лейкоксен, кальцит [4].

Текстура масивна, структура – тонколускувата, гранобластова (реліктова). Каолініт тонколускуватий, аморфний.

Каоліни, що утворилися за рахунок вивітрювання апліто-пегматоїдних гранітів і пегматитів, поширені локально у вигляді невеликих тіл. Порода білого забарвлення. Мінеральний склад: каолініт (50-70 %), кварц (25-50 %), циркон, монацит, лейкоксен, гетит, гідрогетит, апатит, ільменіт, рутил [4]. Текстура масивна, структура – пегматоїдна, мікролускувата. Каолініт здебільшого дрібнолускуватий.

Вміст породоутворювальних оксидів у каолінах такий (у %): Al_2O_3 – 22,5-28,7; SiO_2 – 60,4-72,6; Fe_2O_3 – 0,10-4,82; TiO_2 – 0,13-3,28; CaO – 0,02-0,18; K_2O – 0,12-1,46. Вогнетривкість каолінів знаходиться в межах 1690-1740 °С.

Підвищені вмісти в каолінах K_2O обумовлені утворенням їх внаслідок вивітрювання пегматоїдних і апліт-пегматоїдних гранітів; підвищені вмісти Fe_2O_3 – вивітрюванням гнейсів і мігматитів за гнейсами.

Збагачений каолін складається з каолініту (95-99 %), кварцу, гідрослюди, гідроксидів заліза, сагеніту [4].

Істотними критеріями якості каолінів є їхня білизна та присутність у їх складі фарбувальних (шкідливих) домішок Fe_2O_3 і TiO_2 . За вмістом оксидів заліза і титану каоліни на окремих ділянках належать до залізистих і титанистих. Нами створено карти латерального поширення середнього показника білизни каолінів і середніх вмістів у ньому оксидів заліза та титану (рис. 3).

Середні значення показника білизни каолінів змінюється від 70,3% до 85,2% (в середньому 78,83%); середній вміст Fe_2O_3 коливається в межах 0,16-1,43% (в середньому 0,48%); середній вміст TiO_2 – в межах 0,05-1,6% (в середньому 1,1%).

З'ясовано, що показник білизни каолінів залежить здебільшого від вмісту в них Fe_2O_3 і майже не залежить від вмісту TiO_2 .

У каолінах, сила кореляції між TiO_2 та Fe_2O_3 обернена дуже слабка (- 0,19); між показником білизни та TiO_2 – обернена дуже слабка (- 0,17); між показником білизни та Fe_2O_3 – обернена помірна (- 0,38).

Товщина каолінів частково корелюється з рельєфом їх підосви і майже не корелюється з рельєфом їх покрівлі через частковий їх розмив.

Висновок.

Родовище елювіальних каолінів в межах західної ділянки Глухівецького родовища просторово і парагенетично пов'язане з корою вивітрювання різною за віком, петрографічним і мінеральним складом, докембрійськими породами кристалічного фундаменту.

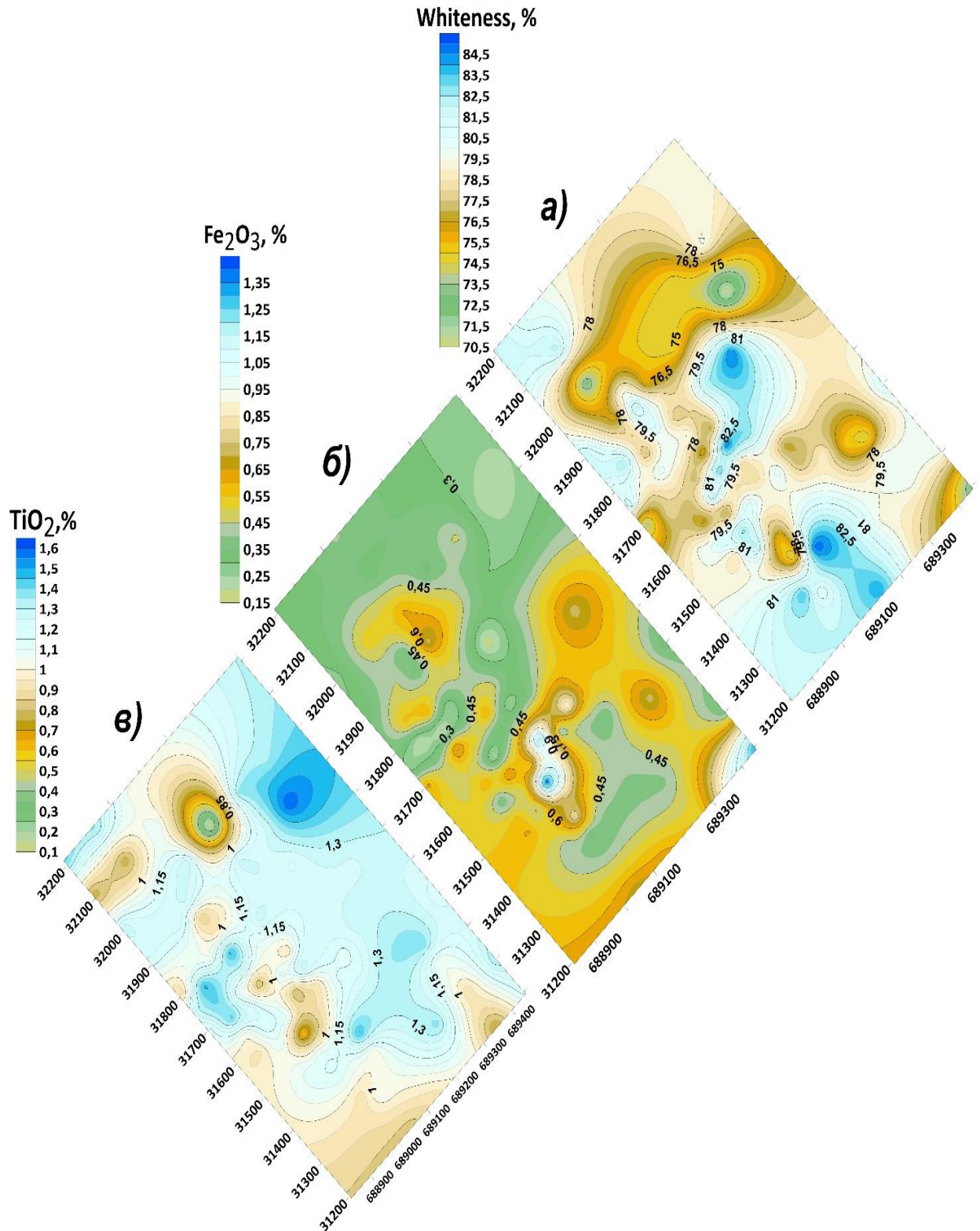


Рис. 3. Просторовий розподіл середнього показника індексу (в %) білизни (а) та середніх вмістів (у %) оксидів Fe₂O₃ (б) і TiO₂ (в) в покладі елювіальних каолінів

На основі узагальнення і аналізу фактичного матеріалу створено структурно-літологічну модель західної ділянки Глухівецького родовища

елювіальних каолінів, яка розкриває причинно-наслідкові зв'язки між геологічною будовою території; будовою, речовинним складом і зональністю та товщиною кори вивітрювання; умовами залягання, речовинним складом, товщиною і просторовою та вертикальною мінливістю якісних показників (показник білизни, вміст шкідливих домішок оксидів заліза і титану) покладу каолінів.

З'ясовано, що поклад каолінів має складне залягання і складну морфологію, які виражені у значних коливаннях абсолютних позначок його покрівлі та підосви, а також товщини і обумовлені особливостями геологічної будови території родовища та ерозійним зрізом.

З'ясовано, що хімічний, мінеральний склад та якісні показники каолінів є мінливими в межах досліджуваної ділянки і визначаються речовинним складом кристалічних порід фундаменту та кори вивітрювання, що утворилася в результаті їх гіпергенного розкладу.

Досліджено рельєф підосви і поверхні каолініт-гідрослюдистої зони кори вивітрювання і покладу елювіальних каолінів, а також латеральну зміну їх середньої товщини.

З'ясовано, що сила кореляції між цими показниками пряма та обернена і змінюється від дуже слабкої, слабкої, помірної до дуже сильної.

Пряма і дуже сильна сила кореляції існує між рельєфом підосви і поверхні каолініт-гідрослюдистої зони, а також між рельєфом підосви каолініт-гідрослюдистої та каолінітової зон.

З'ясовано, що показник білизни каолінів визначається здебільшого вмістом у них Fe_2O_3 і майже не залежить від вмісту TiO_2 .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гелета О.Л. Мінеральні ресурси України: Глини. Частина 2. Характеристика глин, огляд їх запасів і галузей використання. *Коштовне та декоративне каміння*. 2014. №4. С. 16–26.
2. Державна геологічна карта України масштаб 1:200 000 аркуш М-35-XXIII (Бердичів). Київ, Міністерство екології та природних ресурсів України. Північне державне регіональне геологічне підприємство «Північгеологія», Правобережна ГЕ, 2001. 97 с.
3. Крошко Ю.В., Ковальчук М.С. Структурно-літологічна модель Турбівського родовища елювіальних каолінів. *Геологічний журнал*. 2022. № 1 (378). С. 50–61. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2>
4. Kroshko Y.V., Kovalchuk M.S., Kuzmanenko H.O., Okholina T.V. Structural and lithological model of the Zhezheliv deposit of eluvial kaolin. *Геологічний журнал*. 2022. 3 (380). 67–80. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814> .2022.3.253551
5. Рудько Г.І., Озерко В.М., Шепель І.В. Геологія і геолого-економічна оцінка родовищ каоліну України. Чернівці: Букрек, 2015. 336 с.

REFERENCES

1. Geleta O.L. 2014. Mineral resources of Ukraine: clay. Part 2. Characteristics of clay, inspection of their stocks and industries. *Pregnant and decorative stones*. 4. 16–26. – in Ukrainian
2. State Geological Map of Ukraine scale 1: 200 000 sheets M-35-XXIII (Berdychiv). Kyiv. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Northern State Regional Geological Enterprise «Pivnich Geology» Pravoberezna GE, 2001. 97 p. – in Ukrainian
3. Kroshko Yu.V., Kovalchuk M.S. 2022. Structural and lithological model of the Turbiv deposit of eluvial kaolins. *Geological journal*. 1 (378). 50–61: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.1.244419>. – in Ukrainian
4. Kroshko Y.V., Kovalchuk M.S., Kuzmanenko H.O., Okholina T.V. 2022. Structural and lithological model of the Zhezheliv deposit of eluvial kaolin. *Geological journal*. 3 (380). 67–80. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.253551>. – in English
5. Rudko G.I., Ozerko V.M., Shepel I.V. 2015. Geology and geological and economic assessment of kaolin deposits of Ukraine / edited by G.I. Rudko. Chernivtsi: Bukrek. 336. – in Ukrainian

Kroshko Yu.V., Kovalchuk M.S.

STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL MODEL OF THE WESTERN SECTION OF THE GLUKHIVETSKY DEPOSIT OF THE ELUVIAL KAOLIN

The material on the western section of the Glukhivetsky deposit of eluvial kaolins, which is located in the Koziatyn district of the Vinnytsia region, near the village of Glukhiv and is part of the Glukhivetsko-Turbivsky kaolin region.

The causal relationships of different petrotypes of bedrock with the thickness, material composition and zonation of the weathering crust and, as a consequence, with the structural and lithological structure of the eluvial kaolin deposit and its qualitative indicators are revealed.

Based on the coordinates and description of wells, the relief of the top and of the bottom surface of the kaolinite-hydromicaceous zone of the weathering crust and of the layer of eluvial kaolins, as well as the lateral change in their average thickness, were studied. Correlations between of the top and of the bottom surface and thickness of the kaolinite-hydromicaceous zone and eluvial kaolins have been studied. Based on the results of well testing and chemical analysis of kaolins, the lateral distribution of the average contents of iron and titanium oxides and the average content of the whiteness index, as well as their correlations, was studied.

Key words: Vinnytsia region, the Glukhivetsky deposit, eastern part, crust weathering, eluvial kaolins, geological structure, structural-lithological model.

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Юлія Крошко

кандидат геологічних наук

e-mail: ykrosh.79@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-7601-7760>

Мирон Ковальчук

доктор геологічних наук

e-mail: kms1964@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>

Стаття надійшла: 22.03.2023.

УДК 553.94(477.6)

Н. В. Вергельська, В. В. Вергельська

РЕГІОНАЛЬНІ ТА ЛОКАЛЬНІ СИСТЕМИ ПОШИРЕННЯ ГАЗУ-МЕТАНУ У ВУГЛЕПОРОДНИХ МАСИВАХ ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ

Визначення регіональних та локальних особливостей поширення газу метану у вуглепородних масивах Донецького басейну дозволить вирішити відразу декілька важливих проблем: створення безпечних умов ведення гірничих робіт, використання метану як альтернативного виду палива, а також покращення екологічної ситуації у техногенно навантажених регіонах. Локальні газонасичені системи вуглепородних масивів, поєднують окремі вугільні пласти та вміщуючі їх породи, перш за все, є результатом накопичення та мінімального впливу наступних геодинамічних процесів. Важливими характеристиками гірських порід і вугілля, як колекторів природних газів, є пористість і газопроникність. Зміна вихідних показників вугільної речовини вказує на глибоку трансформацію, яку набувають вугільні пласти за умов флюїдодинамічного впливу, що й визначається регіональними та локальними змінами у вуглепородних масивах басейну.

У різних товщах вуглепородних масивів газонасиченість та міграція газів пов'язані за віком та якісними характеристиками. Якісні характеристики газової суміші вугільних родовищ постійно змінюються за розрізом і падінням пласта й, особливо чітко, вирізняються у тектонічно порушених зонах вуглепородних масивів. Всі складові газової суміші вуглепородних масивів контролюються мозаїкою фізичних параметрів його різних частин як в непорушеному, так і в відпрацьованому масиві. Структурні, екрановані поклади часто зустрічаються у відносно не порушених масивах шахт та можуть відпрацьовуватися як локальне газове родовище. В залежності від стану вуглегазонасного масиву газова складова може змінюватися в широких межах. При активному максимальному вилученні газу у виробках піднімається велика кількість важких і ненасичених вуглеводнів, що може спровокувати газодинамічні явища.

На основі ізотопних та геохімічних досліджень газових сумішей вуглепородних масивів обґрунтовано і доведено полігенетичний склад природного газу у вугленосних товщах вугільних басейнів України.

Ключові слова: газ-метан вугільних родовищ, Донецький басейн, газонасиченість вуглепородного масиву.

Вступ.

В світі накопичений значний досвід розробки та промислового видобутку метану на вуглегазових родовищах у США, Австралії, Канаді, Китаї, Індії, Польщі, Чехії, Нової Зеландії, Англії, Німеччини. За різними оцін-

ками світові ресурси метану у вугільних басейнах становлять 93,4 – 285,2 трлн. т³, у тому числі вугільні басейни України вміщують газ від 12,0 до 25,0 трлн. м³, з них видобувні складають 3,0 – 3,5 трлн. м³.

Причини видобутку газу наступні: по-перше, шахтний метан є дуже небезпечною речовиною, яка значно погіршує умови праці на шахтах та призводить до газодинамічних явищ і значних людських втрат; по-друге, суміш газів (понад 25 % вуглеводневих газів), яка виділяється при веденні гірничих робіт та дегазації, є цінною вуглеводневою сировиною, використання якої значно поліпшить економічну ефективність роботи вугільної галузі; по-третє, метан вугільних родовищ, який викидається в атмосферу, є небезпечним газом, що підсилює дію парникового ефекту в атмосфері.

Останнім часом значна увага приділяється нетрадиційним ресурсам енергоносіїв. Один з представників нетрадиційних вуглеводневих ресурсів – метан вугільних родовищ. В усьому світі за останнє десятиліття проведена значна кількість досліджень і робіт, авторами яких зроблений великий внесок у розвиток цього напрямку: А. Я. Радзивілл, В. В. Лукінов, В. О. Канін, Л. І. Пимоненко, О. Ю. Лукін, М. М. Максимов, М. В. Усков, Х. Ф. Джамалова, А. М. Брижаньов, Г. Д. Лідін, О. І. Кравцов, Г. А. Коньков, І. М. Наумко та багато інших.

Визначення регіональних та локальних особливостей поширення газу метану у вуглепородних масивах Донецького басейну дозволить вирішити відразу декілька важливих проблем: створення безпечних умов ведення гірничих робіт, використання метану як альтернативного виду палива, а також покращення екологічної ситуації у техногенно навантажених регіонах.

Мета дослідження: визначення критеріїв та факторів для виділення ділянок придатних для дегазації у вуглепородних масивах.

Матеріали та методи дослідження

В основу роботи покладені матеріали одержані на діючих вуглевидобувних підприємствах Красноармійський вуглепромисловий район: ДП ВК «Краснолиманська», ДТЕК ш/у Білозірське шахта Піонер, ДТЕК ш/у Добропільське шахта Алмазна, ш/у Покровське та шахта Свято-Покровська; узагальнення попередніх досліджень 2007 – 2021 рр. на шахті ім. О.Ф. Засядька (рис. 1) та в 2015 – 2017 рр. шахті «Червоний Партизан».

При вирішенні завдань використовувалися методи структурно-тектонічного, літолого-фаціального та геохімічного аналізів; виявлення та прогнозування газоносних ділянок вуглепородних масивів за авторськими

запатентованими методиками [1, 5, 10]. Комплекс отриманих лабораторних результатів та узагальнень проведених попередніх досліджень дозволяє визначити регіональні та локальні системи поширення газу у вуглепородних масивах та можливості їх використання для видобутку газу-метану вугільних родовищ.

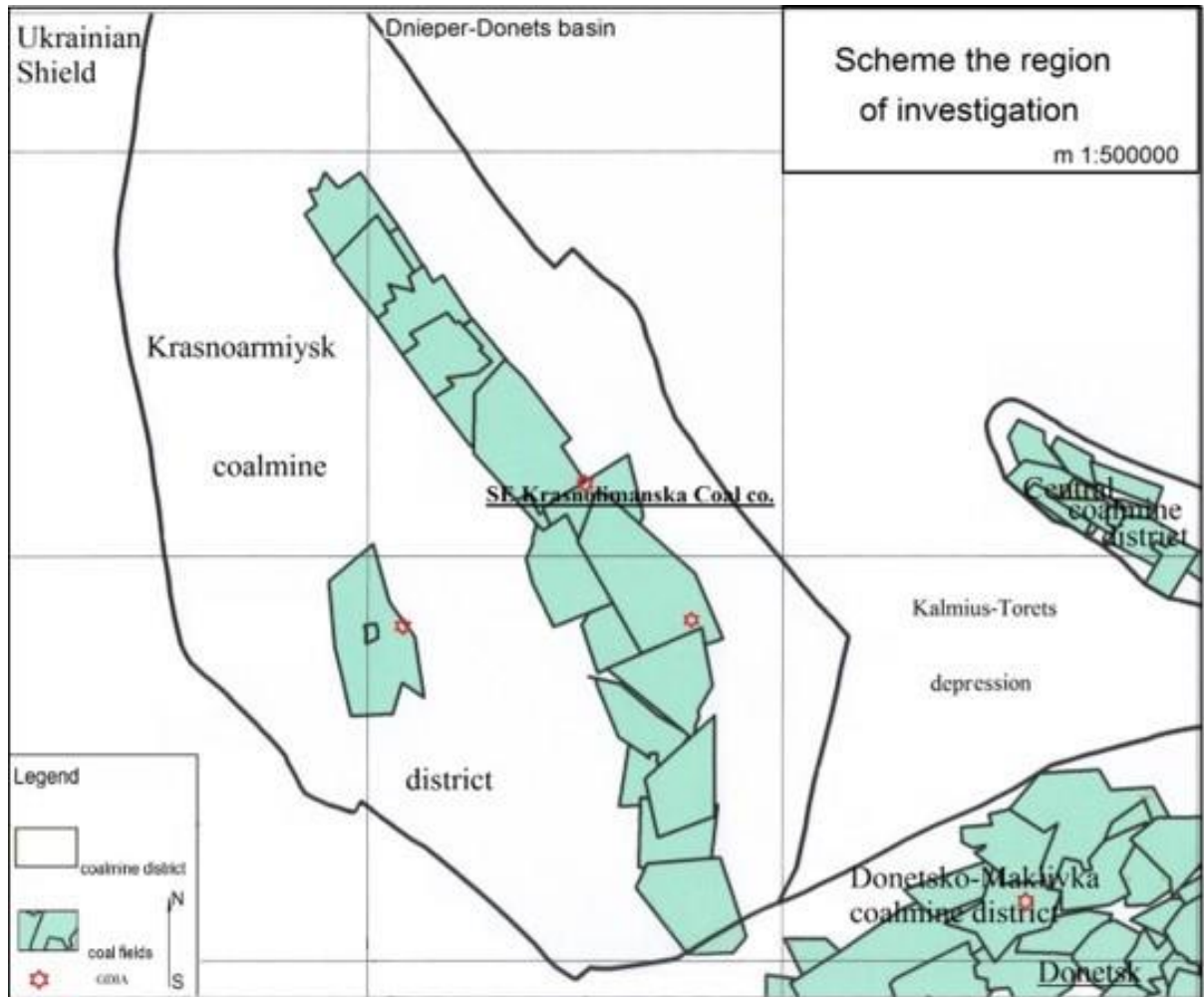


Рис. 1. Ділянки дослідження в межах Красноармійського та Донецько-Макіївського вуглепромислових районів.

Результати дослідження

Регіональні та локальні системи поширення газу-метану у вуглепородних масивах Донецького басейну викликають зацікавленість, насамперед, у зонах із промисловою вугленосністю, яка зосереджена переважно у трьох світах середнього карбону $C_2^7 - C_2^5$ (65 вугільних пластів) та поодиноких пластах робочої потужності світи C_3^1 . Незважаючи, що розвідані та підраховані ресурси Донецького басейну в межах товщі 1800 м, комплексне освоєння вуглегазових покладів, без сумніву, доцільне.

Локальні газонасичені системи вуглепородних масивів, поєднують окремі вугільні пласти та вміщуючі їх породи, перш за все, є результатом накопичення та мінімального впливу наступних геодинамічних процесів. Таким чином, формаційні та постформаційні процеси є основою формування регіональних та локальних систем газонасиченості вуглепородних масивів.

В загальному вигляді палеогеографічний план осадо- і торфонакопичення товщ карбону в басейні визначився наявністю стабільних умов відкритого моря північніше Донецького прогину, а області живлення – на південний захід від нього. Цей план палеогеографічних режимів зберігався від пізньовізейського часу до пізнього карбону включно, і ним зумовлена зміна ряду властивостей вугілля у напрямку з південного заходу на північний схід. Вивчаючи якісні показники вугілля, багато дослідників відзначали суттєві зміни окремих фізико-хімічних та енергетичних даних у контактних зонах магматичних комплексів, тектонічних порушень. Кам'яновугільні відклади представлені чергуванням різних за потужністю шарів пісковиків, алевролітів й аргілітів, що вміщують порівняно малопотужні пласти вапняків, вугілля та вуглистих аргілітів. Утворення вугілля і вміщуючих порід та наступні їх перетворення відбуваються в однакових термобаричних умовах і під впливом одних і тих же факторів. Це зумовлює парагенетичні зв'язки між вугіллям і вміщуючими породами, а також тісні кореляційні залежності між різними фізичними властивостями алевролітів, аргілітів, пісковиків, сланців та інших порід зі стадіями перетворення, що відповідають стадіям метаморфізму вугілля. Вугілля, що підпало у природних умовах під високотемпературні зміни, характеризується зміною ступеня відбивної здатності вітриніту, зниженими показниками теплоти згорання, збільшеними показниками зольності та карбонатності. У цьому переліку змін вихідних показників вугільної речовини видно, яку глибоку трансформацію набувають вугільні пласти за умов флюїдодинамічного впливу, що й визначається регіональними та локальними змінами у вуглепородних масивах Донбасу, як вугільної речовини так і газонасиченості [5].

Важливими характеристиками гірських порід і вугілля, як колекторів природних газів, є пористість і газопроникність. Встановлено, що колекторські властивості вугілля і вміщуючих порід (пористість, газопроникність) змінюються у широкому діапазоні значень в залежності від ступеню метаморфізму вугілля і катагенезу порід, відновлення вугілля, син- та постформаційних тектонічних трансформацій.

Пористість і газопроникність вугілля і вміщуючих порід закономірно зменшуються з підвищенням ступеня метаморфізму вугілля. Зіставленням параметрів колекторських властивостей порід і вугілля басейну було

встановлено, що в районах низькометаморфізованого вугілля газопроникність знаходиться у кореляційному зв'язку із сучасною глибиною залягання, а в районах високометаморфізованого вугілля – виражений нечітко або відсутній.

Первинна газонасиченість кам'яновугільних відкладів вугільних басейну зумовлена вугленосністю району і ступенем метаморфізму вугілля (рис. 2). На поширення природних газів у вуглепородному масиві впливає багато факторів, і в першу чергу, характер геологічних структур і склад порід, які перекривають вугільні пласти; характер диз'юнктивних і плікативних порушень (рис. 3), речовинний склад і ступінь метаморфізму вугілля; умови циркуляції і склад підземних вод [5].



Рис. 2. Схема розповсюдження основних марок вугілля Донецького басейну.

Сучасний стан газонасиченості вуглепородного масиву є результатом геодинаміки регіону від пермі до неогену, які є син- та постгенетичними відносно періодів формування вугільних пластів. Аналіз геологічних

матеріалів Донецького басейну свідчить, що формування складчастих форм масиву відбувалося протягом всієї геологічної історії розвитку регіону та, за рахунок флюїдодинамічних процесів, продовжується і сьогодні. Формування різнонаправлених зон глибинних розломів у вугільному басейні відбувалося одночасно та багаторазово. За даними І. О. Майдановича та А. Я. Радзівілла [5, 13], в періоди тектонічної активізації, за умов збереження загального плану глибинних тектонічних порушень і контролюючих ними складчастих форм (Складчастого Донбасу та Українського щита), їх розвиток відбувався однотипово, але у різних місцях з різним ступенем активності та контрастності. Процес вуглефікації супроводжується як виділенням великої кількості газів, так і їх сорбції. Систематизація основних даних про природні гази зумовлюється необхідністю виявлення факторів які впливають на просторове розміщення газів, умови їх міграції, формування скупчень. Тому формування ділянок вугільного масиву з різними сорбційними властивостями порід і вугілля, різними показниками газонасичення та характеру флюїдопровідності свідчать про утворення в осадовій товщі басейну як успадкованих, так і новоутворених форм при кожній наступній активізації.

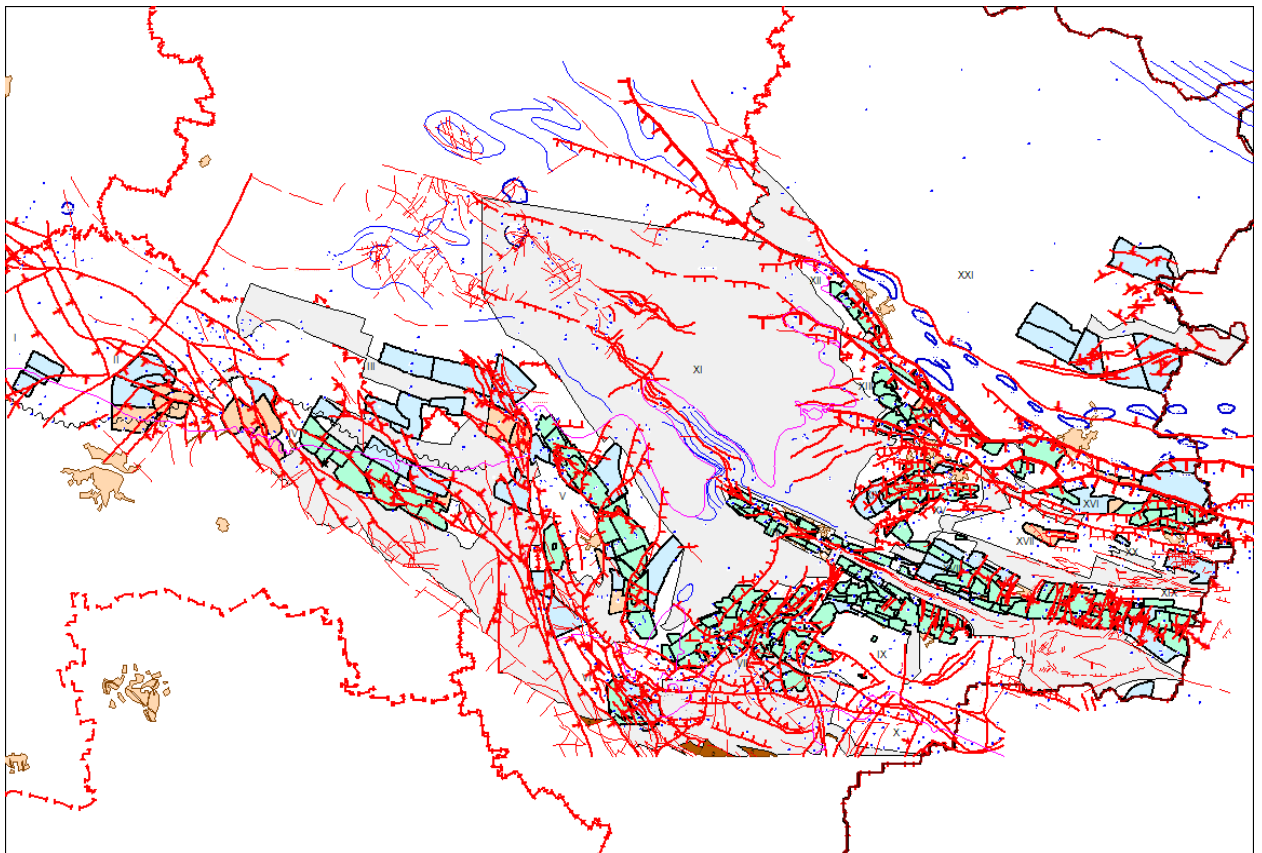


Рис. 3. Карта-схема Донецького басейну з шахтними полями та розривними порушеннями, побудована в програмі MapInfo.

Внаслідок зміни гіпсометричних рівнів вугільних товщ, у постформаційний період, відбуваються зміна складу і перерозподіл зон газонасичення масиву. При активізації тектонічних рухів у вуглепородних масивах створювалися нові структури для природної дегазації, акумуляції та збереження газу. Це частково пояснює чому гази, серед яких і метан, у вугільній товщі поширені нерівномірно. Одним з головних факторів нерівномірного поширення газу у вуглепородному масиві є характер розповсюдження сучасних геологічних структур, в яких розташовані вугленосні поклади [5, 9, 10]. Газоносність вугільних пластів контролюється геологічними структурами, де простежується чіткий взаємозв'язок: газоносність вугільних пластів визначається наявністю дрібних структур різного характеру, в яких газові поклади пов'язані із вугільними пластами та вміщуючими їх породами. Зниження природної метаноносності вугільних пластів з глибиною у районах поширення антрацитів визначається, практично, відсутністю метану у високометаморфізованих антрацитах, може бути пояснено структурою вугільної речовини або заміною метану на діоксид вуглецю, що характерно для окремих шахт Луганської області.

Сучасне положення верхньої межі метанової зони в межах конкретних ділянок вуглепородного масиву визначається їх тектонічною будовою і залежить насамперед від того, чи екрановані вугленосні відклади великими за амплітудою диз'юнктивами. У іншому випадку, інтенсивність газового вивітрювання зростає, а глибина дегазації багато в чому визначається літологічно-фаціальним складом вуглевміщуючих порід і умовами їх залягання. На більшій частині площі шахт, де вугленосні відклади порушені і екрановані регіональними скидами (амплітуда до 1000-1300 м), глибина залягання становить 170 - 200 м. В районах виходів вугленосних товщ під покривні відклади, де кути падіння пластів досягають, локально 60-70°, глибина дегазації вугільних пластів, що залягають серед алевролітів і аргілітів, зростає до глибини 300 – 350 м, а у пластах, в покрівлі яких знаходиться потужний алювіальний пісковик, до 440 м, що зафіксовано на переважній більшості вугільних шахт Донбасу шахтними службами.

Природні гази в метановій зоні представлені в основному метаном (вміст від 40 до 90 %), важкими вуглеводнями (від слідів до 1 - 20%), азотом (від 1-5 до 25-30 %) і вуглекислим газом (в основному від 0 до 1,5-2,07 %). Поряд з ними до складу газів входить гелій, водень, зрідка – сірководень. При загальній близькості речовинного складу газів вугілля та порід, гази вугільних пластів (при подібних умовах) містять більшу кількість CO (CO₂) та важких вуглеводнів, але трохи меншу кількість гелію та водню. У регіонах Донбасу

застосовують різні методики та методи відбору газу із вугільних пластів та вуглепородних масивів, незважаючи на це результати наших досліджень не суперечать проведеним аналогічним дослідженням.

Якісні характеристики газової суміші вугільних родовищ постійно змінюються за розрізом і падінням пласта й, особливо чітко, вирізняються у тектонічно порушених зонах вуглепородних масивів. Всі складові газової суміші вуглепородних масивів контролюються мозаїкою фізичних параметрів його різних частин, як в непорушеному, так і в відпрацьованому масиві [1].

Таким чином, створюються постформаційні системи газонасиченості вуглепородних масивів, які доповнюють першопричини насичення газом масиву та значно ускладнюються локальними ділянками із підтоком газу із глибших горизонтів. Тільки при поєднанні локальних та регіональних газонасичених систем утворюються зони придатні для промислової дегазації, які матимуть тривалий період використання.

Одностайної думки про походження газу у вугільних масивах не існує, але, згідно першої гіпотези, вчені розглядає його як біогенне утворення, що є одночасно утвореним із вугільними покладами чи продукованим ними при подальшому їх перетворенні [5, 9]. Друга гіпотеза вказує на присутність у вугіллі газів, крім біогенного, також абіогенного походження, пов'язаних із глибинними розломами та флюїдодинамічними осередками [6, 7, 8].

На думку М. М. Страхова [13], метан, що перебуває у сучасній вугленосній товщі як за кількісними показниками так і за локалізацією в структурах – є залишковим, який утворився в період метаморфізму вугілля. М. Л. Лівенштейн [1] вважає, що метан у вуглепородному масиві пов'язаний із метаморфізмом вугілля, який продовжується на глибині і до нині. Тому, на його думку, сучасне поширення газу у вугільних басейнах слід розглядати як динамічну рівновагу: глибинного, регіонального, метаморфогенного газоутворення, що постійно поповнює зменшення метану, яке відбувається за рахунок постійної дегазації Землі.

На шахті ім. О.Ф. Засядька та ДП «ВК «Краснолиманська» визначено велику частку вільного газу-метану поблизу розривних порушень та в зонах дрібноамплітудних тектонічних порушень, а також у відновленому вугіллі. Л.В. Гніпп зазначає, що в газах кам'яновугільних басейнів може знаходитися метан генетично не пов'язаний із вугільними масивами [5].

На думку О.І. Кравцова та О.І. Фрідмана, вуглеводні, в основній масі, могли проникати в осадову товщу із кристалічного фундаменту, а метан і його гомологи могли утворюватися в результаті міграції водню й окису чи двоокису вуглецю із під корових глибин [6] або ті що вміщуються в магматичному розплаві [5].

За результатами досліджень, Х. Ф. Джамалова [5] вважає, що концентрація важких вуглеводнів не залежить від ступеню метаморфізму вугільного пласта. Вміст важких вуглеводнів у вугленосній товщі Донбасу має вторинний накладений характер, а також вони можуть розглядатися як індикатори сучасної міграції метану та його гомологів, тобто створюючи вертикальні системи газоносності, які поєднують як вугільні пласти так і вміщуючі їх породи. Про міграцію газу із найбільш занурених газогенеруючих горизонтів та міграцію газів вгору за розрізом та падінням пласта вказує М.Я. Малихін. Найбільші зони скупчення важких вуглеводнів пов'язують із водами вміщуючих вугілля порід та із зонами розвитку тріщинуватості. Таким чином, важкі вуглеводні вуглепородних масивів генетично не пов'язані із вугіллям чи нафтопроявами в них, а пов'язані з міграцією вуглеводнів (як рідких, так і газоподібних) з глибини, що також не суперечить результатам наших досліджень [5, 8]. Нашими дослідження встановлено наявність зон газонасичення які пов'язуються із вугільними пластами та вміщуючими породами та корелюються із тектонічними порушеннями у вуглепородних масивах.

При опробуванні діючих виробок, у Донецькому басейні протягом 2005 – 2020 рр., хімічний аналіз залишкової газової складової вугільних пластів показує такий газовий склад суміші: метан, азот, вуглекислий газ, етан, бутан, пропан, пентан, а також важкі та ненасичені вуглеводні. За результатами ізотопного дослідження, проведеного А. Л. Ларіковим у 2014 році, газів, відібраних автором проб, на шахтах ім. О.Ф. Засядька, Піонер та ДП «ВК «Краснолиманська», за генетичним походженням газ вуглепородних масивів варто розглядати, як суміш генерованих у процесі вуглефікації похідної речовини - біогенних, термогенних та газів (в тому числі й метану) іншого походження - абіогенних. У результаті ізотопного дослідження газів вуглепородних масивів Донбасу встановлено, що більше 80% газів товщі можна віднести до термогенних газів. Тільки в зонах впливу регіональних розломів (Ветковський розлом і Центральний насув), встановлено невелику кількість газу, яку за ізотопними показниками можна віднести до глибинного. У монолітних, без порушень, товщах вуглепородних масивів встановлено незначну кількість газу, яку можна віднести до біогенного. Поділ природних газів на генетичні групи має відносно умовний характер внаслідок міграції газів. Отже, газ вуглепородних масивів варто розглядати як суміш газів, які як за кількісними так і за якісними характеристиками нерівномірно поширені у вуглепородному масиві. Відповідно до цього є можливість визначення як вертикальних, так і горизонтальних зон та систем із певними якісними та

кількісними газовими показниками, тобто переважно метанові (вуглеводневі), азотисті або окиси (двоокиси) вуглецю.

Значні інверсійні рухи, за даними глибинної геофізики, можна стверджувати з певною часткою вірогідності лише для зони крупних лінійних складок осьової частини Донецького прогину з максимальними опусканнями кристалічного фундаменту, що досягає 20 і більше кілометрів. Таким чином, кореляція речовинного складу кам'яного вугілля за ступенем його метаморфізму не може корелюватися у цій зоні із сучасною глибиною залягання вугільного пласта чи вуглегазоносною товщі. Така кореляція можлива лише за умов формування газових покладів у вугленосній товщі карбону на альпійському етапі розвитку структури регіону Великого Донбасу, коли існували умови утворення вторинних тектонічних колекторів (різномасштабних зон та систем розуцілення) у кількох гіпсометричних рівнях [1, 13].

Всі вище зазначені фактори у подальшому повинні стати основою вирішення співвідношень ознак регіонального та локального поширення газу у вуглепородних масивах. Потрібно зауважити, що прагнення розділити процес вуглефікації і метаморфізму вугілля за рахунок нечітко визначених регіональних факторів (факторів регіонального метаморфізму, що зумовлений глибиною занурення і середнім температурним градієнтом) та зональних або локальних перетворень у результаті підтоку аномального тепла каналами лінійних та ізометричних флюїдопроводів, призводять до штучного методологічного ускладнення у розумінні процесу формування вуглеводнів, як процесу результуючого, де екзо- і ендогенні фактори поєднані і нерозривні.

Зважаючи на те, що вуглеводні метанового ряду, крім частини метану з проблематичною генетикою, синтезовані у більш жорстких термобаричних умовах, ніж сучасні умови їх поширення [6], можна стверджувати, газонасичення вугільного масиву відбулося за рахунок конвективної дифузії газової суміші тріщинами розривних порушень, тобто за рахунок переносу речовини рухомим середовищем. Рух потоку речовини відбувався у відповідності до другого закону термодинаміки, згідно якому стан речовини змінюється у напрямку досягнення рівноваги температури і тиску – з глибоких горизонтів до приповерхневих, від високих температур і тиску – до більш низьких. Така позиція авторів, насамперед, дозволяє розглядати локальні (зони) та регіональні системи поширення газу у вуглепородних масивах.

Дослідженнями газової складової вугільних пластів Донбасу встановлено, що закономірне якісне поширення газоподібних вуглеводнів визначається розривними порушеннями і підтверджують не тільки дифузійне газонасичення масиву, а й темпове – накопичення газу крізь розривні

порушення у період їх розкриття. При цьому слід зазначити, що розривні порушення не на всій своїй протяжності є «транспортними артеріями» газоподібних вуглеводнів: на більшій частині свого простягання вугілля і породи в розломних зонах настільки перем'яті, що в них повністю відсутня безперервність тріщин і пор, таким чином, майже повністю відсутня газопровідність. Головна частина геологічних розривних порушень в наш час є перешкодою для газообміну між геоструктурними блоками вуглепородного масиву і визначає відносно якісну стабільність газової складової блоків. Це підтверджено докладними газоаналітичними роботами, виконаними в очисному забої, вентиляційному і 16-му - 18-му конвеєрних штреках східної лави пласта m_3 шахти ім. А.Ф. Засядька, на 2-й і 3-й західних лавах пласта l_3 ДП ВК «Краснолиманська» та інших ділянках.

Встановлено, що якість газової складової вугільних пластів змінюється від зон геологічних порушень до центральної частини блоків. У прирозломній частині блоків в газовій складовій присутні вуглеводні з вуглецевим числом від C_1 до C_5 , а також $C_{пн2п}$ та $C_{пн2п-2}$. З віддалення від цієї зони на відстань від 150 до 300 м у вугільних газах відсутні $C_{2п-2}$, а потім $C_{пн2п}$, потім C_5 , C_4 , і C_3 . Центральна частина блоків насичена в основному метаном і етаном зі значною домішкою азоту і двоокису вуглецю, які витіснялися в ці місця надходженням вуглеводнів із розломних зон [4, 5].

Така диференціація складу газової складової в межах блоків узгоджується і порядком генерації нижчих вуглеводнів у контактній зоні палеовулканічного тіла. Спочатку газова суміш визначалася фізичними параметрами різних ділянок магматичного тіла, вкорінювалася у вугільному масиві, такими факторами, як температура, час прогріву, тиск і каталітична дія поверхні нагрівання пласта. Відчувши температурний вплив на початковому етапі деструкції вугільних пластів умов для синтезу метильних (СН) та етиленових (= СН) груп не було, через наявність в зольній частині вугільного пласта різних сполук заліза (в окремих випадках до 30% і більше), що діють каталітично, і не даючи можливості при високих температурах призупинити процес розпаду метану на проміжних стадіях, довівши розпад до утворення вільного вуглецю і водню. Хід такого процесу підтверджується присутністю піролітичного вуглецю в численних вугільних пробах, відібраних у суміжних з дайковими комплексами ділянок, вугільних пластів різних вугільних родовищ Донбасу і світу [5].

Сучасна газоносність вугленосних товщ значним ступенем сформувалася шляхом просторового перерозподілу вуглеметаморфогенних газів, у тому числі і мігруючих з глибших горизонтів і глибинних джерел, що підтверджується нашими дослідженнями газу (газової суміші). Основними

шляхами міграції природних газів у вугленосних відкладах при низькій стадії метаморфізму є гірські породи та вугільні пласти, а при середній і високій стадіях метаморфізму вугілля, міграції природних газів здійснюється головним чином, тектонічними порушеннями. Розривні порушення мають значний вплив на газонасиченість вуглепородного масиву в цілому і вугільних пластів зокрема. В залежності від характеру порушень вони або сприяють дегазації товщі чи навпаки акумуляції газу у вугільних пластах і породах. Перекриваючі вугільні пласти породи сприяють збереженню газів у вугленосні товщі [1-3, 11, 12].

Поширення газів у вуглепородному масиві дуже не рівномірне, про що свідчить значна відмінність глибини залягання поверхні метанової зони, а також дані про газовий режим шахт. На основі проведених досліджень встановлено, що основними факторами сучасного газового стану вуглепородного масиву є структурно-тектонічна будова і міграція газів пов'язана з ним.

Вугільні пласти, порушені косими розломами, мають підвищену газонасиченість поблизу розломів. Самозагорання вугільних пластів, швидше за все, пов'язане із газоємністю вуглепородного масиву, оскільки приурочено до тектонічних порушень. Синклінальні та антиклінальні структури є головними контролюючими газонасиченими структурами вуглепородного масиву для всього Донецького басейну. Характерні підняття метанової зони, приурочені до антиклінальних піднять – одна з ознак підвищеної газонасиченості вуглепородного масиву, а тектонічні порушення є контролюючими ознаками перерозподілу газоподібних вуглеводнів у ньому [10].

Слід зазначити, що у період формування вугільних пластів і вміщуючих їх порід та у постформаційний період вони піддавалися впливу тектономагматичної (тектонічної) активізації та флюїдизації. Внаслідок таких перебудов у сформованому вуглепородному масиві відбувалася зміна зон та кількості вмісту вуглеводнів.

При дослідженні залишкової газової складової у вугільних пластах встановлено: при наближенні до зон розломів у пробах зростає об'ємна кількість газу та збільшується кількість визначених газів.

Умови насичення вуглепородного масиву Донбасу вуглеводнями визначається величиною періодів збільшення чи зменшення пропускну здатності тектонічних розривних порушень та тривалістю їх надходження до масиву.

Зважаючи на наведені вище дані доцільно виділити дві основні системи газонасичення вуглепородних масивів:

- алмазна світа (C₂⁶) з максимальною вугленосністю є максимально газоносною та регіональні тектонічні порушення (насуви), які створюють газонасичені зони;

- локальні, які сформовані літологічними або структурно-тектонічними особливостями та мають як первинну так і вторинну (накладену) газонасиченість та можуть розглядатися і для техногенних колекторів відпрацьованого простору чи закритих шахт.

Висновки

Генезис, міграція, форми знаходження вуглеводнів у вуглепородних масивах аналогічні процесам характерним для природних газів у осадових формаціях. У той же час існують певні особливості утворення і еволюції вуглегазоносних масивів, які зумовлюють специфіку формування природної газоносності вугленосних товщ. Перервно-неперервний процес міграції до поверхні газів з глибших горизонтів супроводжується тектонічними (тектоно-магматичними) процесами і призводить до вертикальної газової зональності у вугленосних товщах, яка змінюється при кожній наступній активізації.

Зважаючи на дослідження, визначені напрями міграції, вказують не тільки на вертикальну міграцію, а на збагачення масиву вуглеводневою складовою і за падінням пласта. При підтоці газу із глибших горизонтів основу складатимуть термогенні гази, які змінені за рахунок термогеодинаміки вуглепородного масиву. Переважно такі локальні системи можна фіксувати у межах дрібноамплітудної постформаційної тектоніки.

При підтоці газу глибинних джерел їх можна фіксувати за наявністю гелію (He) та за показниками ізотопних досліджень, у переважній більшості випадків, у тектонічно порушених зонах. У таких зонах газ мігруючи масивом збагачує його, зазвичай, не завдаючи ускладнень адвентичим газам, з якими за сприятливих умов можуть вступати у взаємодію.

Структурні, екрановані поклади часто зустрічаються у відносно не порушених масивах шахт та можуть відпрацьовуватися як локальне газове родовище (попередня дегазація).

В залежності від стану вуглегазоносного масиву газова складова може змінюватися в широких межах. При активному максимальному вилученні газу у виробках піднімається велика кількість важких і ненасичених вуглеводнів, що може спровокувати газодинамічні явища.

На основі ізотопних і геохімічних досліджень метану, важких вуглеводнів, вуглекислого газу і гелію обґрунтовано і доведено полігенетичний склад природного газу у вугленосних товщах вугільних басейнів України. Це дозволяє віднести їх до мобільних газо-геодинамічних

системам, в яких і в даний час відбуваються інтенсивні процеси газопереносу та міжформаційні газові зв'язки, як у вугленосних товщах, так і у вміщуючих газонасичених породах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРА

1. Вергельська Н. В. Структурно-тектонічні особливості формування покладів газу у вуглепородних масивах Донбасу. *Нафтогазова галузь України*. 2015. № 2. С. 26–29.
2. Вергельская Н., Кичка А., Назарова И. Газов потенциал на вугленосния масив на Красноармейския вглицен басейн в зависимость от тектонските разломи (Донбас, Украина). *Списание на Българското геологическо дружество*. 2014. год. 75. кн. 1–3. С. 5–9.
3. Вергельська Н. В., Вергельська В. В. Вплив гідродинамічного режиму на газонасиченість вуглепородних масивів. *Матеріали науково-практичної конференції «Новітні проблеми геології» пам'яті В.П. Макридіна, 27-28 травня 2016, м. Харків, 2016*. С. 57–59.
4. Вергельська Н. В., Пимоненко Л. І., Скопиченко І. М. Гірничо-геологічні особливості прогнозування динамічних явищ у вугільних шахтах. *Гірнична геологія та геоекологія, 2022. №1 (4)*. С. 5- 15.
5. Етапи утворення вугленосних формацій в геологічних структурах України; ІГН НАН України / А.Я. Радзівілл, В.Ф. Шульга, А.В. Іванова, та ін. – К. : LAT&K, 2012. 215 с.
6. Євдошук М.І., Вергельська Н.В., Кришталь А.М. Вплив ендегенних флюїдів на формування газонасиченості вуглепородних масивів. *Матеріали доповідей наук.-практ., конф. Присвяченої 100-річчю від дня народження В.П. Макридіна*. Харків, 2015. С. 110–112.
7. Євдошук М.І., Вергельська Н.В. Показники газової складової як ознаки джерел газонасичення відпрацьованого простору діючих шахт Донбасу. *Збірник наук. праць УкрНДМІ*. 2013. Т. 13, Ч. 2. С. 308–319.
8. Ємець О.В., Лугова І.П., Канін В.О. та ін. Генезис вугільних газів з відкладів карбону території шахти ім. А.Ф. Засядька (Донбас). *Доповіді НАНУ*. 2008. № 4. С. 120 – 124.
9. Іванова А.В. Визначення факторів газонасиченості вугільних пластів Донбасу. *Геол. журнал*. 2001. № 1. С. 54–60.
10. Плужнікова В.Л., Вергельська Н.В. Структурно-тектонічний фактор формування газонасиченості вуглепородних масивів Донбасу. *Мінеральні ресурси України*. 2015. № 4. С. 22–25.
11. Радзівілл А., Вергельська Н., Соболев М. Спосіб визначення залишкової газової складової вуглепородного масиву Донбасу. *Геолог України*. 2013. № 3. С. 155–158.
12. Радзівілл А.Я., Зайцева Л.Б., Вергельська Н.В. До осадово-ендегенного походження гераклітів південного заходу Гірського Криму і перспективи їх використання в прогнозуванні покладів вуглеводнів. *Геолог України*. 2011. № 3 – 4. С. 22–31.

13. Радзівілл А.Я. До прогнозу зміни метаноносності вугленосних відкладів Складчастого Донбасу з глибиною. *Наук. пр. ІФД*. Київ: Знання. 2001. С. 105–110.

REFERENCES

1. Vergelska N. V. 2015. Structural and tectonic features of the formation of gas deposits of gas deposits in the Donbas coal-bearing massifs. *Oil and gas industry of Ukraine*. № 2. С. 26-29.
2. Vergelskaya N., Kichka A., Nazarova I. 2014. Gas potential for intrusion massif in the Krasnoarmeysk Basin depending on tectonic faults (Donbas, Ukraine). *Report to the Bulgarian Geological Society*. year. 75. books 1-3. С. 5-9.
3. Vergelska N.V., Vergelska V.V. 2016. Influence of the hydrodynamic regime on gas content of coal-bearing massifs. *Materials of the scientific and practical Conference "Modern Problems of Geology" in memory of V.P. Makridin, 27-28 May 2016*, Kharkiv. С. 57-59.
4. Vergelska N.V., Pimonenko L.I., Skopychenko I.M. 2022. Mining and geological features of forecasting dynamic phenomena in coal mines. *Mining geology and geoecology*. №1 (4). С. 5- 15.
5. Stages of formation of coal-bearing formations in the geological structures of Ukraine; IGN NAS of Ukraine / A.Y. Radzivil, V.F. Shulga, A.V. Ivanova, et al: LAT&K, 2012. 215 с.
6. Evdoshchuk M.I., Vergelska N.V., Kryshchal A.M. 2015. Influence of endogenous fluids on the formation of gas content of coal-bearing massifs. *Materials of reports of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of V.P. Makridin*. Kharkiv. С. 110-112.
7. Evdoshchuk M.I., Vergelska N.V. 2013. Indicators of the gas component as a sign of sources of gas saturation of the waste space of the operating mines of Donbas. *Collection of of scientific works of UkrNDMI*. VOL. 13. P. 2. С. 308-319.
8. Yemets O.V., Luhova I.P., Kanin V.O. et al. 2008. The genesis of coal gases from the Genesis of coal gases from the Carboniferous deposits of the territory of the A.F. Zasyadko mine (Donbas). *Reports NASU*. № 4. С. 120 - 124.
9. Ivanova A.V. 2001. Determination of factors of gas content of coal seams of Donbas. *Geological journal*. № 1. С. 54-60.
10. Pluzhnikova V.L., Vergelska N.V. 2015. Structural and tectonic factor formation of gas content of coal-bearing massifs of Donbas. *Mineral resources of of Ukraine*. № 4. С. 22-25.
11. Radzivil A., Vergelska N., Sobolev M. 2013. Method for determining the residual gas component of the Donbas coal massif. *Geologist of Ukraine*. № 3. С. 155-158.
12. Radzivil A.Y., Zaitseva L.B., Vergelskaya N.V. 2011. On the sedimentary-endogenous origin of origin of the heraclites of the southwestern Mountainous Crimea and prospects for their use in hydrocarbon deposits forecasting. *Geologist of Ukraine*. № 3 - 4. С. 22-31.
13. Radzivil A.Y. 2001. To the forecast of changes in methanogenicity of coal-bearing deposits of the Folded Donbas with depth. *Scientific Proceedings of the IFD*. Kyiv: Znannya. С. 105-110.

N.V. Vergelska, V.V. Vergelska

**REGIONAL AND LOCAL SYSTEMS OF METHANE GAS
DISTRIBUTION IN THE COAL-BEARING MASSIFS OF THE
DONETS BASIN**

Determining the regional and local peculiarities of methane gas distribution in the coal-bearing massifs of the Donets basin will help solve several important problems at once: creating safe conditions for mining operations, using methane as an alternative fuel, and improving the environmental situation in technologically loaded regions. Local gas-saturated systems of coal-rock massifs combining individual coal seams and their host rocks are primarily the result of accumulation and minimal impact of the following geodynamic processes. Important characteristics of rocks and coal as natural gas reservoirs are porosity and gas permeability. Changes in the initial indicators of coal substance indicate a deep transformation that coal seams undergo under fluid dynamic impact, which is determined by regional and local changes in the coal-bearing massifs of the basin.

Gas content and gas migration in different strata of coal-bearing massifs are related by age and quality characteristics. The qualitative characteristics of the gas mixture of coal deposits are constantly changing along the section and dip of the seam and are particularly distinct in tectonically disturbed areas of coal massifs. All components of the gas mixture of coal seams are controlled by a mosaic of physical parameters of its various parts, both in the undisturbed and in the mined massif. Structural, shielded deposits are often found in relatively undisturbed mine massifs and can be developed as a local gas field. Depending on the condition of the coal and gas reservoir, the gas component can vary widely. During active maximum gas recovery, a large amount of heavy and unsaturated hydrocarbons rise in the workings, which can provoke gas-dynamic phenomena.

On the basis of isotopic and geochemical studies of gas mixtures of coal-rock massifs, the polygenetic composition of natural gas in coal-bearing strata of the Ukrainian coal basins is substantiated and proved.

Key words: gas-methane of coal deposits, Donets basin, gas content of coal-bearing massif.

ДУ «Науковий центр гірничої геології, геоекології та розвитку інфраструктури НАН України», м. Київ, Україна
Наталія Вергельська
доктор геологічних наук

e-mail: vnata09@meta.ua

<https://orcid.org/0000-0002-1440-6082>

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН
України», м. Київ, Україна

Вікторія Вергельська

e-mail: vvika09@meta.ua

<https://orcid.org/0000-0002-6206-710X>

Стаття надійшла: 21.03.2023

УДК 504:574. 661.8:546.3

Н. О. Д'яченко, Т. М. Яловчак, Д. Л. Касьяненко

ОЦІНКА ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ (СОЛОТВИНО)

Проведено аналіз існуючих сучасних екологічних проблем території смт. Солотвино, а саме: інтенсивний розвиток глибинного карсту; зміни гідрогеологічного режиму; порушення цілісності соляного масиву та його руйнувань з відповідними деформаціями надсолевих відкладів та рельєфу поверхні. Проаналізована динаміка провалоутворення земної поверхні в межах смт. Солотвино, динаміка розростання площі водойм. Розроблено методологічний аспект інструментарію оцінки інтегральної еколого-технологічної ситуації в межах території Солотвино. Розраховано показник трансформації в часі та просторі - індекс виявлення відносних змін довкілля стосовно розвитку суфозійно-карстових процесів, який необхідно враховувати при вирішенні питань екологічної небезпеки, та зроблене нормування показників забруднення поверхневих вод у вигляді індексу забруднення (І забр) за рахунок оцінки хімічних складових поверхневих вод досліджуваної території на базі методу нормування фактичних концентрацій моніторингових даних в розрахунку до ГДК. Створено просторово-часові карти рівнів індексів виявлення відносних змін довкілля (трансформації) у вигляді картограм з прив'язкою до місцевості. Запропоновано індекс виявлення відносних змін довкілля, визначати як відношення площі трансформації на декілька періодів часу, використовуючи технології космічного моніторингу (знімки супутників Landsat 7) та з виконанням розрахунків за допомогою програмних засобів Google Earth, ГІС-моделювання та статистичних розрахунків. Встановлено, що за рахунок спорудження ізольованих басейнів, які місцеві жителі наповнюють відкачуваною ропою із провалів над шахтами, посилюється комплекс суттєвих багаторічних незворотних змін у навколишньому середовищі (НС), що призводить до руйнування рівноваги у природно-техногенній системі та до значних негативних наслідків. Забір води в сучасні часи провокує активізацію суфозійно-карстових процесів за рахунок збільшення радіусу депресійної лійки «великого колодязя» та сприяє збільшенню площ водозборів. Зниження рівня стаціонарної поверхні води у озерах над шахтами за умови відкачок створюють умови додаткового припливу вод зони аерації та підземних вод у провали за рахунок встановлення рівня. Утворення на земній поверхні таких форм рельєфу як вирви, провальні воронки та воронки зрушення, що затоплені водою, не виглядають стабільними за період досліджень (2014-2020 рр.). За результатами моделювання індексу трансформації встановлено, що площі перерахованих форм рельєфу зросли майже в 15 разів. Встановлено, що найбільш високий показник І забр. на окремих ділянках, належить хлору (Cl). Тобто розчи-

нення солей продовжується.

Ключові слова: еколого-технологічна ситуація, надзвичайна ситуація, індекс виявлення відносних змін довкілля, Landsat 7, Google Earth, картограма.

Вступ.

В останні роки пріоритети в природоохоронній політиці, що засновані на обліку ГДК та інших норм і нормативних впливів на природу, переглядаються. Причина: невисока ефективність нормативного підходу через можливість суб'єктивного підходу до «норми» та маніпулювання цим поняттям. У зв'язку з цим в основу державної екологічної політики в умовах прогресуючого забруднення поступово закладається концепція екологічного ризику. Чинник екологічного ризику існує на будь-яких виробництвах, незалежно від місць їх розташування. Однак існують регіони, де порівняно з екологічно благополучнішими районами, у багато разів перевищено ймовірність прояву негативних змін в екосистемах, а також ймовірність виснаження природно-ресурсного потенціалу і, як наслідок, великий ризик втрати здоров'я та життя для людини. Ці регіони отримали назва зони підвищеного екологічного ризику.

У межах регіонів підвищеного екологічного ризику виділяють зони:

1) хронічного забруднення довкілля; 2) підвищеної екологічної небезпеки; 3) надзвичайної екологічної ситуації; 4) екологічного лиха.

До зон надзвичайної екологічної ситуації відносять території, на яких внаслідок впливу негативних антропогенних факторів відбуваються стійкі негативні зміни довкілля, що загрожують здоров'ю населення, стану природних екосистем, генофондам рослин та тварин.

В Україні такою зоною на основі державної екологічної експертизи оголошена територія смт. Солотвино, на якій відбулися незворотні зміни навколишнього середовища, що спричинили руйнування природних екосистем.

В Солотвино (південно-східна частина Тячівського району Закарпатської області) розміщене Солотвинське родовище кам'яної солі, яке приурочене до Верхньотисенської (Солотвинської) западини Закарпатського прогину. Родовище є купольною структурою асиметричної форми з кутами падіння на крилах від 55° до 85°: падіння південно-західного крила крутіше, ніж північно-східного, витягнуте у ПнЗ-ПдС напрямку. Це класичний приклад соляного штока, що протикає за рахунок інверсії щільностей та гравітаційного спливання молоді породи крил. Під четвертинними відкладами шток має в плані грушоподібну форму завдовжки 1880 м і завширшки 760 м.

Після повеней у 1995-1996 років та пізніше, починаючи з 2001 року на Солотвинському родовищі кам'яної солі виникла надзвичайна екологічна

ситуація, результатом чого у 2011 році стала втрата діючих шахт, аварійна зупинка роботи державного підприємства солевидобування, виникнення дестабілізованого рельєфу та деградація ландшафту, розвиток величезних провалів по всій території шахт та за межами гірничих відводів, а також припинення функціонування унікального підземного відділення санаторію «Українська алергологічна лікарня», діяльність якого була безпосередньо пов'язана з гірничими виробками соляних шахт.

За 220 років експлуатації Солотвинського родовища кам'яної солі було збудовано 9 рудників. Перші шахти невеликих глибин закладалися у приповерхній частині соляного куполу (біля зони вилуговування). Згодом, глибина шахт збільшилась (глибина шахт №9 та №8 - 300 м). Розвиток соляного карсту призвів до обвалу солезавантажувального бункеру шахти №9 (воронка: діаметр 130 м, глибина більш 100 м) у 2008 р. Станом на 2020 р. провал над шахтою №7 мав діаметр на рівні денної поверхні - 260 м, карстове озеро у ньому мало діаметр на рівні водної поверхні - 185 м. Є озера, які утворилися над старими шахтами №1 та №6.

Оскільки проникаюча у шахти вода розчиняла сіль і перетворювалася в «ропу», останню багато років відкачували із гірничих виробок та скидали в озера Затону. Всі затоплені рудники завжди впливали на стан земної поверхні, оскільки їх існування сприяло порушенню природної ситуації за гідрогеологічними умовами та розвитку суфозійних процесів. Кількість та площа поверхневих провалів з кожним роком збільшувалися. Після затоплення усіх шахт, озера Затону та провалів почали живитися прісними дощовими водами. Встановився природній гідрогеологічний режим поверхневих вод.

На період до 2020 року за даними моніторингу процес провалоутворення продовжувався. Наприклад, провали в районі урочища "Чорний мочар", шахта № 7, 8 збільшувалися за площею та глибиною зі швидкістю 1-2 м/тиждень. Суфозійна порожнеча в районі шахти №7 лише протягом однієї години 6 березня 2015 року збільшилася діаметром на 50-70 метрів. Що найстрашніше – провали ширяться у бік житлового масиву, та з досягненням критичного рівня затоплення шахти № 9 ймовірність виникнення небезпечних та непрогнозованих підземних процесів стає критичною. На період 2021 року за даними моніторингу карстовий (суфозійний) процес у смт. Солотвино потрохи призупинився. Останнім часом нові провали не утворюються, але зовнішні межі старих воронок розширюються. Останні заповнені водою, обсипається порода по бортах. Вчені констатують, що великих провалів не з'являлося з 2015 року, але це не означає, що карстовий або суфозійний процес

припинився. За думкою дослідників, під землею він відбувається, тому нові обвали можуть бути непрогнозовані.

Геодезичний моніторинг земної поверхні, проведений ще у 2007-2010 рр. показав [1], що провал шахти № 8 за 3 роки збільшився від 400 тис.м³ до 730 тис.м³, провал шахти № 7 – з 435 тис.м³ до 1110 тис.м³. Осідання земної поверхні за той же період максимально склали 26 см (під'їзна колія до проммайданчика шахти № 9), мінімально 11 см, тобто у середньому 62 мм/рік. За даними [2] у 2019 р. осідання поверхні у зоні гірничих робіт складало від 21 до 24 мм/рік. Тобто за десять років цей процес сповільнився, але не зупинився (рис. 1). На період 2021 р. зафіксовано збільшення діаметру провалів, які заповнені водою.

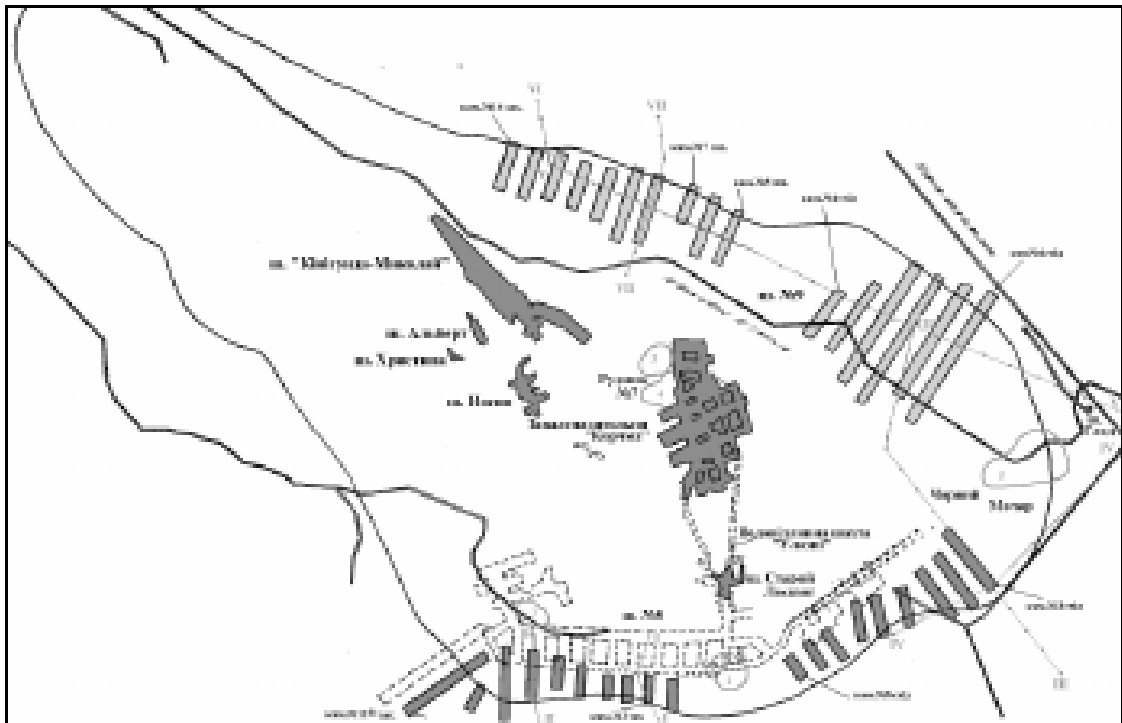


Рис. 1. Схема розташування гірничих виробок м. Солотвино з деталізацією найбільших карстових провалів [3].

Слід зауважити, що найбільші карстові провали Солотвинського солерудника, затоплені солоною та прісною водою у воронці на місці шахти №7 – «25-й вирви». Офіційно – це заборонена зона, доступу сюди немає (Солотвино визнано зоною надзвичайної ситуації державного рівня). Втім, жителі не тільки мандрують цією територією, але довкола провалів із водою створюють купи сміття (несанкціоновані сміттєзвалища). З провалів, що затоплені солоною водою шлангами місцеві підприємці викачують воду до своїх солоних басейнів в будинках, що розташовані навколо провалів,

мешкають місцеві жителі, які не хочуть відселитися. В будинка за рахунок зсувів поверхні тріскаються стіни, завалюються дахи.

В той же час, великою сучасною проблемою карстових утворень на місці затоплених шахт Солотвинського солерудника є міграція солоної води - вона мігрує та потрапляє у річку Тиса. Аналіз екологічного стану р. Тиси за даними дослідників [4]: при злитті Білої та Чорної Тиси категорія якості води добра, а вже біля с. Великий Бичків вона змінюється на категорію 6 (погані). У точках відбору проб біля м. Солотвино категорія якості була 4 (задовільні). На наступному відрізку від Солотвино до Хуста категорія якості води в р. Тисі – 5 (посередні), а ближче до кордону з Угорщиною вона змінюється на 6, що характеризує стан води, як брудну. Тобто, процес засолювання за рахунок дренажу солоної води із затоплених шахт до р. Тиса, поступовий.

Після затоплення усіх шахт, озера Затону та провалів почали живитися прісними дощовими водами. Встановився природній гідрогеологічний режим поверхневих вод. Але така ситуація не влаштувала місцевих підприємців. Вони почали спорудження ізольованих басейнів, які наповнюють відкачуваною ропю (за допомогою встановлених на плавучих платформах насосів) із провалів над шахтами (№7, №9). Ці дії посилюють комплекс суттєвих багаторічних незворотних змін у навколишньому середовищі й призводять до руйнування рівноваги у природно-техногенній системі та до значних негативних наслідків.

Проведені в роботі [5] дослідження свідчать про те, що в сучасні часи забір води з озер та провалів над ГВ шахт провокує активізацію суфозійно-карстових процесів за рахунок збільшення радіусу депресійної лійки «великого колодязя» та сприяє збільшенню площ водозборів. За цих умов, відносно уповільнений рух розсолів підвищеної щільності компенсується збільшенням розміру провідних каналів за рахунок вилуговування солі. Зниження рівня стаціонарної поверхні води у озерах над шахтами за умови відкачок створюють умови додаткового припливу вод зони аерації та підземних вод у провали за рахунок встановлення рівня. Рух води до міста забору провокує додаткову руйнацію та солевинос. Площа та об'єм гірських порід, що залучаються до процесів вилуговування та винесення породного матеріалу за рахунок збільшення радіусу депресійної лійки, з кожним роком збільшуються. Виникають непрогнозовані ні за часом, ні за розташуванням додаткові зони карсту та пустоти. Головна особливість цього процесу полягає в тому, що початок руйнування протікає «знизу вгору», тобто починається у глибині масиву, потім його наслідки ми будемо спостерігати на ЗП у вигляді осідань, збільшення діаметрів «старих» провалів та утворення нових.

Мета. Оцінка інтегральної еколого-технологічної ситуації в межах території м. Солотвино.

Об'єкт досліджень. Об'єктом дослідження виступають природні і техногенні процеси екологічного стану й небезпеки м. Солотвино.

Предмет досліджень. Оцінка рівня трансформації екологічного стану за результатами розрахунку індексу виявлення відносних змін довкілля та аналізу процесів і явищ, які завдають або можуть завдати шкоду людині, суспільству та середовищу їх проживання.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети задіяні наступні методи досліджень: математично-статистичні, описові, графічні, методи 2-D моделювання, нормування та методи розрахунків в програмних засобах Google Earth, MS Excel та Surfer. Для деталізації площ трансформації з різним індексом використана методика «ковзного вікна» - розбивка площі на окремі квадрати та розрахунок індексу трансформації для кожного квадрату, з подальшою інтерполяцією отриманих даних.

Аналіз попередніх досліджень.

Багато фахівців різних наукових напрямків зосереджували свої дослідження на геологічних, гідрогеологічних, геодезичних, екологічних аспектах існуючої проблеми солерудників. Існує багато сучасних проектів вивчення екологічного стану досліджуваної території: проект ImProDiReT [6], проект EU Civil Protection Team Advisory Mission to Ukrain Solotvino Salt Mine Frea [7], Проект REVITAL I [8]. Дослідження були спрямовані на наступні об'єкти: картографування основних ризиків стихійних лих та вдосконалення стратегії їх попередження та усунення; польові експедиційні дослідження для вирішення еколого-геологічних та водно-екологічних проблем некерованого (автореабілітаційного) затоплення шахт; екологічна оцінка можливостей відновлення природних ресурсів у Солотвині з метою запобігання подальшому забрудненню басейну Верхньої Тиси.

Аналіз існуючих сучасних досліджень в рамках вищенаведених проектів показав, що:

1. Найбільша екологічна проблема або потенційний ризик для здоров'я населення та навколишнього середовища пов'язані з провалоутвореннями, карсто-суфозійними процесами.

2. Значний рівень надходження солі з оцінюваної території в річку Тиса, після завершення гірничих робіт у 2010 році не виявлено, тому потрапляння ропи в поверхневі води р. Тиси не є загрозою для закарпатців та для країн Дунайського басейну.

3. Відсутність у дослідженнях кількісних показників трансформації ландшафтів (зміни площі провалів або збільшення площі озер з солоною водою, збільшення площі відвалів відходів, тощо) у просторі та часі не дало якісно оцінити інтегральні екологічні зміни, що трапилися за останні 10-12 років (з моменту затоплення шахт).

4. Згідно з проектами, планувалося вивчити проблеми у селищі з наступним начерком напрямів порятунку та можливим відновленням не лише баз відпочинку та лікарні, а й навіть видобутку солі. Однак практичних дій у Солотвино так і не відбулося.

За умови перерахованих недоліків у сучасних дослідженнях, в роботі запропонований зовсім інший підхід – розрахунок індексу виявлення відносних змін довкілля, тобто трансформації, наприклад, земної поверхні, як основи розрахунку інтегральних екологічних змін.

Виклад результатів дослідження.

Різні методи виявлення змін мають як переваги, так й недоліки. Жоден підхід не може застосовуватися до всіх випадків та не є оптимальним, але на практиці різні методи порівнюються, щоб знайти кращі результати виявлення змін. Сучасні методи необхідні для ефективного використання складних дистанційно відстежуваних даних, які нам доступні. Саме тому, в дослідженнях ми використали метод виявлення відносних змін довкілля за космічними знімками Землі, які допомогли нам визначити місця змін як за часом, так й за площею. Використовуючи технології космічного моніторингу та з виконанням ГІС-моделювання та статистичних розрахунків було проведено аналіз динаміки провалоутворення земної поверхні в межах м. Солотвино, динаміки розростання площі водойм та площі зайнятої під відходи.

Для дослідження в роботі ми використовували знімки супутників Landsat 7, програмне забезпечення Google Earth. Нами відібрано період з 2012 (2014) по 2020 роки, знімки яких мають гарну роздільну здатність. Ці знімки (рис. 2-4) були використані у вигляді основи для розрахунку та виявлення змін довкілля у вигляді індексу відносних змін довкілля (трансформації).

Індекс виявлення відносних змін довкілля за одним показником, визначався як відношення площі на останній період часу до попередньої площі (першого другого або третього знімків).

Результат оконтурювання площ водойм та провалів на період 2014 року (білий контур) та 2020 року (червоний контур) для порівняння та подальших розрахунків представлено на рис. 5.

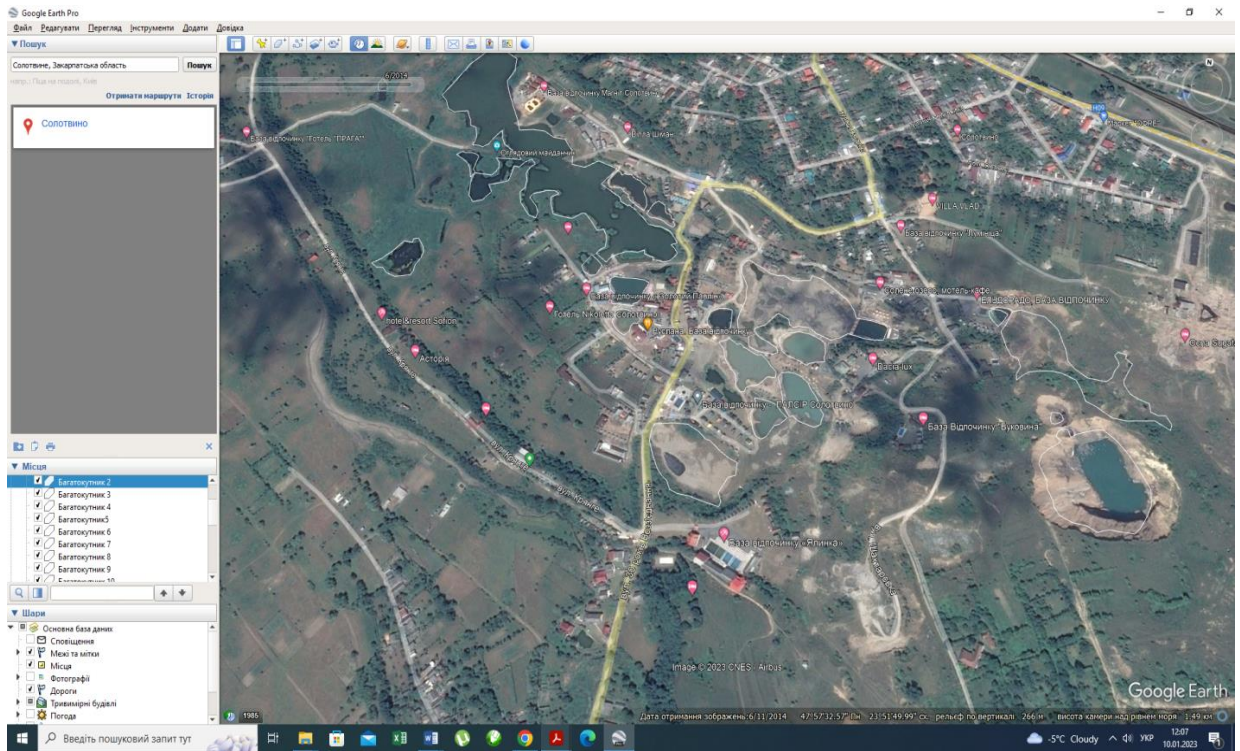


Рис. 2. Космічний знімок 2014 року.

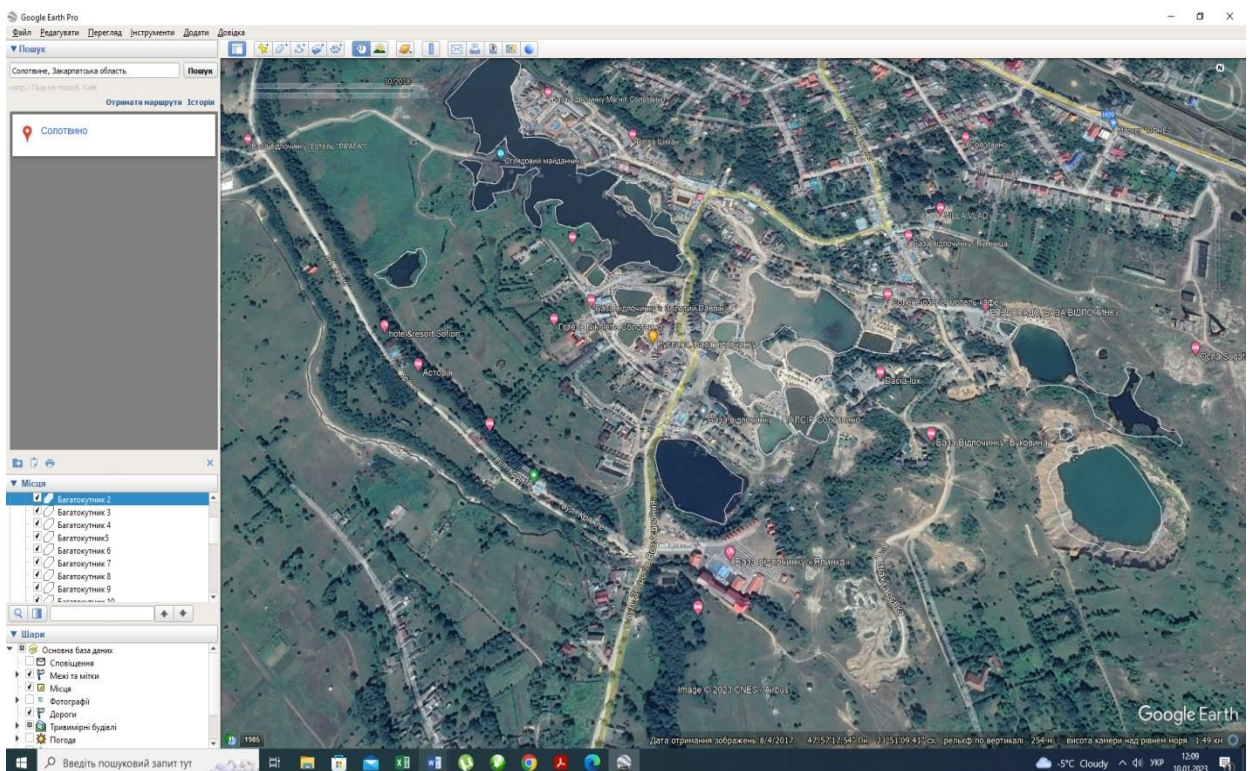


Рис. 3. Космічний знімок 2018 року.

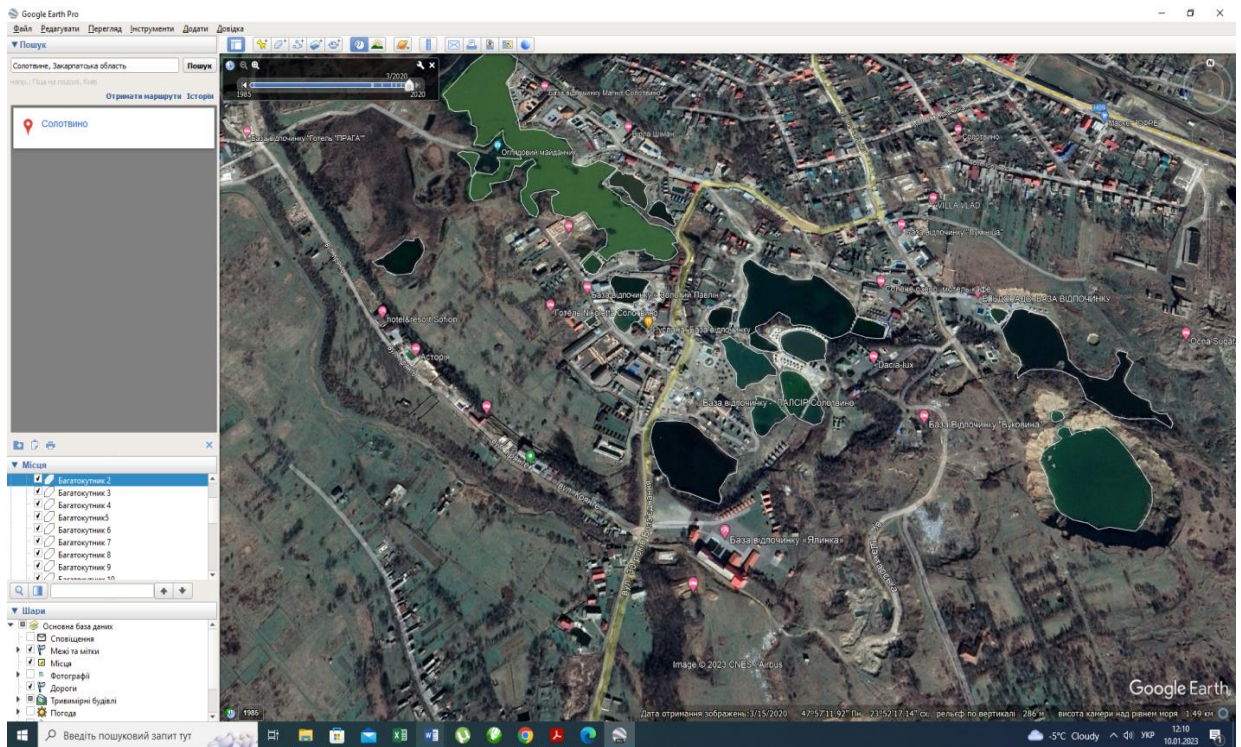


Рис. 4. Космічний знімок 2020 року.

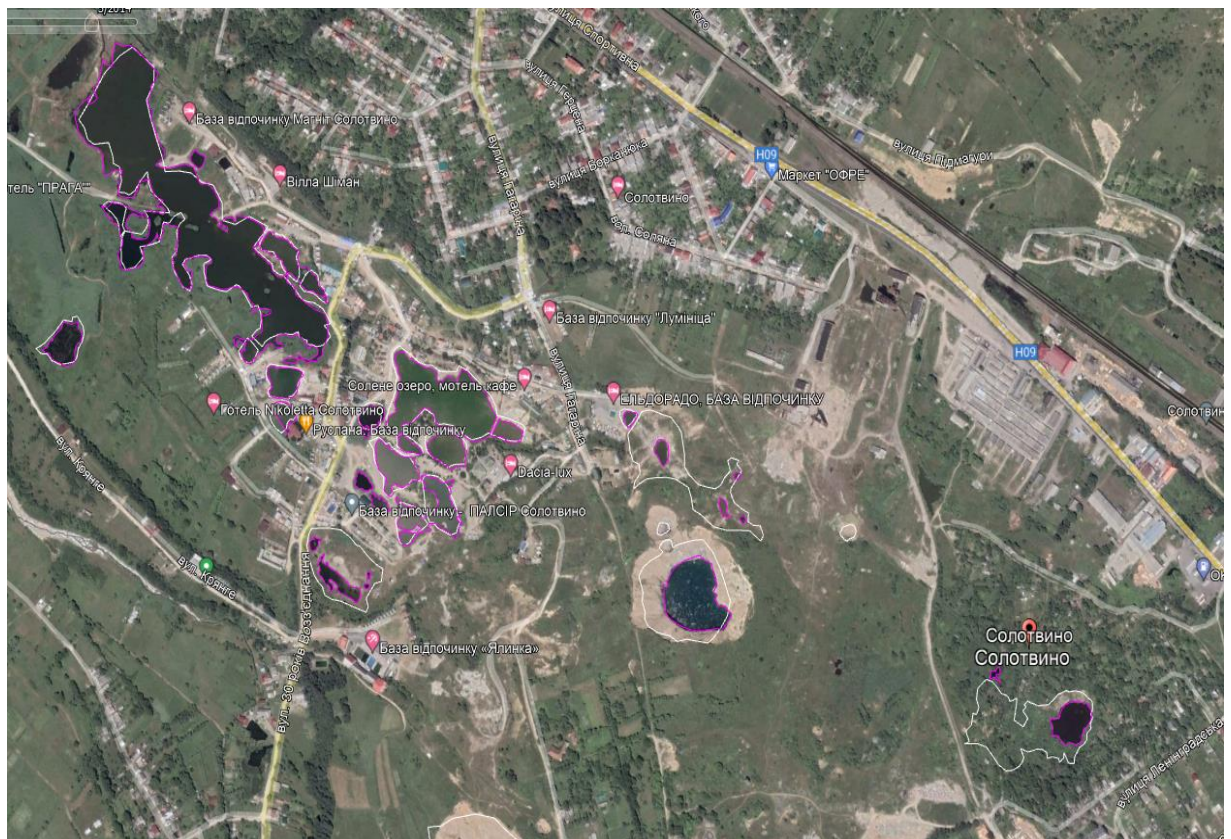


Рис. 5. Результат оконтурювання площ водойм та провалів на період 2014 року (білий контур) та 2020 року (червоний контур)

Індекс виявлення відносних змін довкілля за умови провалуутворення та затоплювання останніх водою, тобто збільшення / або зменшення площі розрахований за формулою:

$$I = \frac{\sum S_1 + S_2 + \dots S_n}{L_{2014}} / \frac{\sum S_1 + S_2 + \dots S_n}{L_{2020}}$$

де: I - індекс виявлення відносних змін довкілля за умови провалуутворення та затоплювання останніх водою, S₁, S₂, S_n – площі окремих утворювань на 2014 рік (L₂₀₁₄), та аналогічне – на 2020 рік (L₂₀₂₀) – табл. 1

Таблиця 1.

Інформативні показники для розрахунку індексу виявлення відносних змін довкілля

Провал/ суфозія № контур	рік, S. м ²		Σ S окремих ділянок	I (Σ S 2020/2014)
	2020, S	2014. S		
1	18645	3265	3461	5,387171
2	20762	196		
3	3406	9761		2,06444
4	4494	1158		
5	4338	785		
6	2421	98,4	1328,4	12,27266
7	11540	343		
8	1535	102		
9	3000	450		
10	1297	1896		
11	2873	290	2303,9	5,008898
12	1415	60,3		
13	900	57,6		
14	62038	642		
15	1013	556		
16	3925	3825		
17	32244	1463		
18	3745	5698		
19	16303	709		
20	610	3039		
21	523	15796		
22	20151	1332		
23	322	284		
24		2990		
25		1247		
26		2628		
27		68668		
28		3932		
29		532		
Всього	217500	131803,3		1,650186

Примітка: жовтим, синім, червоним, зеленим кольорами виділено однотипні площі (їх зміни) на різні роки та розрахунковий показник I в межах цих площ.

Тобто, по окремих ділянках відношення площі 2020 року до площі 2014 року перевищує у 2-12 разів. Середня трансформаційне перетворення у бік деструктивних змін складає 1,65 (показник I). Тобто, провальні площі з роками не тільки змінили свій контур, а й площі.

Для деталізації площ трансформації з різним індексом розіб'ємо всю площу на квадрати і додаємо кожному номер (табл. 2, рис.6, а). Для кожного квадрата розрахуємо індекс трансформації, попередньо розрахувавши площі провалів та соляних озер для 92 квадратів (табл. 2). Оцифрувавши вихідні дані, побудуємо 2-D модель зміни індексу за площею, надавши центру кожного квадрата координати X, Y, де Z- кількісний показник індексу. Застосувавши функцію інтерполяції, отримаємо картограму зміни індексу за площею за період 2014 – 2020 років. Максимальний індекс становить 15, мінімальний 0,1 (рис. 6., б).

Таблиця 2.

Розрахунок індексу трансформації

№ кв-ту	координата X	координата Y	площа, 2020р	площа, 2014р	Ін-кс транс-ції, I
2	359,7149	1912,026	2,7432	3,2067	0,855459
3	531,8415	1918,174	0,1054	0,1282	0,822153
7	357,6659	1748,096	4,7897	5,401	0,886817
6	136,3603	1750,145	0,0531	0,3408	0,15581
8	529,7925	1752,194	0,8191	1,0318	0,793855
12	355,6169	1578,019	1,4913	1,7728	0,841212
13	535,9396	1561,625	4,9044	5,0577	0,96969
14	703,9682	1559,576	1,9201	1,6664	1,152244
16	150,7039	1391,548	0,1074	1	0,1074
17	359,7149	1401,793	0,4169	0,5429	0,767913
18	535,9396	1403,843	1,3811	1,1039	1,25111
19	714,2138	1399,744	4,1633	3,8225	1,089156
20	867,8982	1401,793	1,5069	1,2825	1,174971
21	160,9495	1198,93	1,6994	1,2156	1,397993
24	693,7226	1213,274	1,5254	1,5886	0,960217
25	884,2914	1215,323	1,7094	1,9383	0,881907
26	1048,221	1221,471	1,134	0,6904	1,642526
28	1406,819	1213,274	0,1413	0,0593	2,382799
37	701,9192	1022,705	0,4301	0,1773	2,425832
38	884,2914	1022,705	0,2692	0,3493	0,770684
39	1085,106	1018,607	3,2794	2,4885	1,317822

40	1228,545	1026,803	4,1123	3,84	1,070911
41	1400,671	1032,951	1,6815	1,2828	1,310804
43	1763,367	1035	3,289	0,6245	5,266613
44	1919,1	1037,049	0,6681	1	0,6681
47	878,1438	877,217	0,5847	0,618	0,946117
48	1056,418	873,119	2,255	1,7257	1,306716
52	1736,728	873,119	0,9106	1	0,9106
53	1929,346	883,3646	2,8259	0,2034	13,89331
54	2091,227	875,168	0,4494	0,0434	10,35484
55	2292,042	885,4136	0,3278	1	0,3278
58	863,8002	688,6977	2,4662	0,9682	2,547201
59	1046,172	686,6482	2,1132	0,2989	7,069923
63	1732,63	686,6482	2,6054	0,4889	5,329106
64	1921,15	700,9923	4,2826	2,7943	1,53262
69	1738,778	498,1289	0,7411	0,0613	12,08972
70	1904,757	500,1779	1,5315	0,8852	1,730117
74	2613,754	518,6201	0,1902	0,1597	1,190983
79	2640,393	342,3949	2,4642	1	2,4642
80	2789,979	340,3459	4,8145	0,5155	9,339476
81	2982,597	346,4935	1,8222	1,0446	1,7444
84	2615,804	155,9247	0,0332	1	0,0332
85	2818,667	157,9737	0,2393	1	0,2393
86	2964,155	164,1213	0,0235	1	0,0235

Наступний етап досліджень - розрахунок нормованих показників хімічного складу поверхневих вод (індекс забруднення води). Використання цільових показників якості води викликане необхідністю його визначення у водних об'єктах, які в результаті техногенної діяльності зазнали фізичних змін, що призвели до суттєвої зміни їх основних характеристик (гідрологічних, морфометричних, гідрохімічних та ін.), та відновлення вихідного природного стану яких, зазвичай, неможливе. Системи оцінки якості води за великою кількістю окремих характеристик її складу та властивостей дуже громіздкі. Виконання робіт з усього річкового басейну тягне у себе створення великого масиву даних, важко піддається подальшій статистичній обробці.

Європейська Комісія та Координаційний центр реагування на надзвичайні ситуації (ERCC) створили вимірювання та відбір проб у важкодоступних місцях навколо Солотвино та поблизу р. Тиси для проведення ізотопного та хімічного аналізів. У дослідженні використані дані, які були опубліковані з дозволу Британської геологічної служби [9].

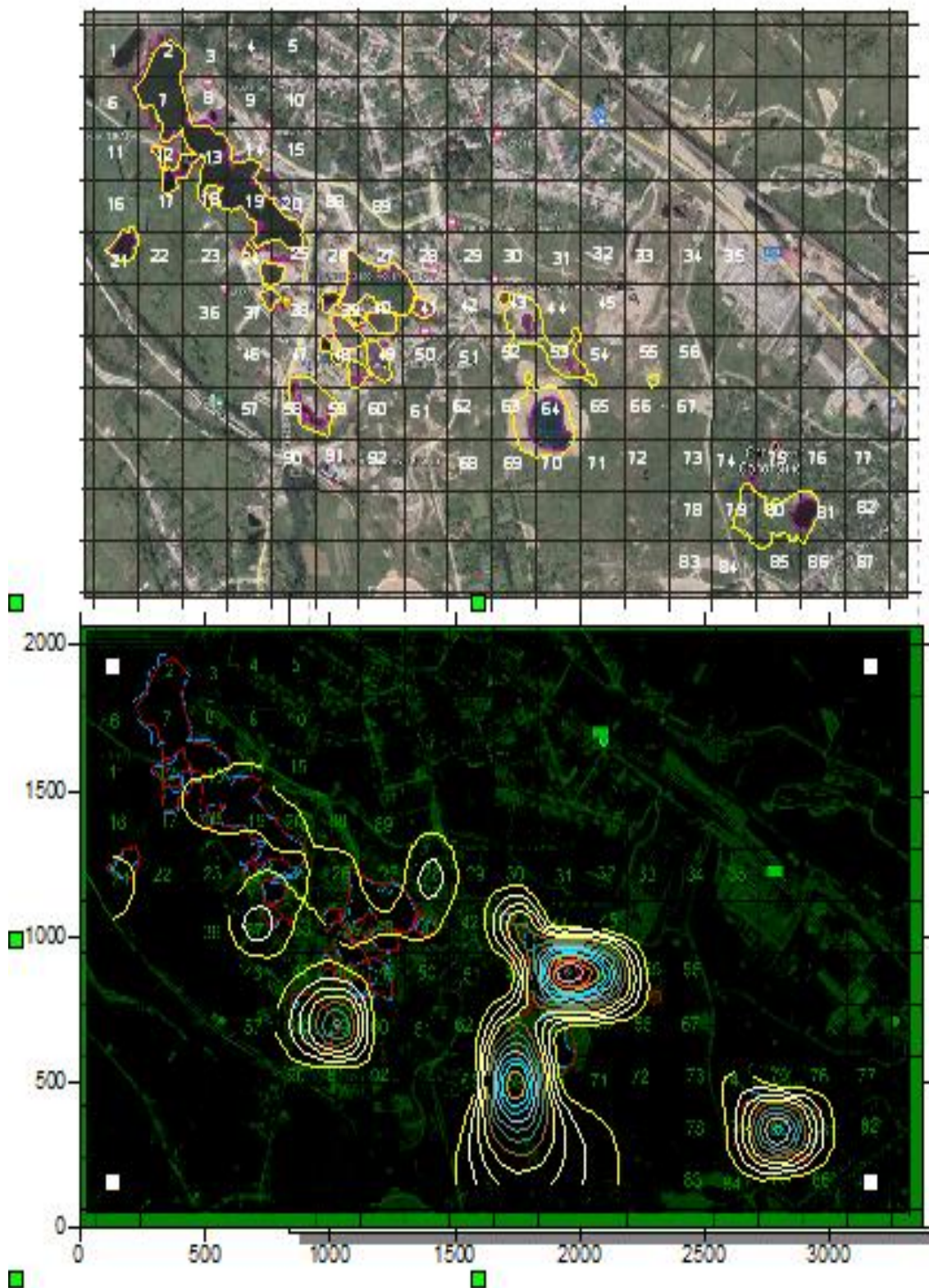


Рис. 6. Результати деталізації площ трансформації (а) та моделювання індексу трансформації за площею (б).

На рисунку 7 додана кольорова шкала змін I від 1 до 15.

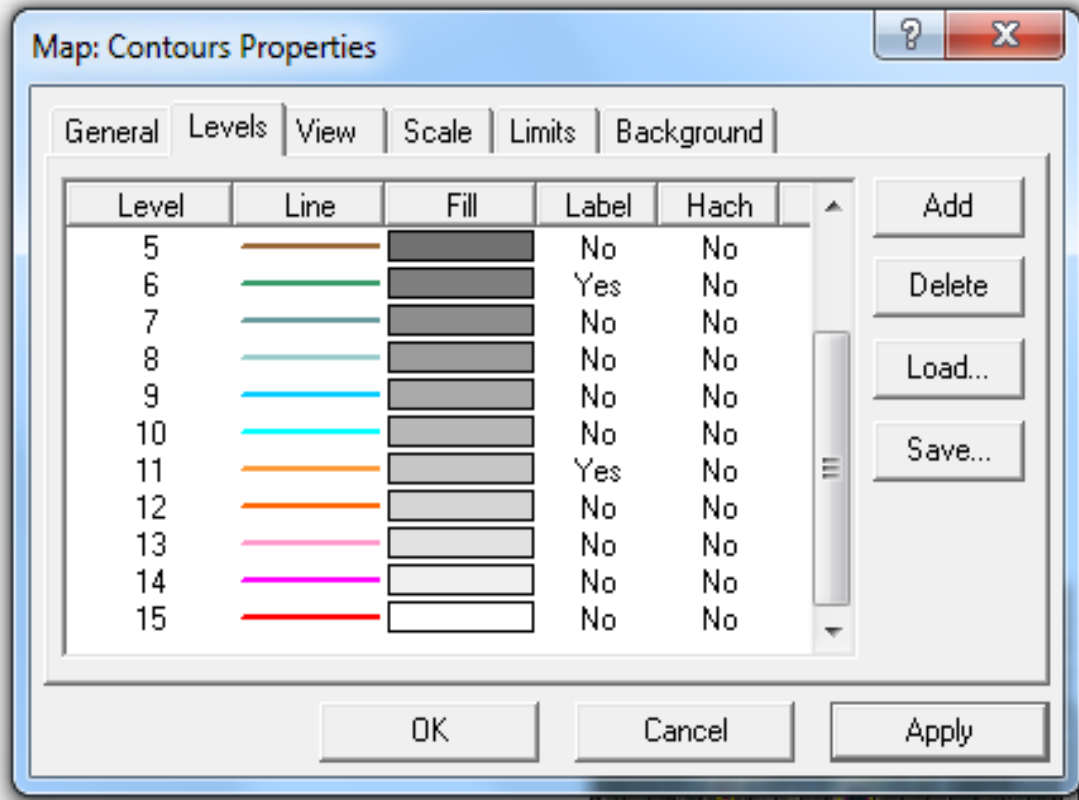


Рис. 7. Кольорова шкала змін І від 1 до 15

З ціллю виявлення хімічних аномалій за рахунок створення просторових 2 D моделей методом інтерполяції, зроблена координатна прив'язка точок відбору проб до місцевості (табл. 3) та використовуючи нормативні документи характеристики якості води (ГДК), перераховані все геохімічні показники оперативного моніторингу в нормовані показники І забр (індекс забруднення) за формулою:

$$I_{\text{забр}} = C_{\text{факт}} / \text{ГДК}$$

де $C_{\text{факт}}$ – фактична концентрація речовини

ГДК - гранично допустима концентрація речовини.

Нормовані характеристики забруднення вод зазвичай називають індексом забруднення, його розрахунки наведено у таблиці 3.

Таблиця 3.

Нормовані характеристики забруднення

Rp	широта, м	довгота, м	I забр Cl	Cl, мг/л	I забр SO ₄	SO ₄ , мг/л	I забр Mn	Mn, мг/л	I забр NO ₂	NO ₂ , мг/л
1	47,97024	23,8763	0,026286	9,2	0,008	4,41	0,62	0,31	0,043	0,13
2	47,97384	23,86119	0,029143	10,2	0,017	8,87	0,02	0,01	0,01	0,03
5	47,95131	23,86049	0,095714	33,5	0,102	51,1	0,02	0,01	0,01	0,03

7	47,94422	23,8443	0,008486	2,97	0,038	19,2	0,02	0,01	0,01	0,03
9	47,95622	23,8776	0,591429	207	0,159	79,8	4,32	2,16	0,01	0,03
10	47,94392	23,88144	0,021	7,35	0,0001	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03
11	47,94291	23,88	0,016229	5,68	0,0001	0,03	2,66	1,33	0,01	0,03
12	47,96202	23,85678	0,096	33,6	0,0001	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03
13	47,95466	23,87884	0,928571	325	0,1524	76,2	0,02	0,01	0,2266	0,68
14	47,95451	23,87856	0,922857	323	0,154	77	0,02	0,01	0,2867	0,86
15	47,95451	23,87856	0,928571	325	0,304	152	7,02	3,51	2,26	6,78
16	47,95451	23,87856	1,271429	445	0,324	162	11,66	5,83	0,0667	0,2
19	47,95575	23,8695	537,1429	188000	4,86	2430	16,2	8,1	1	3
21	47,95575	23,8695	530,8571	185800	4,56	2280	16,8	8,4	1	3
22	47,95788	23,8698	72,17143	25260	0,874	437	9,6	4,8	1	3
23	47,9602	23,87362	0,191143	66,9	0,0556	27,8	0,04	0,02	0,01	0,03
24	47,9602	23,87362	0,187429	65,6	0,0554	27,7	0,02	0,01	0,01	0,03
25	47,9602	23,87362	1,551429	543	0,0704	35,2	0,02	0,01	0,01	0,03
26	47,95093	23,87051	218,8857	76610	2,1	1050	13,2	6,6	1	3
27	47,95093	23,87051	67,57143	23650	0,6	300	10,4	5,2	1	3
29	47,98646	23,67225	0,036286	12,7	0,0462	23,1	0,02	0,01	0,01	0,03
30	47,966	23,83589	0,038571	13,5	0,0446	22,3	0,02	0,01	0,01	0,03
31	47,96665	23,83714	10,53429	3687	0,1312	65,6	0,02	0,01	0,1167	0,35
37	47,97079	23,85831	0,000143	0,05	0,0024	1,19	0,02	0,01	0,01	0,03
38	47,97079	23,85831	0,000143	0,05	0,0002	0,09	0,02	0,01	0,0133	0,04
ГДК, мг/л				350		500		0,5		3

Розуміємо, що підняття глибоких, забруднених сіллю підземних вод може відбуватися через тріщини, розломи або розриви в корінних відкладах, але під час паводків та підняття рівня ґрунтових вод, може відбуватися розбавлення, яке ймовірно замаскує будь-який вплив.

Оцінка просторової забрудненості з використанням **I забр** була виконана в ПЗ Surfer для Cl (рис. 8), SO₄ (рис. 9), Mn (рис. 10), NO₂ (рис. 11) методом інтерполяції та у вигляді картограм індексу забруднення. Найбільш високий показник **I забр** на окремих ділянках належить Cl (до 537), далі - Mn (до 16,8), SO₄(до 4,86), NO₂(до 2,26).

Найбільш високий показник **I забр** на окремих ділянках належить Cl (до 537). Ця аномалія приурочена до ділянок шахт № 7, 9, 8. Тобто розчинення солей подовжується, вода, що заповнює кратери провалів за складом – це ропа з великою кількістю солі. Але за межами цих озер, засолення практично відсутнє. Тобто, надходження сольових розчинів у р. Тиса не спостерігається.

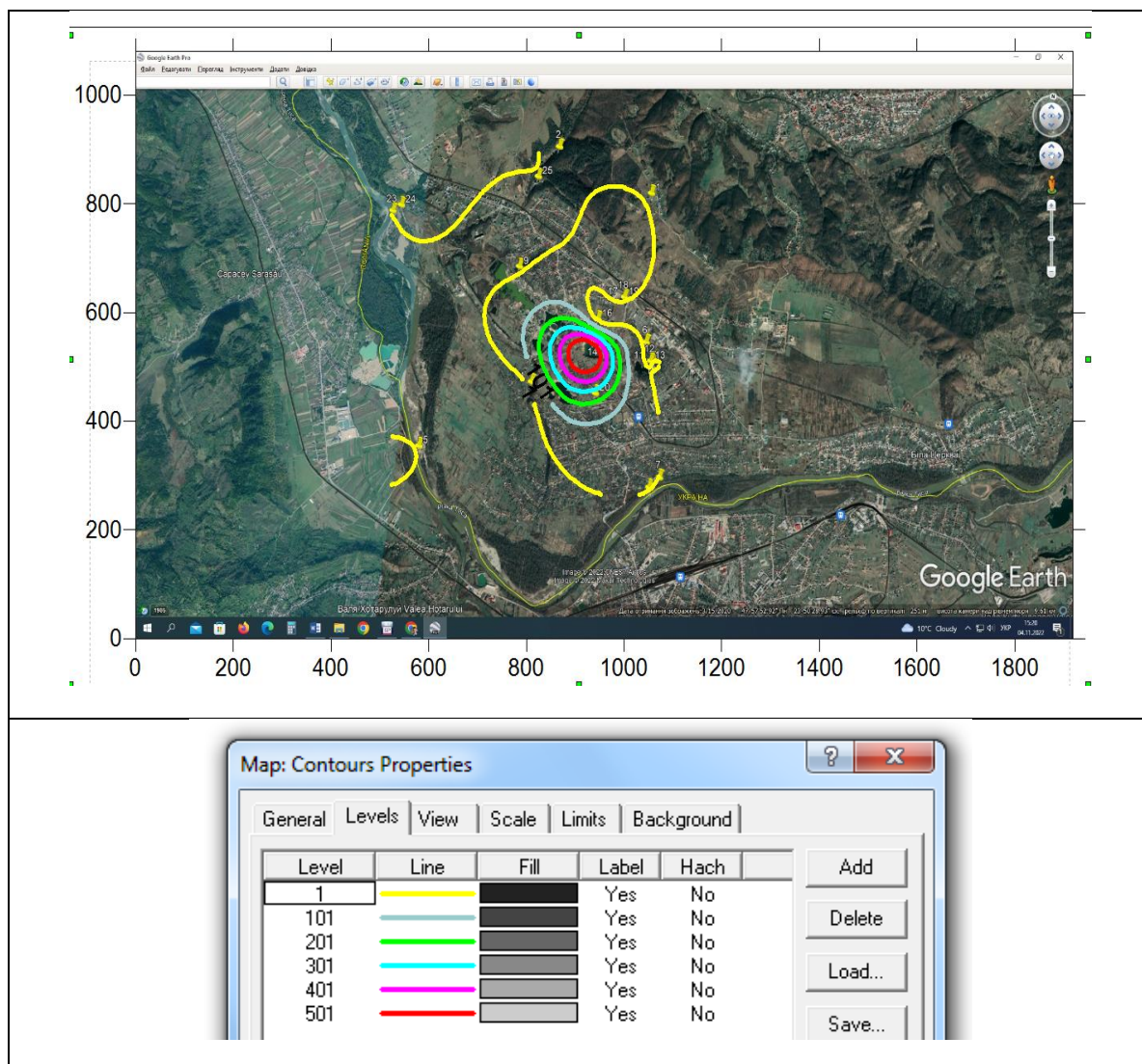


Рис. 8. Картограма просторової забрудненості **I забр Cl1** (а) та шкала умовних позначень (б).

Інший показник, який має перевищення на окремих ділянках – це **Mn, I забр** по ньому досягає до 16,8. Цей ореол також розповсюджений на теренах шахт 7, 9, 8, з максимальним значенням в районі шахти № 7. Наявність марганцю у воді обумовлено розчинністю утворених ним сполук. При рН 4-7,5 у воді домінують іони Mn^{2+} . Кам'яна сіль містить мікроелементи – залізо, марганець, хром.

Показник **I забр**, який має перевищення на окремих ділянках до 4,86 – це SO_4 . Допустима кількість сульфатів у воді повинна перебувати в межах 100-150 мг/л і не повинна перевищувати 500 мг/л. Найпоширенішими солями, які можна зустріти у воді, є сульфати натрію, калію, магнію. Локальна аномалія приурочена до території навколо соляного озера шахти № 7.

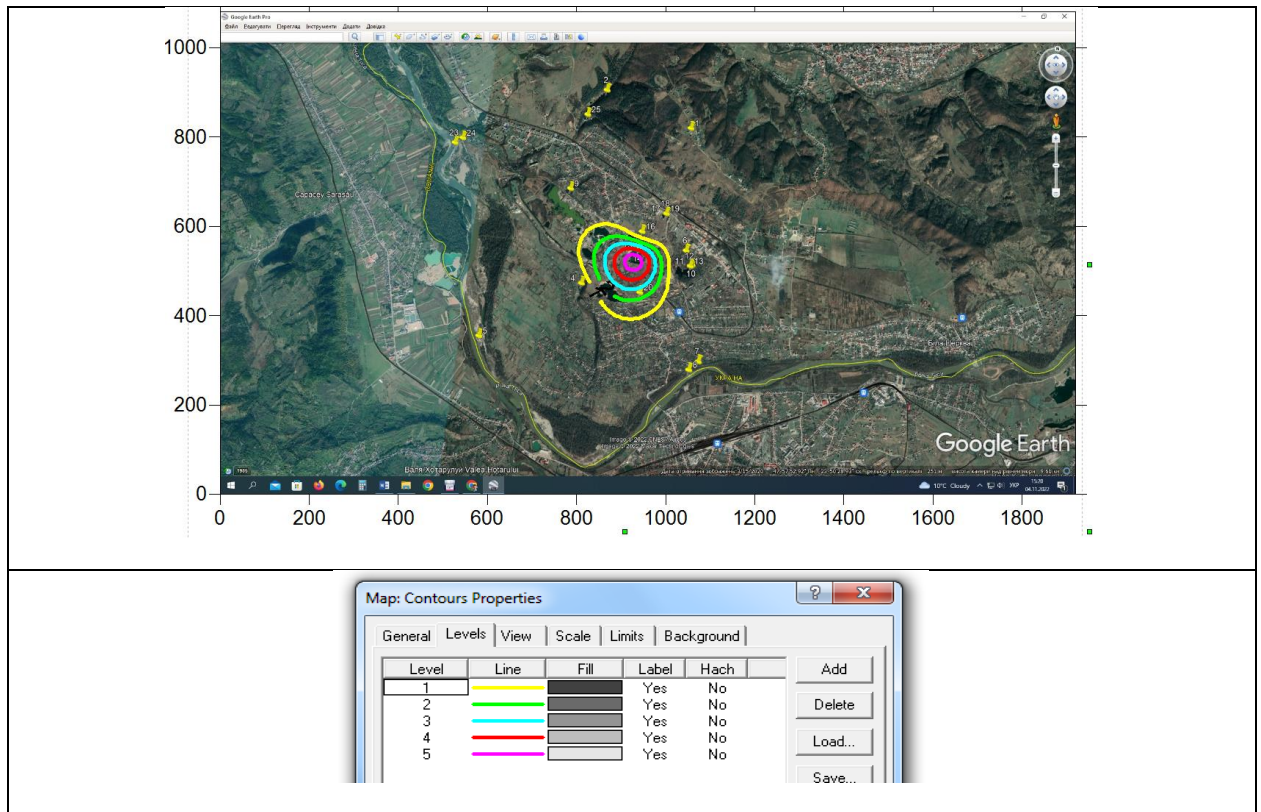


Рис. 9. Картограма просторової забрудненості I забр SO₄ (а) та шкала умовних позначень (б)

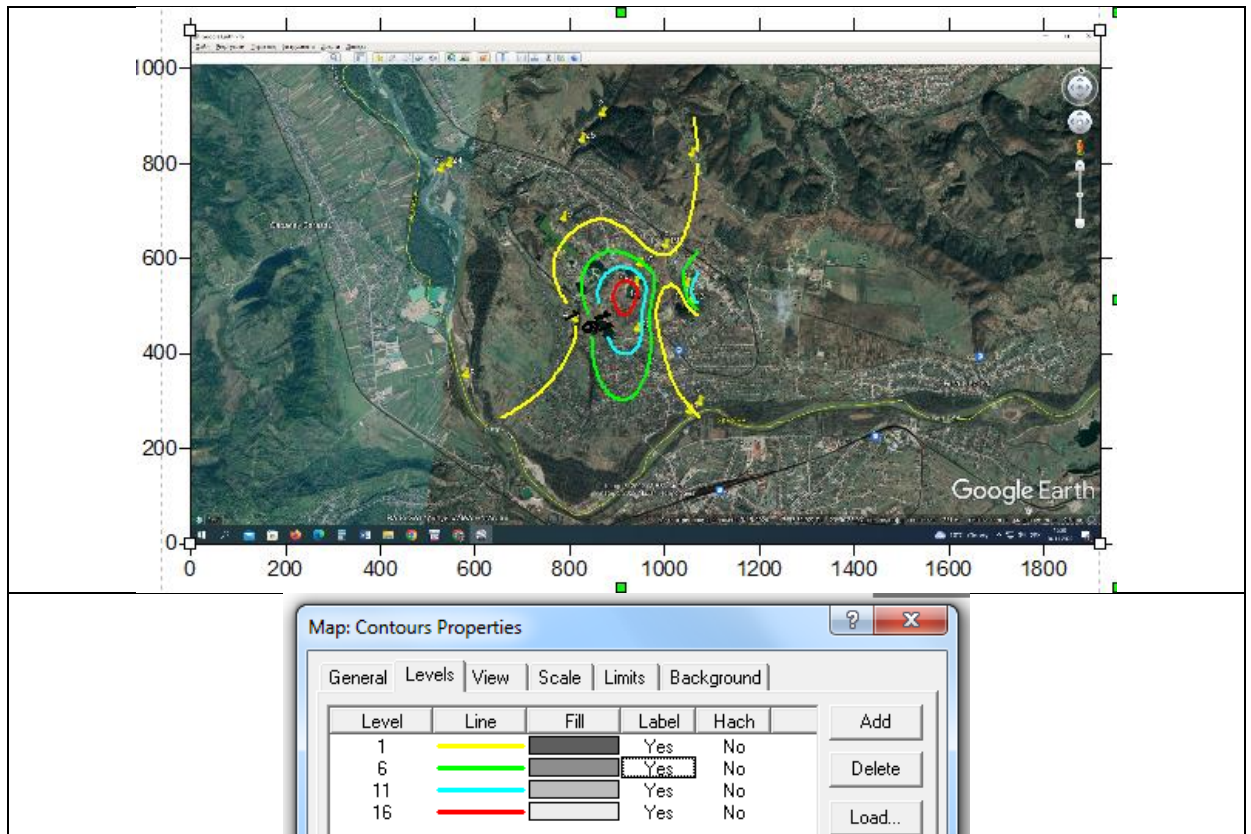


Рис. 10. Картограма просторової забрудненості I забр Mn (а) та шкала умовних позначень (б)

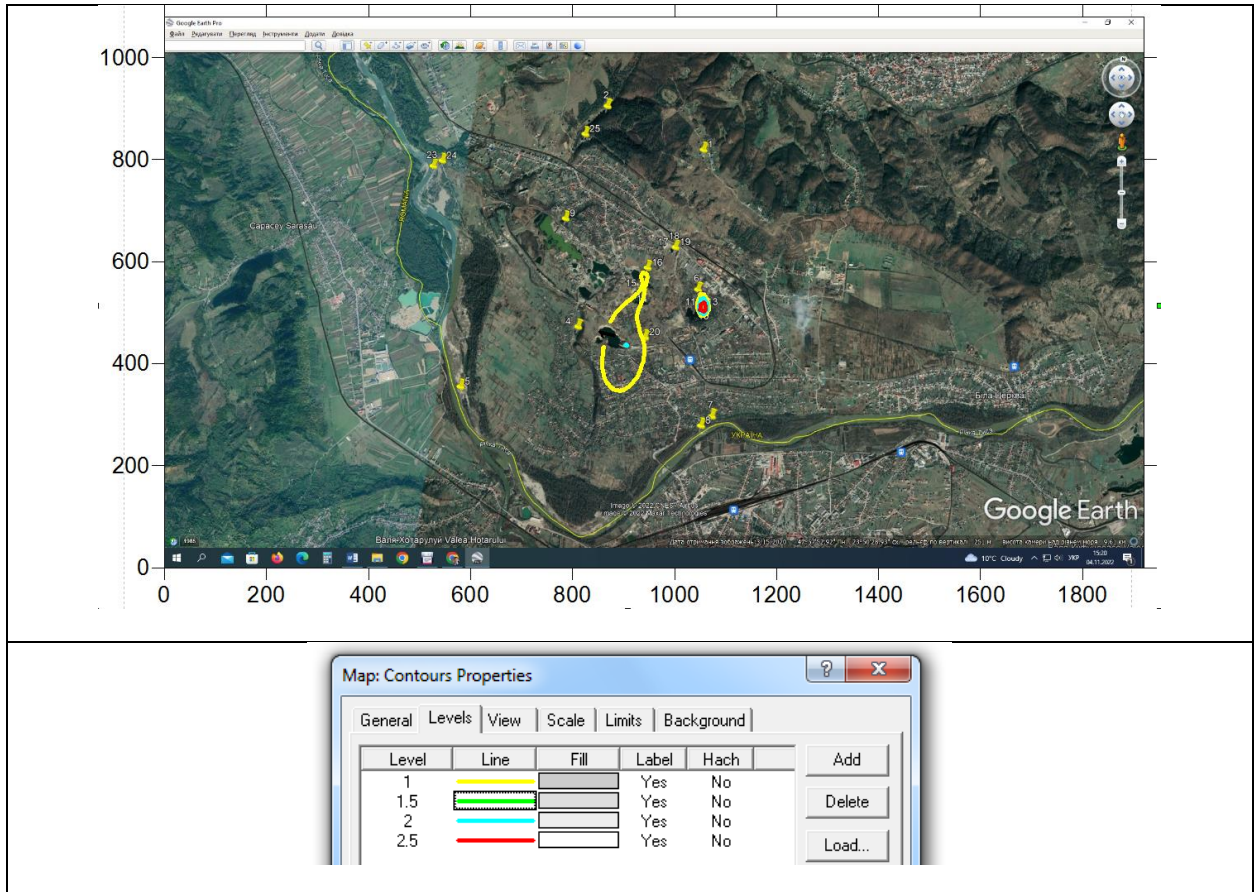


Рис. 11. Картограма просторової забрудненості I забр NO_2 та шкала умовних позначень (б)

Останній проаналізований показник – це I забр NO_2 , він має максимальне значення 2,26. Нітрит (NO_2) – високотоксична забруднювальна речовина. У ґрунті, поверхневих і ґрунтових водах нітрити та нітрати є завжди. Це обумовлено як природними процесами кругообігу азоту в природі, так і техногенним впливом. Максимальні показники тяжіють до території навколо Чорного Мочару.

Що стосується нітритів, вони завжди говорять про мікробіологічне забруднення води господарсько-побутовими стічними водами, стоками сільськогосподарських підприємств. За цим треба вести постійний моніторинг, мабуть саме туди зливаються господарсько-побутові стічні води.

Підсумовуючи, робимо висновок, що ризик забруднення річки Тиса солями від покинутих Солотвинських шахт на цей час вважається низьким. Але перевищення концентрації багатьох хімічних елементів у воді призводить до ризиків: ризик зниження імунітету, ризик розвитку хвороб крові, ризик розвитку хвороб шкіри та випадання волосся.

Саме тому, догляд за хімічним складом поверхневих вод потрібний, особливо при встановленні будь-яких нових моніторингових та дослідницьких свердловин або відкачуванні ропи з солених озер, що може призвести до небажаних наслідків з можливістю формування нових гідрологічних вікон і потенційних шляхів течії, яка веде до контакту прісної води зі соляним куполом та провокує наступні процеси розчинення.

Висновки.

Проведений у роботі ефективний аналіз показав, що:

1. За рахунок спорудження ізольованих басейнів, які місцеві жителі наповнюють відкачуваною ропою (за допомогою встановлених на плавучих платформах насосів) із провалів над шахтами (№7, №9), посилюється комплекс суттєвих багаторічних незворотних змін у НС, що призводить до руйнування рівноваги у природно-техногенній системі та до значних негативних наслідків.

2. Утворення на земній поверхні таких форм рельєфу як вирви, провальні воронки та воронки зрушення, що затоплені водою не виглядають стабільними за період досліджень (2014-2020 рр.). Згідно отриманих нами розрахунків та результатів моделювання індексу трансформації за площею на окремих ділянках (шахти № 7, 8, № 9) площі перерахованих форм рельєфу зросли майже в 15 разів.

3. Найбільш високий показник І забр на окремих ділянках належить СІ (до 537). Ця аномалія приурочена до ділянок шахт № 7, 9, 8. Тобто розчинення солей продовжується. Але за межами цих озер, засолення практично відсутнє. Тобто, надходження селевого розчину у р. Тиса поки не спостерігається.

4. Результати вказують на необхідність постійного моніторингу за денною поверхнею в межах зон максимальних показників І трансформації. Це може бути виконано, як геодезичними методами (геодезичне нівелювання), так й за допомогою різночасових мультиспектральних космічних знімків Землі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анпілова Є.С., Трофимчук О. М., Яковлев Є.О. Використання даних ДЗЗ та ГІС для оцінки впливу затоплення шахт Солотвино на водні ресурси. Збірник наукових праць «Проблеми екологічної безпеки», Кременчук, 2019. С. 135-136.
2. Артеменко П.Г., Педченко С.В., Ягмур А.Б. Оцінка впливу ліквідації шахти № 8 Солотвинського родовища кам'яної соли методом затоплення. Наукові праці Укр НДМІ НАН України, № 9 (Ч I). – 2011. – С. 89 – 102.

3. Босевська Л. П., Хрущов Д. П. Надзвичайна екологічна ситуація в Солотвино: геологічні причини і стратегія розв'язання проблеми. Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Геологія. Географія. - 2011. - Т. 19, вип. 13. - С. 80-90. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdugg_2011_19_13_19
4. Міщенко Л.В. Геоінформаційне моделювання систем екологічної безпеки на прикладі територій Закарпаття. Екологічна безпека, 2012, № 2 (14). - С. 19-24. URL: [http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2\(14\)/Pdf/19.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2(14)/Pdf/19.pdf)
5. Risk Assessment Report: Solotvyno Salt Mine Area. Union Civil Protection Mechanism. 2016. 7 с. URL: https://waterquality.danube-region.eu/wp-content/uploads/sites/13/sites/13/2019/09/Solotvyno_Scoping-Mission_Sept-2017_Executive-Summary-Final_New-1.pdf
6. Солотвинська селищна рада Тячівського району, Закарпатської області. [Транскордонні проекти](#). Список транскордонних проектів Солотвинської селищної ради <https://solotvino-rada.gov.ua/news/1605619886/>
7. Stoeckla L., Banksb V., Shekhunova S., Yakovlevc Y. The hydrogeological situation after salt-mine collapses at Solotvyno, Ukraine. Journal of Hydrology: Regional Studies V 30 August 2020, 100701
8. Shehunova S. B., Alekseenkova M. V., Stadnychenko S. M. (2019). Monitoring of hazardous geological processes as a tool for minimizing risks in post-geological areas in Solotvyno (Zakarpatskaya Oblast, Ukraine). *Monitoring 2019. European Association of Geoscientists & Engineers*. No. 1. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214–4609.201901734.
9. Яловчак Т.М., Д'яченко Н.О, Нікітіна А.О. Зміни водообміну та активізація провальньо-карстових процесів (м. Солотвино) Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції молодих учених “Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку землеробства 08 грудня 2022 року, м. Київ, 2022. С. 56-57. DOI: <https://doi.org/10.31073/mi03>

REFERENCES

1. Anpilova E.S., Trofymchuk O.M., Yakovlev E.O. 2019. Using DZZ and GIS data to assess the impact of the flooding of the Solotvyno mines on water resources. *Collection of scientific works "Problems of ecological security"*, Kremenchuk, P. 135-136.
2. Artemenko P.G., Pedchenko S.V., Yagmur A.B. 2011. Assessment of the impact of the liquidation of mine No. 8 of the Solotvyno rock salt deposit by flooding. *Scientific works of the UkrNDMI of the National Academy of Sciences of Ukraine*, No. 9 (Part I). P. 89 – 102. URI:
3. Bosevska L. P., Khrushchev D. P. 2011. Emergency ecological situation in Solotvyno: geological causes and strategy for solving the problem. *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series: Geology. Geography*. Volume 19, issue 13. P. 80-90. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdugg_2011_19_13_19
4. Mishchenko L.V. 2012. Geoinformational modeling of environmental security systems on the example of the territories of Transcarpathia. *Environmental safety*, No. 2 (14). P. 19-24. URL: [http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2\(14\)/Pdf/19.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2012_2(14)/Pdf/19.pdf)
5. Risk Assessment Report: Solotvyno Salt Mine Area. Union Civil Protection Mechanism. 2016. 7 p. URL: https://waterquality.danube-region.eu/wp-content/uploads/sites/13/sites/13/2019/09/Solotvyno_Scoping-Mission_Sept-2017_Executive-Summary-Final_New-1.pdf

6. Solotvyn settlement council of Tyachiv district, Zakarpattia region. *Cross-border projects*. List of cross-border projects of the Solotvyn settlement council. URL: <https://solotvino-rada.gov.ua/news/1605619886/>
7. Stoeckla L., Banksb V., Shekhunova S., Yakovlevc Y. 2020. The hydrogeological situation after salt-mine collapses at Solotvyno, Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. V 30, 100701
8. Shehunova S. B., Alekseenkova M. V., Stadnychenko S. M. 2019.. Monitoring of hazardous geological processes as a tool for minimizing risks in post-geological areas in Solotvino (Zakarpatskaya Oblast, Ukraine). *Monitoring 2019. European Association of Geoscientists & Engineers*. No. 1. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214–4609.201901734.
9. Yalovchak T.M., Diachenko N.O, Nikitina A.O. (2022). Changes in water exchange and activation of sinkhole-karst processes (Solotvyno). *Materials of the 5th international scientific and practical conference of young scientists "The role of reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture*. Kyiv. P. 56-57. DOI: <https://doi.org/10.31073/mi03>

N. O. Diachenko, T. N. Yalovchak, D. L. Kasyanenko

ASSESSMENT OF THE INTEGRATED ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL SITUATION (SOLOTVYNO)

An analysis of existing modern ecological problems of the territory of the village was carried Solotvyno, namely: intensive development of deep karst; changes in the hydrogeological regime; violation of the integrity of the salt massif and its destruction with corresponding deformations of suprasalt deposits and surface relief. Analyzed the dynamics of depression formation on the earth's surface within the township. Solotvyno, the dynamics of the expansion of the reservoir area. The methodological aspect of the assessment toolkit of the integrated ecological and technological situation within the Solotvyno territory has been developed. The indicator of transformation in time and space, the index of detection of relative changes in the environment in relation to the development of suffusion-karst processes, which must be taken into account when solving issues of ecological danger, and the normalization of indicators of surface water pollution in the form of a pollution index (I zabr) was made due to the assessment of the chemical components of surface waters of the studied area based on the method of normalization of actual concentrations of monitoring data in the calculation to the MPC. Spatio-temporal maps of the levels of indices of detection of relative changes in the environment (transformation) have been created in the form of cartograms with reference to the area. The index of detection of relative changes in the environment is proposed to be defined as the ratio of the area of transformation for several periods of time, using space monitoring technologies (Landsat 7 satellite images) and performing calculations with the help of Google Earth software, GIS modeling and statistical calculations. It has been established that due to the construction of isolated basins, which local residents fill with oil pumped from the

pits above the mines, the complex of significant long-term irreversible changes in the environment increases, which leads to the destruction of the balance in the natural and man-made system and to significant negative consequences. Water withdrawal in modern times provokes the activation of suffusion-karst processes due to the increase in the radius of the depression funnel of the "big well" and contributes to the increase in the area of water catchments. A decrease in the level of the stationary water surface in the lakes above the mines under the condition of pumping creates the conditions for an additional inflow of water from the aeration zone and groundwater into the sinkholes due to the establishment of the level. The formation on the earth's surface of such forms of relief as gouges, sinkholes and displacement funnels flooded with water do not look stable during the period of research (2014-2020). According to the results of modeling the transformation index, it was established that the areas of the listed landforms have increased almost 15 times. It was established that the highest indicator of the first in some areas belongs to chlorine (Cl). That is, the dissolution of salts is prolonged.

Key words: ecological and technological situation, emergency situation, index of detection of relative environmental changes, Landsat 7, Google Earth, cartogram.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ,
Україна

Наталія Д'яченко,

кандидат геологічних наук, доцент,

e-mail: natalidyachenko1969@gmail.com,

<https://orcid/0000-0002-4852-0203>

Т. Яловчак

магістр

Д. Касьяненко

аспірант

Стаття надійшла: 15.02.2023

НОВІ НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ / NEW RESEARCH AREAS

UDK 556(477)

Y. V. Demchuk, H. A. Liventseva

GEOHERMAL OVERVIEW OF UKRAINE

This article is the summary of a report that was presented in March 2023 during the Ukrainian-Spanish cycle of conferences as of 'Global vision of Ukrainian Geology the 'Future of Geothermal Energy in Ukraine', organized by GEO3BCN-CSIC. The geothermal potential of Ukraine can play a key role in accelerating the transition to clean energy. Therefore, this article provides a detailed characteristics of the main types of geothermal sources in Ukraine, such as shallow geothermal, thermal waters and deep geothermal which can be apply for direct use, district heating as well as electricity generation. Analysis of the distribution of deep heat flux values on the territory of Ukraine, which varies from 40 to over 120 mW/m², allows to identify three main prospective zones, confined to the main oil and gas-bearing regions such as Transcarpathian (west), Steppe Crimea (south) and Dnipro-Donetsk basin (east). The total geothermal potential of Ukraine is estimated at 438*106 kWh p/ year. Annual technically achievable energy potential of geothermal energy in Ukraine is equivalent to 8,4 Mtoe, and its use can save around 10 bcm of natural gas. Currently, the development of geothermal energy is at an initial stage in Ukraine. Only low-temperature thermal waters are used mainly for recreational purposes in Transcarpathia and for heat supply in the Crimea. Therefore, it should be paid valuable attention to additional geothermal research and tools to stimulate the development of geothermal energy in Ukraine. The transition to clean and affordable energy sources will allow to build a new powerful economy, overcome socio-economic challenges, solve the problem of climate change, and also increase the safety and well-being of Ukrainians.

Key words: Geothermal energy, geothermal potential, geothermal resources, geothermal districts.

Introduction.

Geothermal energy in the world. Geothermal energy is the heat produced deep in the Earth's core. The geothermal energy is a renewable type of energy with the following advantages like baseload, domestic, small footprint and clean resources.

Wells, ranging from a few feet to several miles deep, can be drilled into underground reservoirs to tap steam and very hot water that can be brought to the

surface for use in a variety of applications, including direct use, heating and cooling, electricity generation.

Geothermal energy has been used on a large scale in more than 40 countries of the world for more than 50 years for direct use. Today, in more than 21 countries, heat energy is transformed into electricity.

Geothermal hot spots regions are in Asia Pacific, USA, North America, Europe, Latin America and middle and east Africa. Only 5% of geothermal potential is used world-wide from potential 318 GW [1].

- a) California and Nevada in the United States;
- b) El Salvador, Guatemala, Honduras and Nicaragua in Central America;
- c) Chile and Peru on the westernmost extent of South America;
- d) The Republic of the Democratic Republic of Congo (DRC), Eritrea, Ethiopia, and Kenya, on the East African Rift;
- e) The Philippines in the western Pacific region in Southeast Asia; and
- f) the Taupo Volcanic Zone of the North Island in New Zealand.

The total installed geothermal power generation capacity at year-end 2022 stood at 16,127 MW (Fig. 1).

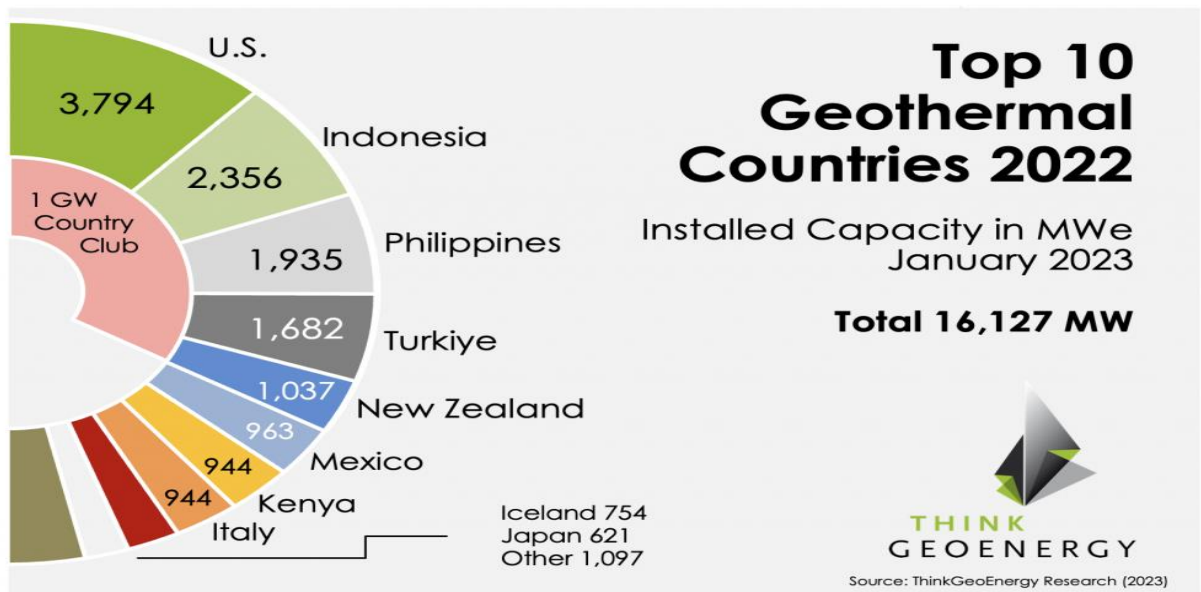


Fig. 1. Top 10 geothermal countries 2022 [1].

The 1 GW country Club united US, Indonesia, Philippines, Turkiye and New Zealand.

In this GEOTHERMAL POWER DATABASE [2] published by International Geothermal Association, Ukraine is marked as geothermal energy can be direct use only (Fig. 2).



Fig. 2. Geothermal power database y in the world [2].

Geothermal resources in Ukraine. Geothermal energy in Ukraine have been studied since the mid-50s of the last century. Since then, numerous prospecting and exploration works for thermal waters have been carried out in certain regions of Ukraine, hundred geothermal wells were drilled, a lot of maps (maps of isotherms for depths from 500 to 12000 m, maps of promising territories for the use of geothermal resources) were created and geothermal resources were estimated.

The development of geothermal technologies for the exploitation of deep underground waters took place in the 80s and 90s. Since that and until now the geothermal development was not proceed due to lack of national support financing programs. Today it is necessary to resume the development of geothermal resources, as well as to provide more geothermal researches to ensure the energy security of Ukraine.

Ukraine has the potential for the development of geothermal energy, which is determined by the thermogeological features and specificities of its geothermal resources.

Geothermal resources of Ukraine consist, first of all, of thermal waters and the heat dry rocks. And they could be represented by the following types of sources:

- Shallow geothermal – the heat of the upper layers of the Earth up to a depth of 500 m, which is used with the help of heat pump installations;

- Thermal waters – the heat of deep underground thermal waters, which is used with the help of heat and electricity generating units;
- Deep geothermal – the heat of superheated "dry" rocks, which is used with the help of borehole heat exchangers or by creating artificial underground permeable collectors.

Geothermal resources include heated water resources from operating wells of oil and gas fields that are promising for industrial use. The reserves of thermal and superheated waters are formed and circulate at depths exceeding 1 km.

Ukraine has significant resources of geothermal energy. The total potential is estimated at $438 \cdot 10^6$ kWhp/year, which was approved in the Program of state support for the development of non-traditional and renewable energy sources.

Annual technically achievable energy potential of geothermal energy in Ukraine is equivalent to 8,4 Mtoe, and its use can save around 10 bcm of natural gas.

The distribution of geothermal resources in Ukraine is primarily determined by the values of heat flow (Fig.3), formation which depends on geological age of the area and the activity of tectonic and magmatic processes.

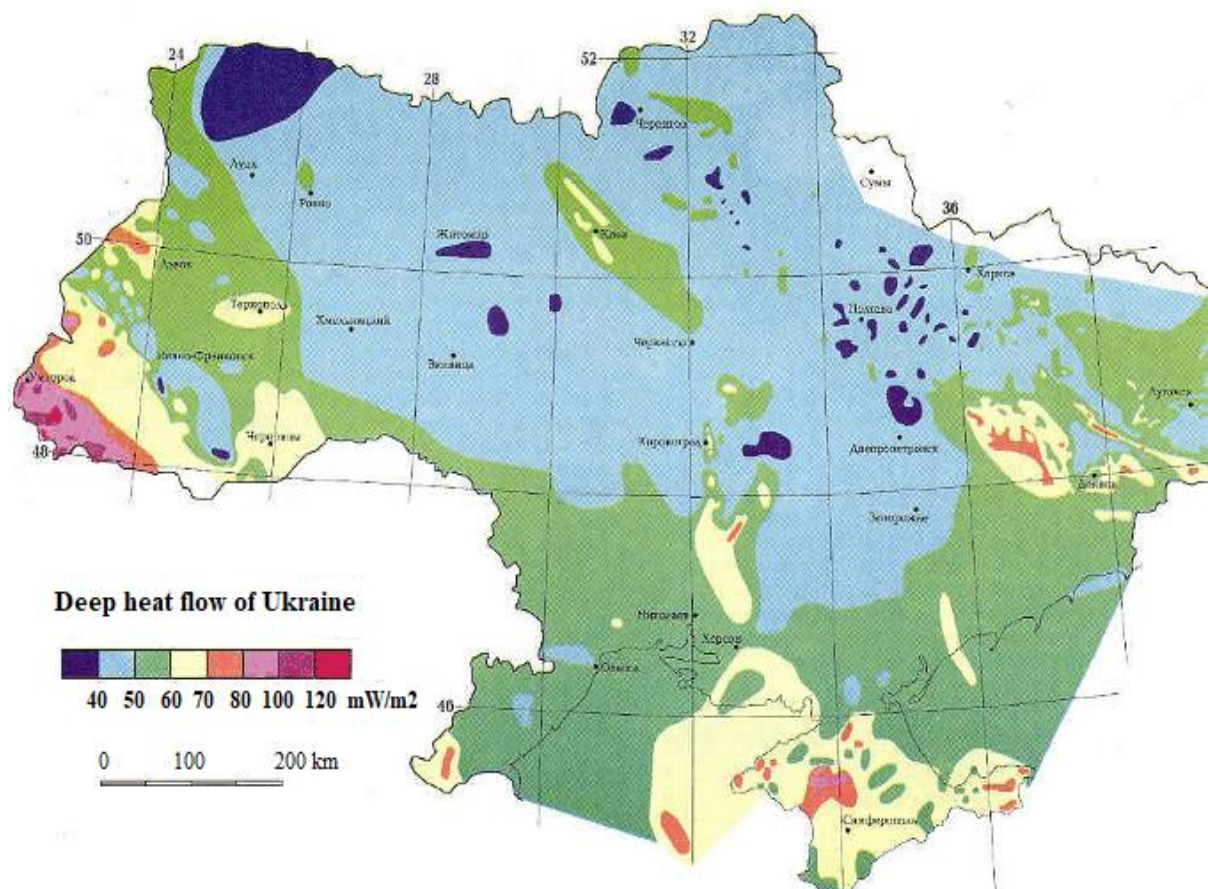


Fig. 3. Distribution of deep heat flux values on the territory of Ukraine, mW/m² [3, 10].

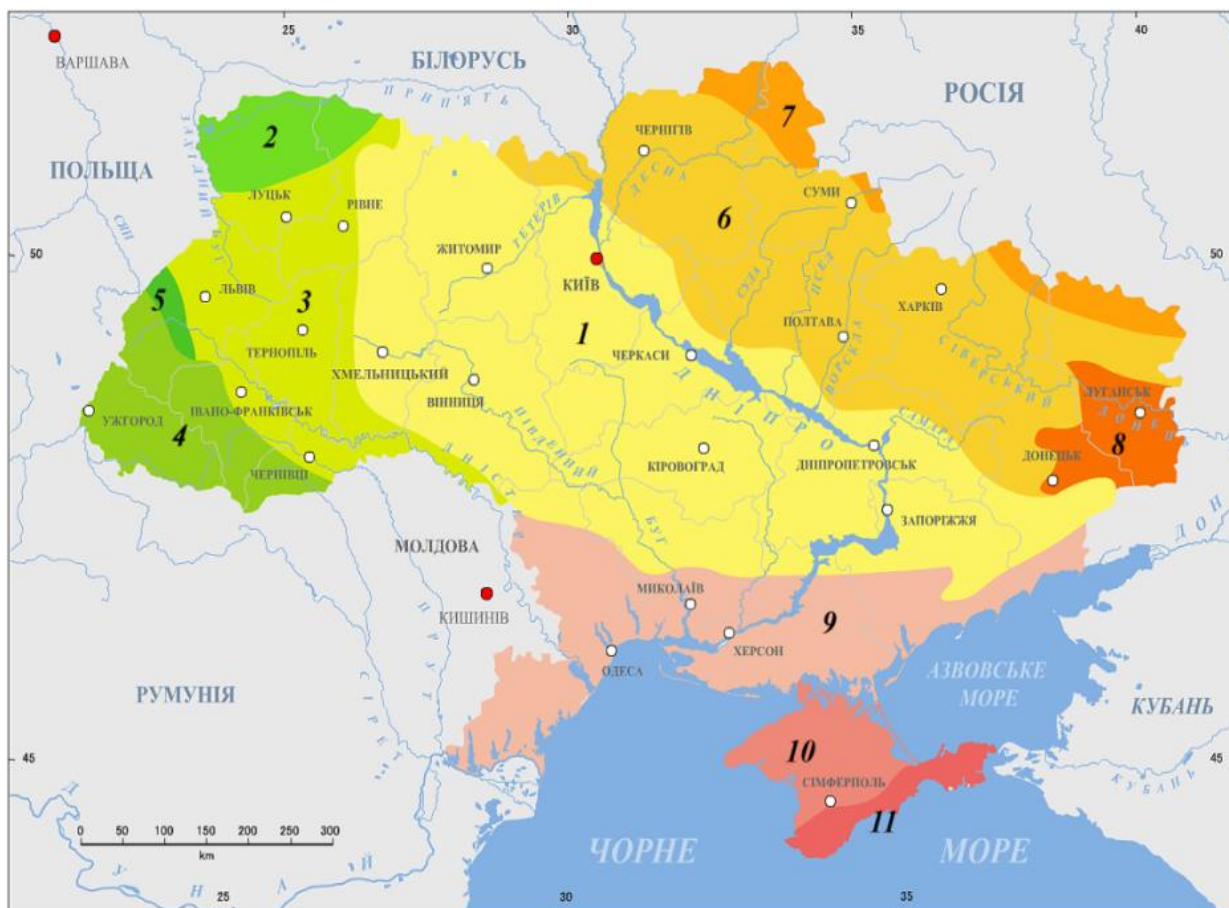


Fig. 4. Main tectonic structures of Ukraine [4].

1 – Ukrainian Crystalline Shield; 2 – Kovel's speech; 3 – Volyno-Podilsky plate; 4 – Carpathian fold and thrust belt (Transcarpathian, Carpathians Mountains and Precarpathian depression); 5 – Western European platform; 6 – Dnipro-Donets depression; 7 – Voronezh massif; 8 – Donets fold belt; 9 – Black Sea depression; 10 – Scythian plate (Steppe Crimea); 11 – Crimean fold and thrust belt (Crimean Mountains).

The most prospective geothermal regions are in the west, east and south Ukraine.

All these regions are confined to the following tectonic structures:

- Carpathian fold and thrust belt region in the west that consist of Transcarpathian, Carpathians Mountains and Precarpathian depression
- Dnipro-Donets depression and Donetsk folded region in the east
- Black Sea basin and Scythian plate in the south

According to the values of heat flow the Ukrainian territory is divided into three zones (Table 1).

Table 1.

The main characteristics of thermal flows

Zones	Heat flow	Geothermal gradient	Tectonic structures
Low thermal flow	22-60 mW/m ²	2°C/100m	Crimean and Carpathians Mountains
Intermediate values of heat flow	50-70 mW/m ²	do not exceed 3-3,5°C/100m	Steppe Crimea, Donets fold belt, Precarpathian region
Highest heat flows	Above 80 mW/m ²	7-8,4°C/100m	Transcarpathian depression, in the central part of the Crimean - Scythian plate (Steppe Crimea) and the Black Sea Coast

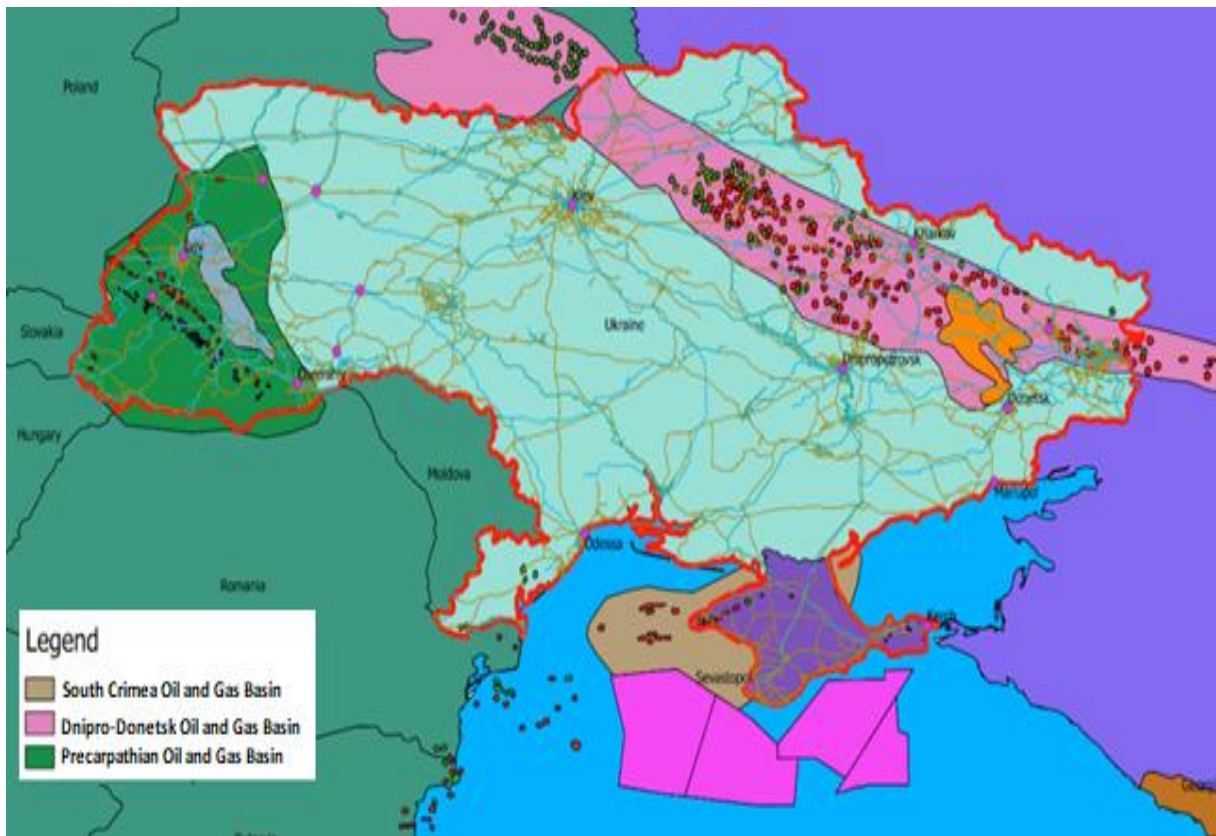


Fig. 5. Oil and gas-bearing regions in Ukraine.

The main prospective geothermal regions are confined to three oil and gas bearing basins of Ukraine (Fig.5):

1. In the west — Western Ukrainian region (consist of Volyn-Podilska, Precarpathian, Carpathian, Transcarpathian oil and gas provinces),

2. In the east — Dnipro-Donetsk oil and gas basin
3. in the south - South Crimea oil and gas basin.

The first estimation of geothermal resources in Ukraine was implemented in 1979. At the present time results of these calculations are officially accepted and approved by the State Commission of Ukraine on Mineral Resources reserves. Approved the cogeneration potential of geothermal water resources is **27,3 million m³/day**, and their thermal power capacity at **351 million GJ/year**

According to geological-structural features the most promising for the development of geothermal energy in Ukraine regions are (Fig.6):

- **Transcarpathian and Precarpathian depression in the west**
- **Steppe Crimea and Black Sea Coast in the south**
where, according to geological and geophysical data, rock temperatures at depths of up to 6 km reach 230-275C.
- **Dnipro-Donets depression in the east.**

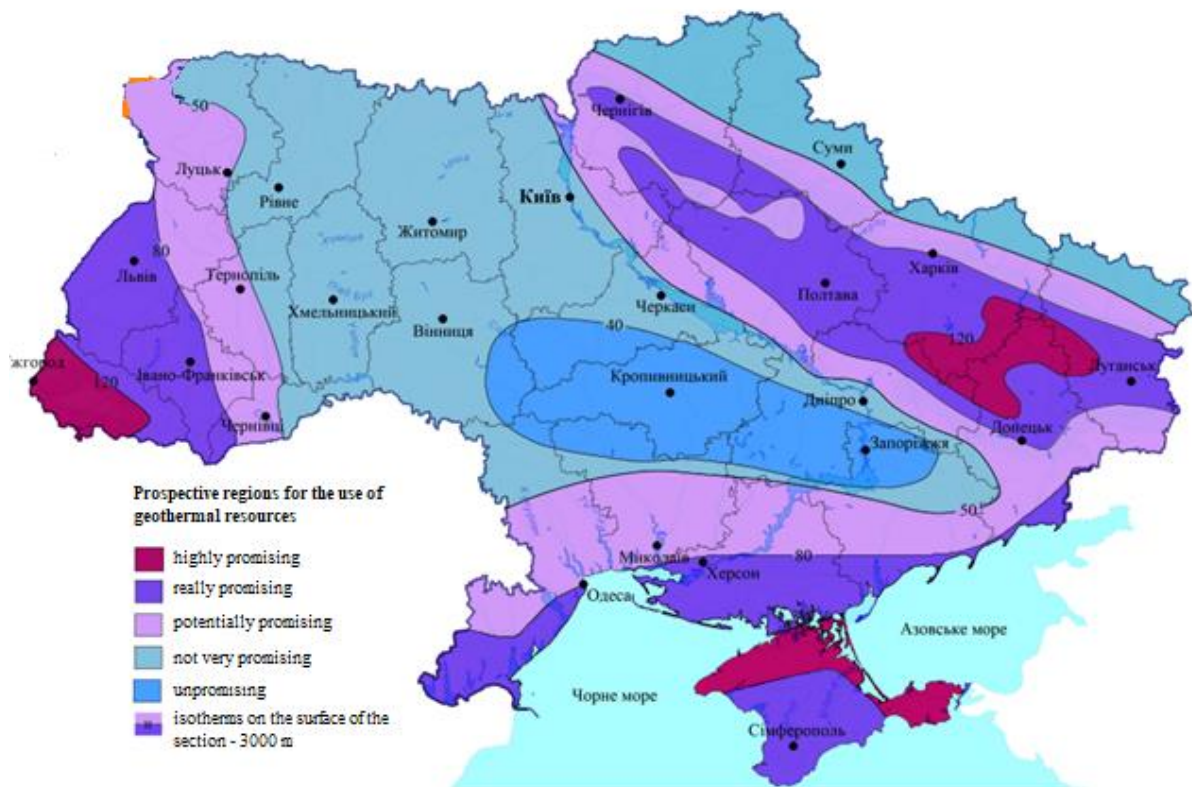


Fig.6. Prospective regions for the use of geothermal resources [9]

(Source – Institute of Renewable Energy at NAS, «Atlas of energy potential of renewable energy in Ukraine»)

The most promising and currently suitable for technical use source of geothermal energy in Ukraine is thermal water, the projected energy potential of which is presented in the Table 2 and, accordingly, on the Figure 7.

Table 2.

Geothermal resources of Ukraine [8].

	Region	The amount of heat carrier extracted during operation with reservoir pressure support, thousand m ³ /day	Heat potential of thermal waters, MW
1	Transcarpathian	239.4	490
2	Mykolaiv	1620	2820
3	Odesa	1350	2350
4	Poltava	5.9	9.2
5	Sumy	4.2	15.8
6	Kharkiv	0.4	1.3
7	Kherson	2430	4230
8	Chernihiv	37.2	58.3
9	Crimea	21600	37600
	Total	585.4	47574.6

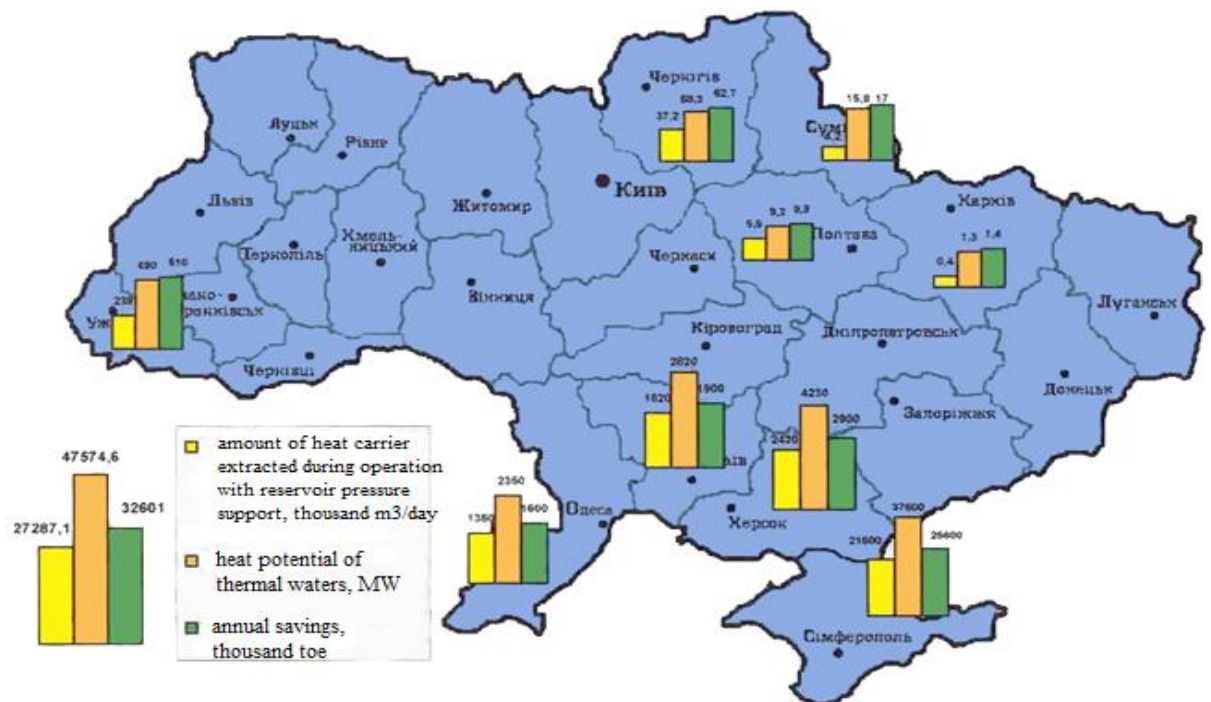


Fig. 7. The projected energy potential of thermal water [9].

Prospective regions for the use of geothermal resources. The first of the promising regions is the West Carpathian geothermal region, which is confined to the two tectonics zones – Transcarpathian and Precarpathian depressions (Fig.8).

The rock temperature of wells drilled in the Carpathians at a depth of 4 km reaches 210°C, and the temperatures of underground water (>150°C)

Its necessary for the effective functioning of geothermal power plants require much lower depths (from 1 to 1.5 km) than in other favorable for these places. The thermal waters of the Transcarpathian deposits are highly mineralized.

Transcarpathian depressions – geological structure was formed because of Neogene tectono-magmatic activation of the Internal Carpathians and is characterized by wide distribution of volcano-tectonic structures resulted from volcanic centres of that time.

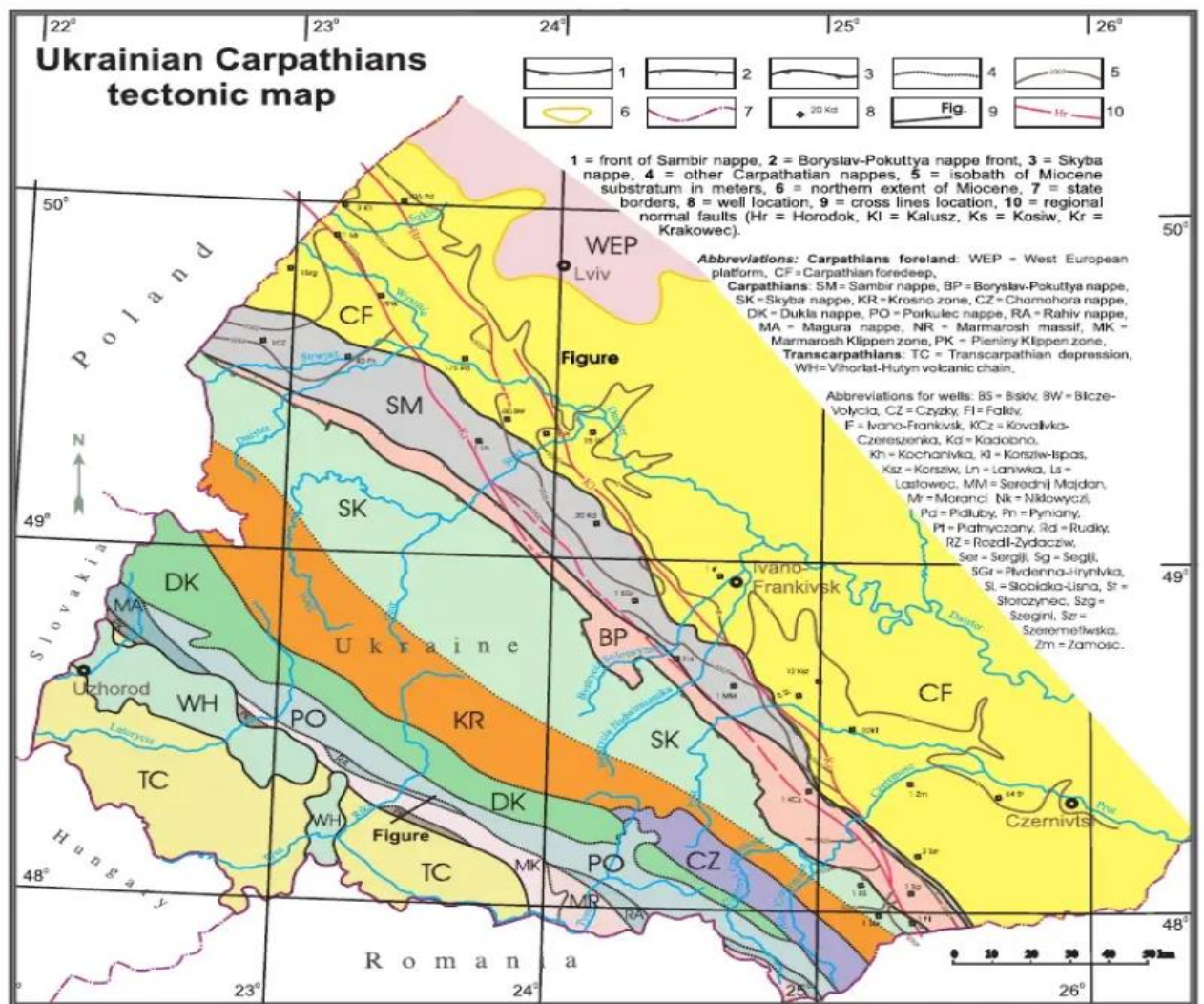


Fig. 8. Ukrainian Carpathian tectonic map [14].

In Transcarpathia near 30 deposits and manifestations of thermal waters and brines of various chemical compositions are known (Berehove, Kosyno, Zaluzzia, Tereblya, Velyatyn, Poladske etc.)

Currently, the use of only low-temperature thermal waters for recreational purposes is actively developing in Transcarpathia, and in the future it is advisable to use the available medium- and high-temperature thermal waters for energy.

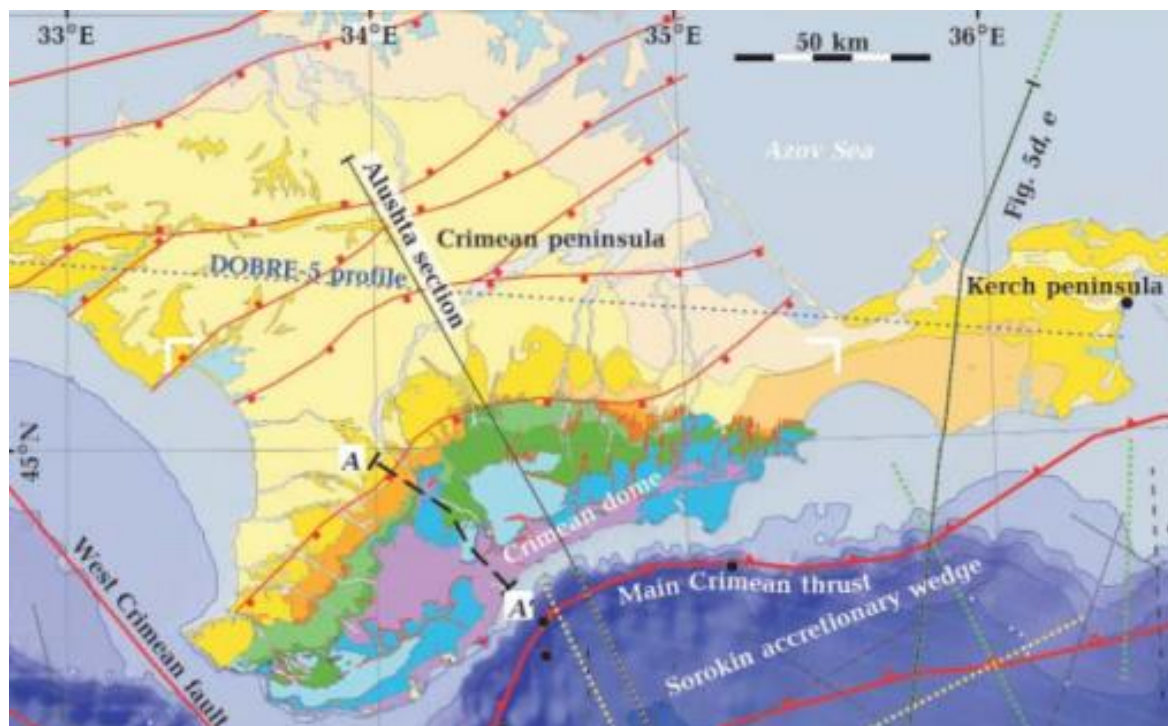
In Transcarpathia there is a unique place with an area of 30 km² in the area of the village Zaluzzia (Mukachevo region) with a dry rock isotherm of 200 °C at a depth of 4 km. These reserves are sufficient for the operation of several small geothermal power plants and greenhouse agro-industrial complexes.

The second tectonic zone within Carpathian region is **Precarpathian depressions** – is a young alpine region of crustal subsidence, which is located between the dislocated Carpathian folded structure and the Volyn-Podilsky plate.

The second promising region for the development of geothermal energy is the territory of the **Black Sea artesian basin** which include **Steppe Crimea and Black Sea Coast** (Odessa and Kherson region)

The depths of the drilled wells in Crimea are small (up to 2 km), the temperature of the thermal waters at the mouth is 50-70°C, and their mineralization is 20-70 g/l.

Steppe Crimea is a flat plain connected to the Epihercynian Scythian platform. The surface is formed by marine Neogene and continental Quaternary sediments. The resources of the Kerch Peninsula are the most promising for the development of geothermal energy (Fig. 9).



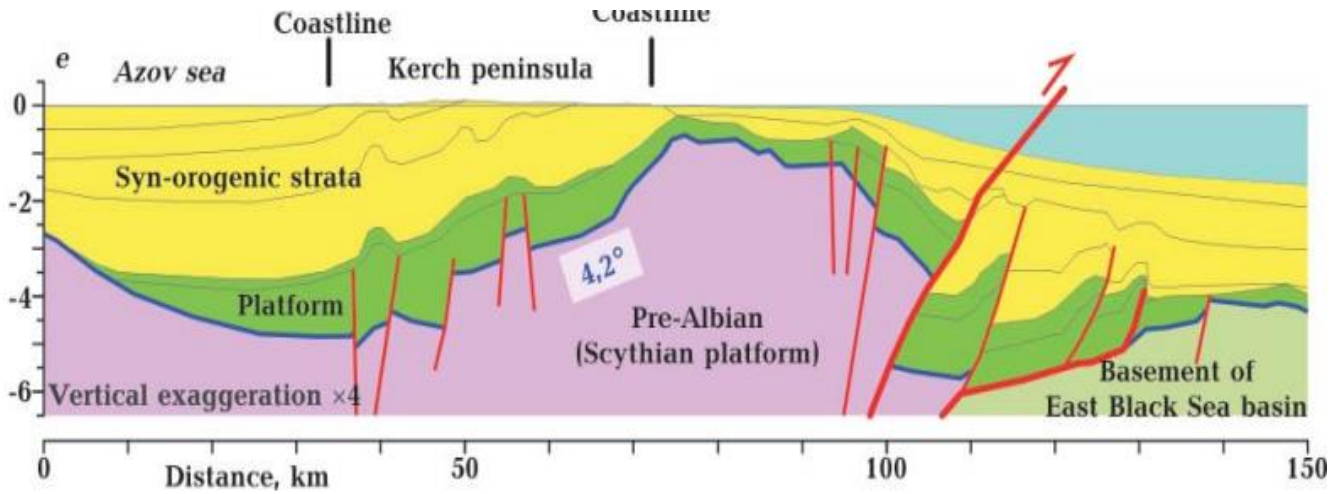


Fig. 9. Structural map of the Crimea and Cross-section through Kerch peninsula.

The geology of the Crimean peninsula records the interaction between the Eastern Black-Sea basin and the Scythian platform as the result of the Arabia-Eurasia collision.

Onshore, new biostratigraphic studies indicate the existence of at least two lithostratigraphical units comprising turbidites (“flysch”), formed in the Upper Triassic—Lower/Middle(?) Jurassic and the Upper Jurassic—Lower Cretaceous during continental margin and backarc rift formation, respectively.

Currently, low geothermal resources of Crimea are used mainly for **heat supply purposes**. Crimean thermal waters are used in the resorts of Saki and Yevpatoria, as well as in some settlements for baths and heating. The flow rates of individual wells here reach 2-4 thousand m³/day.

There are more than 50 thermal springs.

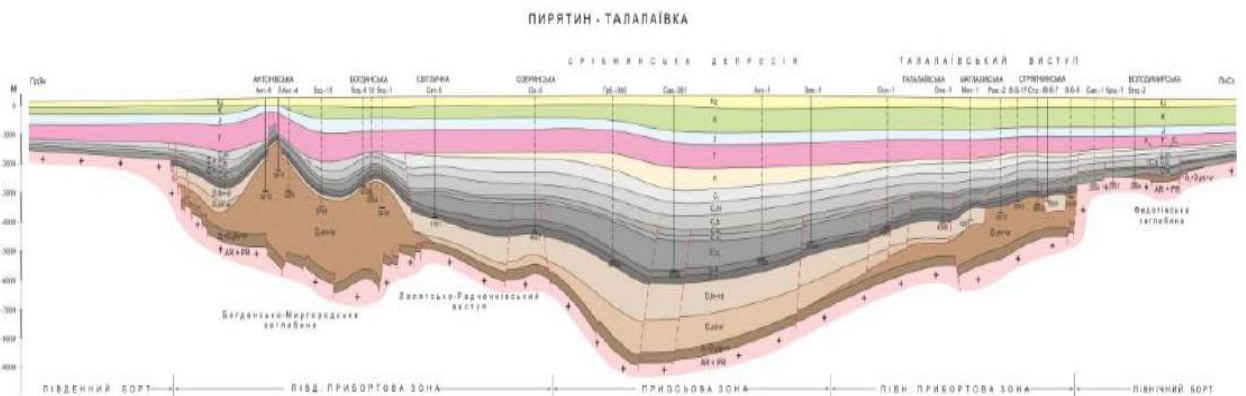


Fig. 10. Cross-section of the Dnipro-Donets depression [15].

Regarding to prospect use: Hundreds of wells were drilled that reached thermal waters and hot dry rocks and could be used to build power plants.

However, the temporary occupation of Crimea and the war in Ukraine brought stopped these activities.

The last Promising areas as concerns the central part of the Dnipro-Donets depression. Heat flows in this area vary from 70 to 90 mW/m², and geothermal gradients do not exceed 3- 3.5 °C/100 m.

Dnipro-Donets depression is a graben with a depth of 12 to 20 km and divided into 2 south and north sides.

In terms of lithology, the basin is mainly represented by terrigenous sediments. In addition, three salt-bearing strata are developed here. Its one of the most popular oil and gas basin in Ukraine.

In Dnipro-Donets depression prospect use of geothermal resources is related with deep geothermal, development and geothermal power plants building. A lot of assessment shows that on the basis of oil and gas wells it is possible to build geothermal power plants with a depth of drilling or opening of wells up to 3 – 4.5 km.

So, the main target of use of geothermal resources is the production of electricity.

Table 3.

Forecast resources of geothermal energy in the territory of Ukraine for the electric power industry

Deposits regions	of	Drilling depth, km	Water temperature, °C	Deposit area, km ²	Efficiency, %	Power of Geothermal power, thousands of MW
Transcarpathia		3-6	210-250	50-130	1.7	5.8
Precarpathia		4-7	200	600	1.3	4.6
Crimea		4-7	200-220	300-500	3.1	10.5
Eastern Ukrainian region		5-7	185-217	660-2800	14.0	48.0
Total						70

The most promising region for electricity supply is the eastern part of Ukraine, as there are thousands of abandoned oil and gas wells that can be repurposed for geothermal.

Key geothermal stakeholders in Ukraine.

There are a lot of Institutes under the National Academy of Science of Ukraine working on the researches. In terms of decarbonization some state and private drilling companies try to change their policy and develop geothermal and of course a big part in transition to clean and affordable renewable energy sources play public organization as well as Geothermal Ukraine to increase the safety and well-being of its citizens.

List of key geothermal stakeholders in Ukraine:

- Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine
- Institute of Geophysics NAS of Ukraine
- Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine
- Institute of Geological Sciences (IGS) of NAS of Ukraine
- Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
- State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine
- NGO “Geothermal Ukraine” – R&D organization
- JSC Institute of Geology
- Subsidiary Enterprise of PRJSC NJSC Nadra Ukrainy Zahidukrgeologiya
- Naftogaz Group
- Drilling companies

All stakeholders need to combine their efforts with one aim – to contribute in geothermal energy development in Ukraine, establish cooperation with leading international geothermal organizations.

Legislative base of Geothermal Energy in Ukraine. In recent years, in legislative basis of Ukraine a lot has been done to regulate legal relations in the field of conservation, scientifically proven natural resource management, environmental protection, development of alternative and renewable energy sources, including, geothermal waters. There have been accepted Codex "On Subsoil" (from 27.07.94, № 132/94-VR), "Water Codex" (from 06.06.95, № 213/95-VR), the law "Of alternative energy sources" (from 20.02.03, № 555-IV) and others.

The classification of geothermal waters reserves, approved provisions for preparedness of geothermal deposits to commercial operation, defined procedure for conducting geological exploration works at geothermal deposits, set technical requirements for safe, reliable and economic operation of heat sources were brought up into accord to the international standards. The procedure for development of geothermal deposits, requirements for provision of special permits (licenses) is based on the Cabinet of Ministers of Ukraine № 615 of May 30, 2011 "On approval procedure for giving special permits for subsoil use".

Requirements for research on geothermal deposits, that are used to calculate their reserves and government calculation, are set on the basis of "Instructions of reserves classification and mineral resources of subsoil state fund to thermal power underground water deposits", which was approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from 21.06.07, №707/13971). In the field of standardization adopted state national standards of Ukraine: "Geothermal energy. Terms and definitions", "Geothermal energy. Geothermal heat stations" and "Geothermal energy. Geothermal power stations". Developer of standards – Institute of Renewable Energy, NASU [15].

But, despite all the achievements, Ukraine has to go through a difficult path to the adaptation of Ukrainian legislation to the EU.

CONCLUSIONS.

1. Ukraine is abundant in geothermal energy resources, but this type of renewable energy is grossly underestimated. According to estimates, about 90 billion kWh of geothermal energy can be extracted annually in Ukraine and replace 10 billion cubic meters of gas.
2. Ukraine is among the countries with medium-level geothermal gradients. Although, Ukraine has three promising regions in Transcarpathian, Crimea (south), and the Dnipro-Donetsk basin, exactly West Ukraine is the most promising region for the near future.
3. The most favorable conditions for the formation of geothermal resources are characterized by gas, gas condensate, and some oil fields. This applies particularly to depleted gas fields that are filled up with water during operation.
4. Hot underground water can be used for heating and for the production of electricity, depending on the temperature regime of underground sources. The widespread using of geothermal energy in western Ukraine is for balneological purposes. This will be extremely relevant for the physical rehabilitation of military and civilian residents of Ukraine who were wounded and maimed during the war.
5. It is possible that geothermal sources can be a potential environment for the extraction of critical raw materials (rare elements). Ukraine has more than 20 types of CRM.
6. Geothermal resources are important and promising in national energy production of Ukraine, and geothermal energy should become one of the leading branches of the country's heat and power industry in the near future.

REFERENCES

1. <https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2022-power-generation-capacity-mw/>
2. <https://www.lovegeothermal.org/explore/our-databases/geothermal-power-database/#direct-uses-by-country>
3. <https://askjaenergydotcom.files.wordpress.com/2014/08/ukraine-geothermal-map-2004.gif>
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%89%D0%B8%D1%82
5. https://www.researchgate.net/publication/330933236_GEOTERMICESKIJ_ATLAS_UKRAINY
6. <https://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/CUR-32-Ukraine.pdf>
7. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/1987/geodynamika13201214.pdf>
8. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/109877/10-Dolinskiy.pdf?sequence=1>
9. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>
10. <https://askjaenergy.com/2014/08/26/iceland-and-ukraine-to-cooperate-on-energy-efficiency/>
11. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/59536/41-Lozyniak.pdf?sequence=1>
12. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/145415/02-Nakapelyukh.pdf?sequence=1>
13. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/59536/41-Lozyniak.pdf?sequence=1>
14. https://www.researchgate.net/figure/Tectonic-map-of-the-Ukrainian-Carpathians-after-Andreyeva-Grigorovich-et-al-2008_fig1_307652655
15. <https://orkustofnun.is/media/jardhiti/OS-2016-01.pdf>

Ю. В. Демчук, Г. А. Лівенцева

ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Ця стаття є підсумком доповіді, яка була представлена в березні 2023 року під час українсько-іспанського циклу конференцій «Глобальне бачення української геології «Майбутнє геотермальної енергетики в Україні», організованого GEO3VCN-CSIC. Геотермальний потенціал України може відіграти ключову роль у прискоренні переходу до чистої енергії. Таким чином, у цій статті наведено детальну характеристику основних типів

геотермальних джерел в Україні, таких як мілководні геотермальні джерела, термальні води та глибоководні геотермальні джерела, які можна використовувати для прямого використання, централізованого опалення, а також виробництва електроенергії. Аналіз розподілу величин глибинного теплового потоку по території України, який коливається від 40 до понад 120 мВт/м², дає можливість виділити три головні перспективні зони, приурочені до основних нафтогазоносних регіонів, зокрема, Закарпатська (західна), Степовий Крим (південь) і Дніпровсько-Донецький басейн (схід). Загальний геотермальний потенціал України оцінюється в 438*106 кВт/год на рік. Річний технічно досяжний енергетичний потенціал геотермальної енергії в Україні еквівалентний 8,4 Мтоє, а його використання може заощадити близько 10 млрд кубометрів природного газу. В даний час розвиток геотермальної енергетики знаходиться на початковій стадії в Україні. Використовуються в основному лише низькотемпературні термальні води для рекреаційних цілей на Закарпатті та для тепlopостачання в Криму. Тому слід приділити велику увагу додатковим дослідженням геотермальних джерел та засобів стимулювання розвитку геотермальної енергетики в Україні. Перехід на чисті та доступні джерела енергії дасть можливість побудувати нову потужну економіку, подолати соціально-економічні виклики, сприяти вирішенню проблеми зміни клімату, а також підвищить безпеку та добробут українців.

Ключові слова: геотермальна енергія, геотермальний потенціал, геотермальні ресурси, геотермальні райони.

ГО «Геотермал Україна», м. Київ, Україна

Юлія Демчук

e-mail: 24yulya@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8703-4235>

GEO3BCN-CSIC, Барселона, Іспанія

Ганна Лівенцева

канд. геол наук

e-mail: hliventseva@geo3bcn.csic.es

<https://orcid.org/0000-0001-8203-6282>

Стаття надійшла: 11.05.2023.