



УДК 550.34+550.42

## ВПЛИВ ПЕТРІВСЬКО-КРЕМІНСЬКОГО ГЛИБИННОГО РОЗЛОМУ НА МІГРАЦІЮ ФЛЮЇДАЛЬНИХ ПОТОКІВ У ПОРОДАХ СВЯТОГІРСЬКОЇ БРАХІАНТИКЛІНАЛІ

**Антон Пивоваров** – здобувач вищої освіти магістратури ХНУ ім. В.Н. Каразіна; смт. Донець, Харківська область, Україна; e-mail: [anton.pyvovarov.2002@gmail.com](mailto:anton.pyvovarov.2002@gmail.com)

**Василь Суярко** – доктор геолого-мінералогічних наук, професор кафедри фундаментальної та прикладної геології ХНУ ім. В.Н. Каразіна; м. Харків, Україна; e-mail: [vgস্যুরকো@gmail.com](mailto:vgস্যুরকো@gmail.com)

## INFLUENCE OF THE PETRIVSKO-KREMINSKY DEEP FAULT ON FLUID FLOW MIGRATION IN ROCKS OF THE SVYATOGORSK BRACHYANTIKLINE

**Anton Pyvovarov** is a higher education getter of the master's degree at V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine; e-mail: [anton.pyvovarov.2002@gmail.com](mailto:anton.pyvovarov.2002@gmail.com)

**Vasyl Suyarko** Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Fundamental and Applied Geology of V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine; e-mail: [vgস্যুরকো@gmail.com](mailto:vgস্যুরকো@gmail.com)

У цій статті досліджується вплив Петрівсько-Кремінського глибинного розлому та його вторинних диз'юнктивів на формування складної системи гідрогеохімічних і термогідрогеодинамічних процесів у Святогірсько-Кам'янському регіоні Дніпровсько-Донецького авлакогену. Встановлено, що ці розломні структури сприяють активному вертикальному переміщенню флюїдальних потоків і теплових потоків із глибинних шарів земної кори та мантії. Це призводить до формування зон інтенсивної гідрогеохімічної інверсії, які проявляються у значному збагаченні підземних вод ендегенними елементами, такими як гелій, радон, аргон та діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>), що походить з глибин і має специфічний ізотопний склад  $\delta^{13}\text{C}$ .

У досліджуваних водоносних горизонтах зареєстровано термогідрогеодинамічні аномалії з підвищеною температурою (до 23–27 °С порівняно з фоновими 10–12 °С), що сприяють конвекційним процесам і вторинній мінералізації порід. Цей процес зумовлює значну зацементованість тріщинного простору колекторів, зокрема внаслідок накопичення карбонатів та інших мінералів у результаті реакцій з розчиненим у водах CO<sub>2</sub>. Глибинні розломи виконують функцію каналів для міграції розігрітих флюїдів, що порушує природний термічний градієнт і сприяє термогідрогеодинамічним інверсіям.

Дослідження також виявило, що ізотопні аномалії вуглецю ( $\delta^{13}\text{C}$ ) у водах свідчать про термометаморфічний генезис та дегазаційні процеси, зумовлені глибинними джерелами флюїдів. Ці явища є особливо інтенсивними поблизу Петрівсько-Кремінського розлому та його апофізів, що підтверджує значну роль глибинних тектонічних структур у перенесенні мантійних компонентів у верхні водоносні горизонти. Ці гідрогеохімічні процеси впливають на катагенетичні та метагенетичні зміни порід, сприяючи унікальній літологічній будові регіону. Отримані результати мають важливе значення для розуміння механізмів взаємодії тектонічних структур з гідрогеологічними умовами та можуть бути використані в подальших геологічних дослідженнях і для ресурсної оцінки подібних структур при урахуванні флюїдодинамічних параметрів порід-колекторів.

Ключові слова: Петрівсько-Кремінський глибинний розлом, Святогірська брахіантиклиналь, міграція, розігріті флюїдальні потоки, тепломасоперенесення.

**Вступ.** Глибинні регіональні розломи є основними шляхами міграції флюїдальних мас. Для Дніпровсько-Донецького авлакогену характерний конседиментаційний розвиток різного роду геологічних структур – антикліналей, монокліналей, розривних порушень, у тому числі і диз'юнктивних апофіз глибинних розломів.

Протягом усього періоду формування і розвитку, відбувається безперервний систематичний вплив глибинних розломів на сусідні структури. Особливо потужний вплив простежується у складчастих порушеннях (переважно антиклінальні структури), оскільки ті сприяють акумуляції перенесених флюїдальних потоків [1].

На прикладі Святогірської брахіантиклінальної структури та Петрівсько-Кремінського розлому, яскраво простежується вплив міграції розігрітих флюїдальних мас на подальший розвиток структури у літолого-фаціальному та геодинамічному планах. Така взаємодія підтверджена чисельними проявами геохімічної та термогідродинамічної інверсії на території брахіантикліналі.

Отже, розуміння постійної системної взаємодії глибинних розломів із антиклінальними структурами є важливим компонентом для моделювання літолого-фаціальних та структурних особливостей. Комплексний кореляційний аналіз є надважливим для подальшого прогнозування флюїодинамічних параметрів порід та структур, що зазнають сигніфікативного впливу від регіональних глибинних розломів.

**Аналіз стану питання.** Попередні дослідження припускали, що саме розташування Святогірської структури на антиклінальному валу є основним чинником формування особливостей та складу нижньопермських і кам'яновугільних відкладів. Проте автори вважають, що періодична тектонічна активізація корово-мантійних осередків, пов'язаних зі Святогірською брахіантиклінальною структурою та прилеглими територіями, посилює постійні процеси тепломасоперенесення флюїдних потоків у зонах розвантаження, що формуються вздовж глибинних розломів. Ці розломи сприяють швидкій та імпульсивній міграції розігрітих флюїдних мас, які переносять частки порід з нижчезалеглих пластів і фундаменту разом із зарядженими йонами у вигляді тепла. Саме цей механізм є ключовим для встановлення вірогідної моделі Святогірської структури [5].

**Мета роботи.** Метою даної статті є простеження впливу Петрівсько-Кремінського регіонального глибинного розлому на Святогірську брахіантикліналь.

**Аналіз основних досліджень і літератури.** Обґрунтуванню присутності регіональних глибинних розломів та їх впливу на інші внутрішньоавлакогенові структури присвятили свої наукові публікації Суярко В.Г., Барташук О.В., Гавриш В.К.. Безпосередніми практичними дослідженнями Святогірської брахіантикліналі займався Сухов В.В., під час яких було встановлено присутність термогідродинамічних аномалій у верхньокрейдових відкладах (K2) [5].

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Святогірська брахіантикліналь є складовою частиною Дніпровсько-Донецького палеорифту, розташована у його південно-східній частині та являє собою палеозойську складку конседиментаційного розвитку. Її формування припадає на пфальську фазу герцинського тектогенезу, після чого зазнала кілька етапів розвитку під час осадконакопичення у палеозойській, мезозойській та кайнозойській ератем [9].

За палеозойськими відкладами, Святогірська брахіантиклінальна структура умовно розташована у межах Північно-Волвенківсько-Торсько-Дробишівського антиклінального валу, через індуляцію якого, утворилися Кам'янська, Співаківська, Торсько-Дробишівська, Північно-Волвенківська та Святогірська антиклінальні структури. З північної частини антиклінальний вал обмежений Білогірсько-Кам'янським прогином, а з півдня – Комишувахсько-Лиманською синкліналлю.

За даними сейсмічних досліджень, виконаними АТ «Укргазвидобування», було виділено численні розривні порушення, що, ймовірно, є диз'юнктивними апофізами Петрівсько-Кремінського глибинного розлому [5]. До вищезазначених досліджень додається

дослідження авторів, які картографували присутність розривних глибинних порушень у межах Кам'янської брахіантикліналі, що є частиною Святогірської площі (рис 1).

Існує підтверджений факт, що русла річок часто формуються вздовж зон тріщинуватості, які виникають у земній корі через глибинні розломи, що беруть свій початок від мантиї. На досліджуваній території є дві великі річки — Сіверський Донець і Оскіл, де перша є притокою другої. Це дозволяє припустити, що тут існує точка перетину двох різноспрямованих зон розломів, які відповідають руслам цих річок (рис. 2) [3].

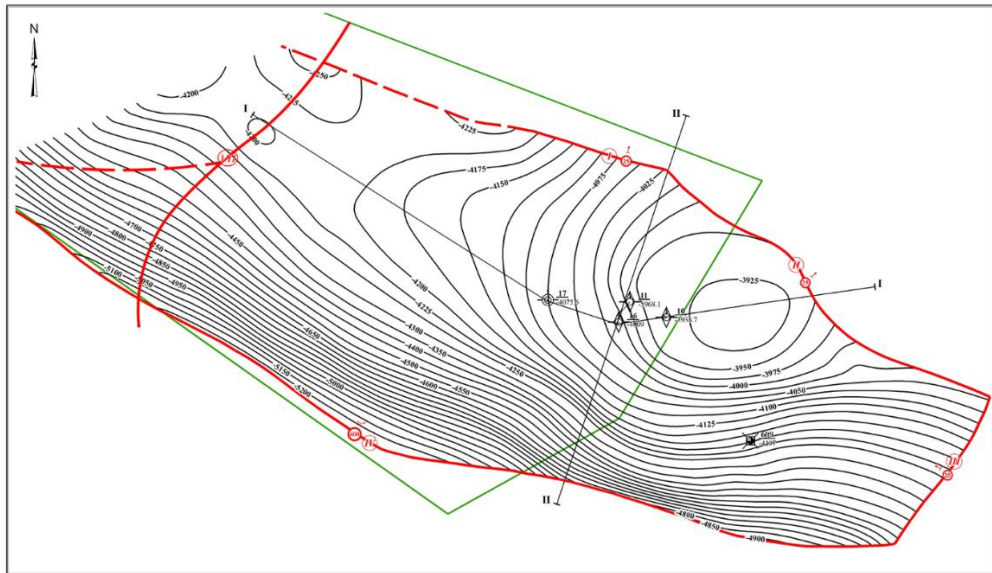


Рис. 1 – Структурна карта Святогірської Брахіантикліналі (за матеріалами УкрНДІГаз (2019 р.) із доповненнями авторів (2021 р.))

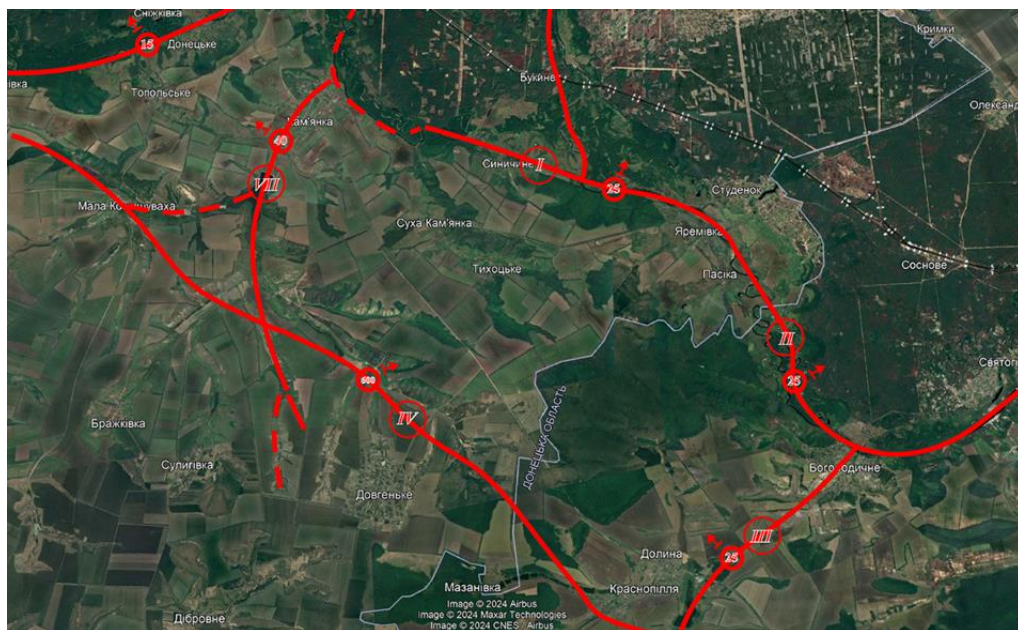


Рис. 2 – Принципова схема дислокації зон тектонічних порушень та їх кореляція з лінієментами на супутниковому знімку (склав Пивоваров А.В. – 2024 р.)

Згідно з класифікацією глибинних розломів Дніпровсько-Донецького авлакогену, Петрівсько-Кремінський розлом належить до глибинних (за В.Г. Суярко, [7]) і контролює висхідні флюїдальні потоки та геодинамічні напруги, включно зі Святогірською

брахіантикліналію. Його існування підтверджується просторовою орієнтацією тріщин, які перпендикулярні напрямкам геодинамічних напруг, що виникали на різних етапах тектонічної активізації цієї структури.

Сучасні тектонічні рухи відображаються в різних швидкостях підняття крил брахіантикліналі: висяче крило піднімається зі швидкістю 1,4–2,9 мм/рік, тоді як лежаче — 5,2–11,1 мм/рік, що чітко простежується в рельєфі [5]. Раніше вважалося, що розташування Святогірської структури на антиклінальному валу є основним фактором формування особливостей і складу нижньопермських і кам'яновугільних відкладів. Проте автори припускають, що періодична тектонічна активізація корово-мантіїних осередків поблизу Святогірської брахіантикліналі сприяє тепломасоперенесенню флюїдних потоків у зонах розвантаження, що сформовані глибинними розломами. Через ці розломи відбувається імпульсивна міграція розігрітих флюїдних мас, які переносять частинки порід з нижчезалеглих пластів і фундаменту, а також енергетично заряджені йони у вигляді тепла [4, 5].

Геохімічна і термогідрогеодинамічна інверсійність зумовлена діяльністю глибинних розломів, які насичують водоносні горизонти ендегенними флюїдами та тепловими потоками. Води з неглибоких свердловин у межах Святогірської брахіантикліналі демонструють гідрогеодинамічну інверсію, підвищену концентрацію хлоридів і мікроелементів глибинного походження (ртуть, гелій, аргон, йод, бром та інші), а також значну напруженість гідрогеотермічного поля.

Ця діяльність глибинних розломів вплинула на літологічний склад, підвищуючи щільність порід-колекторів, представлених пісковиками, що підтверджується складом їх цементної маси (піритизація, залістість, вторинний кварц, карбонатність).

Вплив Петрівсько-Кремінського розлому та численних диз'юнктивів спричиняє гідравлічний зв'язок між усіма водоносними комплексами, що формується завдяки вертикальному розвантаженню флюїдів по розломах. Тектоногенні тріщини слугують каналами для міграції флюїдальних мас, прискорених мантіїним тепловим потоком, який активізує конвекційні процеси у водоносних горизонтах. Цей процес супроводжується дегідратацією та вторинною мінералізацією цементу, внаслідок чого на території Святогірської площі спостерігається гідрогеохімічна інверсія [8].

Дослідження В.Г. Суярка і В.В. Сухова виявили термогідрогеодинамічні аномалії в крейдових і юрських породах (23–27 °С при фоновій температурі 10–12 °С), що підтверджують високу активність гідрогеотермічного поля [5]. Такі аномалії прискорюють катагенетичні та метагенетичні зміни гірських порід і сприяють вторинній цементації тріщин, які сформувалися під час тектонічної активізації ларамійської фази.

Метаморфогенні флюїди, що мігрують уздовж зон розвантаження, утворюють гіпогенні аномалії у вищезалеглих водоносних комплексах, про що свідчить присутність гелію, радону, аргону і CO<sub>2</sub> в підземних водах [5]. Особливою ознакою гідрогеотермальних процесів є насичення тріщин карбонатно-глинистим цементом, що зумовлено реакціями нижчезалеглих карбонатистих порід із мантіїним CO<sub>2</sub>.

Концентрація CO<sub>2</sub> збільшується з глибиною, вказуючи на його ендегенне походження, характерне для флюїдів термічного генезису (метаморфогенного, гідротермального, вулканічного, катагенетичного). Його ізотопний склад ( $\delta^{13}\text{C}$ : 5-8‰) аналогічний вуглецю метану (CH<sub>4</sub>), що підтверджує дегазацію мантії і термометаморфічний генезис [4, 9].

Саме розчиненість ендегенних компонентів та їх локалізація і тяжіння до зон розущільнення, свідчить про інтервально-імпульсивну тектонічну активізацію і є свідченням глибинного походження певної частини вуглеводнів у межах Святогірської брахіантикліналі (рис. 3).

Очевидно, що присутність порід-колекторів та щільних флюїдотривів обумовило акумуляцію мігрованих флюїдів (у т.ч. вуглеводнів).

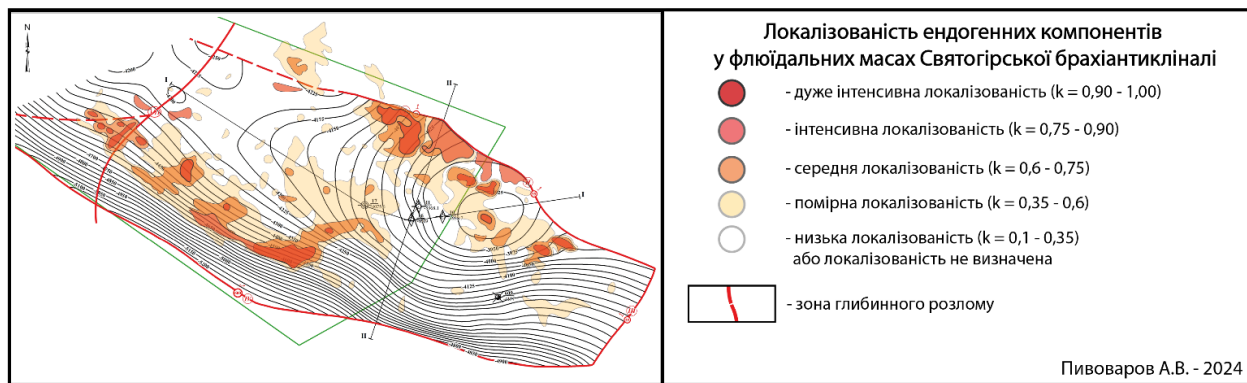


Рис. 3 – Схематична карта локалізації ендогенних компонентів у висхідних флюїдних потоках Святогірської брахіантикліналі (склав Пивоваров А.В. – 2024 р.)

**Висновки.** Проведене дослідження показало, що флюїодинамічна взаємодія брахіантиклінальної структури та глибинного розлому і його апофіз у вигляді вторинних диз'юнктивів, формує геохімічні та термогідрогеодинамічні інверсії. Ці інверсії зумовлені впливом теплових потоків і дегазацією мантії, що спричиняє взаємодію між коливальними та складчастими рухами, а також міграцію флюїдів по зонах розущільнення. Глибинні розломи відіграють ключову роль у транспортуванні висхідних розігрітих флюїдальних мас, що призводить до виникнення гідрогеохімічних аномалій, а їх розігрітість та порушення тривіального термічного градієнту формує термогідрогеодинамічні інверсії. Особливості літологічного складу порід-колекторів проявляється у вигляді значної зацементованості тектоногенних тріщин, що могли виникнути під час пфальської фази герцинського тектогенезу, а вторинна цементация відбувалася вже під дією потужних або локальних тектонічних активізацій.

### Список літератури

1. Бартацук О. В., Суярко В. Г. Горизонтальні переміщення геомасивів у континентальних рифтогенних геоструктурах (на прикладі Дніпровсько-Донецького палеорифта). Частина 1. Структурні прояви тектонічної течії у фундаменті // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2018. – № 49. – С. 10-23.
2. Гавриш В.К., Глубинное строение и эволюция Припятско-Днепровско-Донецького и Кенийского рифтов. - В кн.: Тез. докл. 27-го МГК, секция 07 Тектоника, т. 3. М.: Наука, 1984, с. 207-208.
3. Бартацук О. Системна організація диз'юнктивної тектоніки консолідованого фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту. Частина 1. Лінементи // Вісник ХНУ. Серія "Геологія, географія, екологія". 2016. Вип. 45. С. 14-22
4. Helgeson H. C. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperature and pressures / H. C. Helgeson // Amer. J. Sci., 1969. – V. 267. – P. 729-804.
5. Сухов В.В. Гідрогеологічні особливості розвитку суфозії та карсту карбонатних порід на території Святогірського історично-архітектурного комплексу. Харків, 2016. – 157 с.
6. Белоконь В. Г. Неотектонические движения в Донбассе и их связь со структурными элементами / В. Г. Белоконь. – В кн. Материалы по геологии Донецкого бассейна. – М. : Наука, 1968. – С. 11–15.
7. Суярко В. Г. Про джерела надходження та міграцію бромів в підземних водах (на прикладі Дніпровсько– Донецького авлакогену) [Текст] / В. Г. Суярко, О. В. Гаврилюк // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: «Геологія. Географія. Екологія». – 2014. – №41 (1128). – С. 70-75.
8. Суярко В.Г. Прогнозування, пошук та розвідка родовищ вуглеводнів: Підручник / В.Г. Суярко. – Харків: Фоліо, 2015. – с. 26.
9. Гавриш В.К., Роль глибинних розломів у формуванні структур Дніпровсько-Донецької западини. - Геол. журн., 1965, т.25, №6, с. 13-21.

## References (transliterated)

1. Bartashchuk O. V., Suyarko V. G. Horizontal displacements of geomasses in continental rift geostructures (on the example of the Dnipro-Donetsk paleorift). Part 1: Structural manifestations of tectonic flow in the basement // V. N. Karazin Kharkiv National University Bulletin, series "Geology. Geography. Ecology." - 2018. - No. 49. - P. 10-23.
2. Gavrysh. Deep structure and evolution of the Prypiat-Dnipro-Donetsk and Kenyan rifts. - In the book: Abstracts of the 27th IGC, Section 07 Tectonics, vol. 3. Moscow: Nauka, 1984, pp. 207-208.
3. Bartashchuk O. System organization of disjunctive tectonics of the consolidated basement of the Dnipro-Donetsk paleorift. Part 1: Lineaments // KhNU Bulletin. Series "Geology, Geography, Ecology". 2016. Issue 45. C. 14-22
4. Helgeson H. C. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures / H. C. Helgeson // Amer. I. Sci., 1969. - V. 267. - P. 729-804.
5. Sukhov V.V. Hydrogeological features of the development of suphosition and karst of carbonate rocks on the territory of Sviatohirsk historical and architectural complex. Kharkiv, 2016. 157 p.
6. Belokon V.G. Neotectonic movements in Donbas and their connection with structural elements / V.G. Belokon. - In the book Materials on the geology of the Donetsk basin. - Moscow: Nauka, 1968. - P. 11-15.
7. Suyarko V. G. On the sources of bromine inputs and migration in groundwater (on the example of the Dnipro-Donetsk avlakogen) [Text] / V. G. Suyarko, O. V. Havryliuk // Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: "Geology. Geography. Ecology." - 2014. - No. 41 (1128). - P. 70-75.
8. Prediction, prospecting and exploration of hydrocarbon deposits: Textbook / V.G. Suyarko - Kharkiv: Folio, 2015. - p. 26.
9. Gavrysh V.K., The role of deep faults in the formation of structures of the Dnipro-Donetsk depression. - Geological Journal, 1965, vol. 25, no. 6, pp. 13-21.

## ABSTRACT

The article examines the influence of the Petrivsko-Kreminsky deep fault and its secondary disjuncts on the formation of a complex system of hydrogeochemical and thermohydrogeodynamic processes in the Sviatohirsko-Kamiansky region of the Dnipro-Donetsk aulacogen. It has been established that these fault structures contribute to the active vertical movement of fluid flows and heat flows from the deep layers of the Earth's crust and mantle. This leads to the formation of zones of intense hydrogeochemical inversion, which are manifested in the significant enrichment of groundwater with endogenous elements such as helium, radon, argon, and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) originating from the depths and having a specific isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$ . Thermohydrodynamic anomalies with elevated temperatures (up to 23-27 °C compared to the background temperature of 10-12 °C) were recorded in the studied aquifers, which contribute to convection processes and secondary mineralization of rocks. This process leads to significant cementation of the fracture space of reservoirs, in particular due to the accumulation of carbonates and other minerals as a result of reactions with CO<sub>2</sub> dissolved in water. Deep fractures act as channels for the migration of heated fluids, which disrupts the natural thermal gradient and promotes thermohydrogeodynamic inversions.

The study also revealed that carbon isotopic anomalies ( $\delta^{13}\text{C}$ ) in the waters indicate thermometamorphic genesis and degassing processes caused by deep fluid sources. These phenomena are particularly intense in the vicinity of the Petrivsko-Kreminsky fault and its apophyses, which confirms the significant role of deep tectonic structures in the transfer of mantle components to the upper aquifers. These hydrogeochemical processes affect catagenetic and metagenetic changes in rocks, contributing to the unique lithological structure of the region. The results obtained are important for understanding the mechanisms of interaction between tectonic structures and hydrogeological conditions and can be used in further geological studies and for resource estimation of similar structures, taking into account the fluid dynamic parameters of reservoir rocks.

**Keywords:** Petrivsko-Kreminsky deep fault, Svyatohirsk brachiatcfaul, migration, heated fluid flows, heat and mass transfer.

### *Відомості про авторів / About the Authors*

**Пивоваров Антон Віталійович** – здобувач вищої освіти магістратури ХНУ ім. В.Н. Каразіна; смт. Донець, Харківська область, Україна; e-mail: [anton.pyvovarov.2002@gmail.com](mailto:anton.pyvovarov.2002@gmail.com)

**Суярко Василь Григорович** – доктор геолого-мінералогічних наук, професор кафедри фундаментальної та прикладної геології ХНУ ім. В.Н. Каразіна; м. Харків, Україна; e-mail: [ygsuyarko@gmail.com](mailto:ygsuyarko@gmail.com)