

Науково-кординаційний центр інноваційних технологій ІГН НАН України  
Енергетична асоціація "Українська воднева рада"  
Диверсифікований енергетичний холдинг – ДТЕК  
Інститут геохімії навколошнього середовища НАН України



ЕКОЛОГО – ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИКЛИКИ ХХІ СТОРІЧЧЯ  
ГЛОБАЛЬНІ ПРОЕКТИ  
ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ

---

Головний редактор І.Д. БАГРІЙ



ENVIRONMENTAL AND ENERGY CHALLENGES  
OF THE XXI CENTURY. GLOBAL PROJECTS  
WAYS OF IMPLEMENTATION

---

Chief editor I.D. Bagriy

Науково-кординаційний центр інноваційних технологій ІГН НАН України  
Енергетична асоціація "Українська воднева рада"  
Диверсифікований енергетичний холдинг – ДТЕК  
Інститут геохімії навколошнього середовища НАН України



# H<sub>2</sub> ВОДЕЛЬ

## ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИКЛИКИ ХХІ СТОРІЧЧЯ ГЛОБАЛЬНІ ПРОЕКТИ ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ

Головний редактор І. Д. БАГРІЙ

Kyiv-2023

In memory of outstanding scientists  
M.P. Balukhovskiy  
V.I. Sozanskyi  
D.P. Khrushcheva



## ENVIRONMENTAL AND ENERGY CHALLENGES OF THE XXI CENTURY. GLOBAL PROJECTS WAYS OF IMPLEMENTATION

Editor-in-chief I. D. BAGRIY

**Н<sub>2</sub> – ВОДЕНЬ. ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИКЛИКИ ХХІ СТОРІЧЧЯ. ГЛОБАЛЬНІ ПРОЕКТИ. ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ.**

**Монографія.** — Київ: Державне Підприємство "Українська Геологічна Компанія", 2023. –292с.

**Головний редактор**

Доктор геологічних наук, професор **I. Д. Багрій**

Рецензенти: **Шестапалов В. М.**, академік НАН України, доктор геол-мін. наук

**Павлюк М.І.**, академік НАН України, директор Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України.

**Аббасов Равшан**, доктор наук, завідувач кафедри географії та довкілля, Університет Хазара, Азербайджан.

Розглянуто найактуальнішу проблему паливно-енергетичної стратегії ХХІ ст. Вперше продемонстровано різновекторність підходу авторів до теоретичних та прикладних проблем водневої енергетики.

Висвітлено загальні питання фундаментально-прикладних аспектів походження водню.

Наведено результати наукових розробок з картування водню, виконаних у рамках наукових і практичних пошукових і геоекологічних досліджень на понад 200 вуглеводневих об'єктах на суходолі (включаючи шахтні поля) та в морських акваторіях. Обґрунтовано прогнозно-пошукові системні критерії, де складовою частиною комплексу методичних рішень вперше в пошуковій практиці використовувався водень.

Показано важливість вирішення проблеми геоекологічних процесів і подій у шахтних виробках та свердловинах, з якими пов'язані численні катастрофи. За багатьма дослідженнями шахтних масивів наводиться розроблений комплекс упереджуvalьних заходів та критеріїв, що унеможливлюють вибухонебезпечні процеси.

Наведено наявність унікального природного комплексу складових водневої технології, сонячних та вітрових енергоресурсів та прісних вод придунайських озер та Дунаю.

Відображені вирішальну роль України в змаганні за першість у наукових розробках. Вперше у світовій практиці обґрунтовано впровадження глобальних проектів з видобування та виробництва зеленого та білого водню.

Технологія апробована на численних родовищах вуглеводнів, водних ресурсів і в шахтних виробках, і тому має всі перспективи для ефективного застосування при пошуках і видобутку водню.

Ця монографія може бути корисною та інформативною для фахівців у галузі геології нафти і газу, загальної та регіональної геології, гідрології, охорони довкілля, студентів та аспірантів паливно-енергетичного, нафтогазо-геологічного і гідрологічного напрямів, а також вітчизняних і зарубіжних інвесторів.

The research studied the pressing problem of the fuel and energy strategy of the XXI century. For the first time, there was shown the diversity of the authors' approach to theoretical and applied problems of hydrogen energy.

General issues of fundamental and applied aspects of hydrogen origin were covered.

The study provides the results of scientific developments on hydrogen mapping performed within the framework of scientific and practical exploratory and geo-ecological research on more than 200 hydrocarbon objects both on land (including mining fields) and in marine water areas. Prognostic and search system criteria were substantiated, with hydrogen being used for the first time as a component of the complex of methodical solutions in the search practice.

The research showed the importance of solving the problem of geo-ecological processes and accidents in mine workings and wells, connected to numerous disasters. According to numerous studies of mine masses, a set of preventive measures and criteria that prevent explosive processes was provided.

The presence of a unique complex of natural components of hydrogen technology, solar and wind energy resources and fresh waters of the Danube lakes and the Danube was stated.

The study emphasises the decisive role of Ukraine in the competition for primacy in scientific developments. For the first time in world practice, the implementation of global projects for the extraction and production of green and white hydrogen was substantiated.

The technology was tested on numerous hydrocarbon deposits, water resources and mine workings and therefore has all the prospects for the effective application in the search and extraction of hydrogen.

This monograph can be useful and informative for specialists in the fields of oil and gas geology, general and regional geology, hydrology, environmental protection, as well as for the students and postgraduate students of fuel and energy, oil and gas geological and hydrological areas, as well as for domestic and foreign investors.

*Монографічна робота виходить за підтримки  
Державної комісії України по запасах корисних копалин,  
Диверсифікований енергетичний холдинг – ДТЕК,  
Енергетичної асоціації "Українська воднева рада"*

**ISBN 978-966-7896-87-4**

© Багрій I. Д., Репкін О. О., Забулонос Ю. Л., Вижва С. А., Хрушев Д. П., Паюк С. О., Щуров I. В., Гафіч I. П., Криль Я. М., Русаков О. М., Попов О. О., Ковач В. О., Маслун Н. В., Іванік О. М., Шевчук О. А., Лесків I. В., Руденко Ю. Ф., Семенюк В. Г., Сіра Н. В., Гришаненко В. П., Солодкий Е. В., Дубосарский В. Р., Довбиш Н. С., Мамишев I. Е., Ліхван В. М., Кузьменко С. О., Коваль А. М., Стародубець К. М.

© Інститут геологічних наук НАН України, 2023

### Олександр Рєпкін

Президент Енергетичної асоціації  
«Українська воднева рада»

Прискорене впровадження відновлюваних джерел енергії започаткувало глобальну енергетичну трансформацію: водень було визначено як важливу царину для подальшого аналізу, враховуючи нещодавній сплеск зацікавленості. Кілька разів у минулому водень привертав велику увагу, але залишався нішевою в глобальному енергетичному дискурсі. Сьогодні фокус політики є безпрецедентним, враховуючи його центральну роль у декарбонізації енергетики. Водень стає універсальним екологічно чистим енергоносієм, що пов'язує різні галузі економіки, підвищуючи їх ефективність та безпеку. Зокрема, використання «зеленого» водню зумовлено нагальною потребою у вирішенні однієї з найважливіших проблем світового рівня — зміни клімату.

Побудова глобальних ланцюжків вартості чистого водню принесе геоекономічні та geopolітичні зміни. Найважливішим є той факт, що «зелений» водень може змінити правила гри для зменшення викидів і досягнення кліматичної нейтральності, не перешкоджаючи економічному та соціальному розвитку. Трансформаційні можливості водню виходять за межі його оціночної ринкової вартості. Водень найкраще розглядати як універсальний енергоносій, який може сприяти інноваціям у багатьох галузях і секторах. Що ще важливіше, поштовх до розробки чистого водню як основного носія енергії, ймовірно, порушить поточні ланцюжки вартості енергії та створить можливості для більшої кількості країн відігравати значну роль у водневій енергетиці. Згодом це може навіть привести до абсолютно нової економічної географії промислової діяльності. Зараз уряди різних країн мають унікальну можливість сформувати масштабну появу зеленого водню, сприяючи створенню ринків, які сприяють енергетичній трансформації, уникаючи існуючих обмежень і неефективності, зменшуючи нерівність і впливаючи на geopolітичні результати в напрямку чистіших і справедливіших енергетичних систем.

Україна ідеально розташована для того, щоб стати одним з основних постачальників «зеленого» водню для Європи. Завдяки своїй великій території та узбережжю Чорного моря країна має величезний невикористаний потенціал для наземної та морської вітрової та сонячної енергії. Українська газотранспортна система може бути переорієнтована на постачання зеленого водню. Викликів багато, але й можливостей теж.



### Oleksandr Riepkin

President of the Energy Association  
«Ukrainian Hydrogen Council»

The accelerated implementation of renewable energy sources has ushered in a global energy transformation — hydrogen has been identified as an important area for further analysis taking into account the recent surge of interest. Hydrogen attracted

a lot of attention several times in the past, but it remained a niche in the global energy discourse. Today, the policy focus is unprecedented, taking into account its central role in energy decarbonisation. Hydrogen is becoming a versatile environmentally friendly energy carrier that connects various sectors of the economy, increasing their efficiency and safety. In particular, the use of “green” hydrogen is due to the urgent need to solve one of the most important global problems — climate change.

The construction of global pure hydrogen value chains will bring geoeconomic and geopolitical changes. Most importantly, green hydrogen can be a game changer for reducing emissions and achieving climate neutrality without hindering economic and social development. The transformational potential of hydrogen goes beyond its estimated market value. Hydrogen is best thought of as a versatile energy carrier that can drive innovation in many industries and sectors. More importantly, the push to develop clean hydrogen as the main energy carrier is likely to disrupt current energy value chains and create opportunities for more countries to play a significant role in hydrogen energy. Eventually, it may even lead to a completely new economic geography of industrial activities. Governments of different countries now have a unique opportunity to contribute to the large-scale emergence of green hydrogen by helping to create markets that facilitate the energy transformation, avoiding existing constraints and inefficiencies, reducing inequality and influencing geopolitical outcomes towards cleaner and fairer energy systems.

Ukraine is ideally situated to become one of the main “green” hydrogen suppliers to Europe. Due to its large territory and the Black Sea coast, the country has a huge untapped potential for onshore and offshore wind and solar energy. The Ukrainian gas transportation system can be reoriented to the green hydrogen supply. There are a lot of challenges, but there are also a lot of opportunities.

---

## ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Ігор Дмитрович  
БАГРІЙ



## EDITOR-IN-CHIEF

Ihor Dmytrovych  
BAGRIY

Завідувач відділу геоекології та пошукових досліджень Інституту геологічних наук НАН України, доктор геологічних наук, професор, академік Української нафтогазової академії. Розробник нової методології пошуків корисних копалин (вуглеводнів, водню, гелію, підземних вод) як на суходолі, так і на морі із застосуванням комплексу приповерхневих структурно-термо-атмогідрологого-геохімічних методів досліджень (СТАГГД).

Виконання польових, лабораторно-аналітичних, геоінформаційних робіт із пошуків корисних копалин та геоекологічних досліджень забезпечується спеціальним апаратурним комплексом, розробленим під керівництвом та за авторської участі І. Д. Багрія. Методика СТАГГД та створені апаратурні комплекси захищені Державними патентами України і Свідоцтвами на реєстрацію авторських прав.

Автор та співавтор понад 125 наукових опублікованих робіт, з яких 21 монографія, 90 статей, 15 винаходів (патенти та авторські свідоцтва). За комплекс робіт, пов'язаних з покращенням екологічного стану гірничо-промислових районів і промислово-міських агломерацій України, удостоєний звання лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки, ліквідатор наслідків аварії на ЧАЕС.

Head of the Geoeology and Exploration Research Department of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Geological Sciences, Professor, Academician of the Ukrainian Oil and Gas Academy. The developer of a new methodology for prospecting for minerals (hydrocarbons, hydrogen, helium, underground water) both on land and at sea using a complex of near-surface structural-thermo-atmosphere-hydrologic-geochemical research methods.

The performance of field, laboratory-analytical, geo-informational work on the search for minerals and geo-ecological research is ensured by a special equipment complex, developed under the leadership and with the author's participation of I. D. Baghria. The STAGGD methodology and the created hardware complexes are protected by State patents of Ukraine and Certificates of copyright registration.

Author and co-author of more than 125 scientific published works, including 21 monographs, 90 articles, 15 inventions (patents and copyright certificates). For a complex of works related to the improvement of the ecological condition of mining and industrial areas and industrial urban agglomerations of Ukraine, he was awarded the title of laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology, liquidator of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant.

Папа Римський Франциск закликав до негайних дій для вирішення кліматичної кризи. Глава Святого престолу запропонував три напрямки діяльності у своєму відеозверненні у рамках кампанії «Зворотний відлік».

На думку Понтифіка, необхідно виховувати в людях усвідомлення невіддільності проблем довкілля від людських потреб, забезпечити доступ до продовольства та питної води, а також поступово і водночас негайно заміщати викопне паливо чистими джерелами енергії.

Можна «ігнорувати тягар незаможних і катувати» планету, а можна змінювати нинішній спосіб життя «на всіх рівнях», наголосив глава Святого престолу.

**Через глобальне потепління людство може не дожити до наступного століття, — Організація Об'єднаних націй (ООН).**

ООН, 5 квітня 2022 року (Сіньхуа) — Якщо уряди у всьому світі не переглянуть свою енергетичну політику, світ стане непридатним для життя. Про це заявив генеральний секретар ООН Антоніу Гуттерреш, коментуючи останні висновки Міжнародної групи експертів щодо зміни клімату (МГЕЗК).

Генеральний секретар ООН Антоніу Гуттерреш нагадав, що, за даними вчених, необхідно утримувати підвищення глобальної температури на рівні 1,5 °C. Проте наразі цього ще не спромоглися досягти.

«Мільярди людей в усьому світі вже страждають від нашої бездіяльності. Через вкорінену залежність від викопного палива ми тупцюємо на місці. Глобальні кліматичні зміни спричиняють безпредecedентні лісові пожежі, інтенсивні і часті циклони, повені, посухи та інші екстремальні погодні явища», — наголосив він.

Його коментарі відображають наполегливість Міжурядової групи експертів з питань змін клімату (МГЕЗК) у тому, що всі країни мають суттєво скоротити споживання викопного палива, розширити доступ до електроенергії, підвищити енергоефективність та збільшити використання альтернативних видів палива, таких, як водень.

Якщо заходів не буде вжито найближчим часом, деякі великі міста опиняться під водою, заявив А. Гуттереш у відеозверненні, прогнозуючи «безпредecedентні хвилі спеки, жахливі

Pope Francis called for immediate action to solve the climate crisis. The Head of the Holy See proposed three areas of activity in his video message as part of the «Countdown» campaign.

According to the Pontiff, it is necessary to educate people about the inseparability of environmental problems from human needs, to ensure access to food and drinking water, and to gradually and at the same time immediately replace fossil fuels with clean energy sources.



of the Holy See emphasized.

**Due to global warming, humanity may not live into the next century, — United Nations (UN).**

UN, April 5, 2022 (Xinhua) — unless governments worldwide reassess their energy policies, the world will be unlivable. This was stated by UN Secretary General Antonio Guterres, commenting on the latest conclusions of the International Panel of Experts on Climate Change (IPCC).

UN Secretary General Antonio Guterres reminded that, according to scientists, it is necessary to maintain the increase in global temperature at the level of 1.5 °C. However, he has not yet managed to achieve this.

«Billions of people around the world are already suffering because of our inaction. Because of our entrenched dependence on fossil fuels, we are trampling in place. Global climate change is causing unprecedented forest fires, intense and frequent cyclones, floods, droughts and other extreme weather events,» he stressed.



His comments reflect the IPCC's insistence that all countries must significantly reduce fossil fuel consumption, expand access to electricity, improve energy efficiency and increase the use of alternative fuels such as hydrogen.

---

шторми, повний брак води та зникнення мільйонів видів рослин та тварин».

Високопоставлений представник ООН додав, що «це не вигадка і не перебільшення. Як каже наука, це те, що стане результатом нашої нинішньої енергетичної політики. Ми знаходимся на шляху до глобального потепління, яке більш ніж удвічі перевищить гранічний рівень 1,5 градуса «за Цельсієм», який був узгоджений у Парижі у 2015 році.

Надаючи наукові докази на підтримку цієї жахливої оцінки, у доповіді МГЕЗК, написаній сотнями провідних учених та схваленій 195 країнами, зазначається, що викиди парникових газів, спричинені діяльністю людства, збільшилися з 2010 року «в усіх основних секторах у всьому світі».

Наполягаючи на можливості скоротити викиди вдвічі до 2030 року, МГЕЗК закликала уряди активізувати дії щодо обмеження викидів та пошуків альтернативних енергетичних джерел.

МГЕЗК також вітала значне зниження вартості відновлюваних джерел енергії з 2010 року, зокрема зниження на 85 відсотків вартості сонячної та вітрової енергії, а також батарей.

Антоніу Гуттерреш пропонує такий план:

- пріоритетні інвестиції в «зелені» робочі місця;
- відмова від підтримки галузей промисловості, що забруднюють довкілля;
- припинення субсидування підприємств, які займаються видобутком і переробкою викопного палива;
- розрахунки кліматичних ризиків при прийнятті будь-яких фінансових і політичних рішень;
- глобальне співробітництво за принципами взаємодопомоги і солідарності;
- допомога державам, які відстають в боротьбі за здоровий клімат на планеті.

If action is not taken soon, some major cities will be under water, A. Guterres said in a video address, predicting «unprecedented heat waves, terrible storms, total lack of water and the disappearance of a million species of plants and animals.»

The high-ranking representative of the UN added that «this is not a fiction or an exaggeration. As science says, this is what will result from our current energy policies. We are on track for global warming to more than double the 1.5 degrees Celsius limit agreed in Paris in 2015.

Providing scientific evidence to support this dire assessment, the IPCC report, written by hundreds of leading scientists and endorsed by 195 countries, notes that human-caused greenhouse gas emissions have increased since 2010 «in all major sectors worldwide.»

Insisting on the possibility of halving emissions by 2030, the IPCC called on governments to step up actions to limit emissions and search for alternative energy sources.

The IPCC also welcomed the significant reduction in the cost of renewable energy since 2010, including an 85 percent reduction in the cost of solar and wind power, as well as batteries.

Antonio Guterres proposes such the plan:

- priority investments in «green» workplaces;
- refusal to support industries that pollute the environment;
- termination of subsidization of enterprises engaged in extraction and processing of fossil fuels;
- climate risk calculations when making any financial and political decisions;
- global cooperation based on the principles of mutual aid and solidarity;
- assistance to countries lagging behind in the struggle for a healthy climate on the planet.



Photo: AFP / Science Photo Library / Victor de Schwanberg

# 4 РОЗДІЛ

# SECTION 4

## ГАЗОГЕОХІМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ, РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАПОБІГАННЯ ОХРУПЧУВАННЮ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОГОНІВ

## DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF MONITORING OF CORROSION PROCESSES OF HYDROGEN DEGASATION IN EMBRILLATION ZONES DURING THE OPERATION OF GAS PIPELINE

Трубопроводи для нафти та газу при наявності корозії-охрупчуваності металу створюють значні ризики руйнувань у системах промислового та магістрального транспорту вуглеводнів. Одна з основних причин такого процесу, який протікає під ізоляційним покриттям, знаходитьться, за даними багатьох дослідників, у зоні проявів водневих аномалій. У таких місцях ізоляційне покриття на трубопроводі відшаровується від металу, виникають мікротріщини та пори; в результаті волога поширяється на зовнішній поверхні труби і викликає корозійні процеси — охрупчування. Крім того, не виключено, що корозія посилюється електрохімічними процесами, а також за рахунок підтоків газової дифузії газу-водню з мантійних товщ, що формуються в зонах розташування трубопровода. Як надзвичайно проникний газ, водень приходить до здуття, відшаровує ізоляцію і при виході через мікропори та тріщини покриття розширює дефекти, створюючи можливість не тільки проникнення вологи до поверхні труб, а й безпосередньо впливає на міцність металу, викликаючи корозію та тріщинуватість — охрупчування. За результатами проведених досліджень, процеси охрупчування проходять здебільшого в зонах проходження трубопроводів по нафтогазонесучих структурах, де фіксуються виходи водню.

У наш час у світовій практиці виявлення та локалізація корозійних пошкоджень трубопроводів проводиться двома основними способами — за допомогою внутрішньотрубної діагностики та електрометричного обстеження. Електрометрія дозволяє достовірно виявляти корозійні ураження за наявності помітних дефектів як на ізоляційному покрит-

Pipelines for oil and gas create significant risks of destruction in the systems of industrial and main transportation of hydrocarbons in the presence of corrosion-embrittlement of metal. According to many researchers one of the main reasons for this process is in the area of hydrogen anomalies. It occurs under insulating coating. Insulating coating on the pipeline is peeled off from the metal in such places. Microcracks and pores appear; then moisture spreads to outer surface of the pipe and causes corrosion processes — embrittlement. In addition, it is not excluded that corrosion is intensified due to electrochemical processes and due to undercurrents of gaseous diffusion of hydrogen gas from the mantle strata formed in the areas of the pipeline location. Hydrogen is extremely permeable gas. It leads to swelling, insulation peeling off and defects expanding. The situation creates possibility for moisture penetration to the pipes surface. It also directly affects strength of the metal causing corrosion, cracking and embrittlement. Results of the studies show that embrittlement processes take place mostly in the areas where pipelines pass through oil and gas-bearing structures. In such places hydrogen exits are recorded.

Currently detection and localization of corrosion damage to pipelines is carried out in two main ways: by intra-pipe diagnostics and electrometric examination. Electrometry allows reliable detection of corrosion damage in the presence of visible defects on the insulating coating and directly on the body of the product line. Both methods have limitations and do not always allow to determine place of possible sub-

ті, так і безпосередньо на тілі продуктопроводу. Обидва способи мають свої обмеження і не завжди дозволяють визначити місце можливої підплівкової корозії на поверхні труби. За пропозицією представників «Укртрансгазу» нами проведені дослідження з картування водневих аномалій як в зонах виявленіх дефектів, так і на опошукованих тестових ділянках.

Інститутом геологічних наук запропоновано принципово новий метод моніторингу корозійного процесу на стадії його зародження, заснований на реєстрації фіксації водню в зонах природної дифузії, що фіксується інструментально за спеціальною технологією [Патент ..., 2019] та спеціальним селективним апаратурним пристроєм (рис. 4.1).



Fig. 4.1. Selective hardware complex for hydrogen determination

Проведені профільні дослідження згідно з запропонованою технологією на вміст водню безпосередньо над трасою газогону та спеціально створеного та сертифікованого обладнання дозволило закартувати розподіл водневих газів від фонових (10-20 ppm) до аномальних (>200 ppm), що були зафіксовані на трасі проходження газогону.

Така закономірність розподілу водневої складової, за даними наших тестових досліджень, чітко збігається з результатами тестування згідно з внутрішньотрубною діагностикою з виявлення корозійних ушкоджень трубопроводів.

Запропонований метод прямопошукової технології водневих аномалій та спеціально створені апаратурні комплекси показали високу ефективність й дозволили визначити газохі-

film corrosion on the pipe surface. We conducted research on mapping hydrogen anomalies both in the areas of detected defects and in the searched test areas at suggestion of Ukrtransgaz representatives.

The Institute of Geological Sciences proposed fundamentally new method of corrosion process monitoring at its nascent stage. It is based on registration of hydrogen fixation in natural diffusion zones. Such zones are fixed instrumentally using special technology [Patent ..., 2019] and special selective hardware device (Fig. 4.1).

Profile studies were conducted according to the proposed technology on the hydrogen content directly above the gas pipeline route. Specially created and certified equipment made possible to map hydrogen distribution from background (10-20 ppm) to anomalous (>200 ppm) that were recorded on the gas pipeline route.

Our test studies showed that this regularity of hydrogen distribution clearly coincides with testing results according to the intra-pipe diagnostics for corrosion damage detection of pipelines as indicated above.

The proposed method of direct search technology for hydrogen anomalies and specially created equipment complexes showed high efficiency and made possible to determine gas-chemical anomalies in profile and in area

мічні аномалії як у профільних, так і в площинних зйомках у зонах розташування газогону. Максимальні зафіковані значення водню збігаються із зонами охрупчування, а на тестових ділянках, де охрупчування було відсутнє, аномалії водневих газів теж були відсутні.

Крім того, аналітичні результати газогеохімічних критеріальних ознак, отриманих безпосередньо в польових дослідженнях спеціально створеним апаратурним комплексом, контролювались у лабораторії Інституту аналітичним хромотографічним обладнанням — дублюючих проб, які відбирають з одного шпура, що практично унеможливлювало похибки вимірювань, отриманих безпосередньо над об'єктом досліджень — трубопроводом (рис. 4.2, 4.3).

surveys in the areas where the gas pipes are located. Maximum recorded values of hydrogen coincide with embrittlement zones. Anomalies of hydrogen gases were absent in the test areas where embrittlement was absent.

Analytical results of gas-geochemical criteria were obtained directly during field studies by specially created apparatus complex. They were monitored in the laboratory of the Institute by analytical chromatographic equipment — duplicate samples taken from one hole. They allowed to exclude errors obtained directly in pipeline (Fig. 4.2, 4.3).



Fig. 4.2. Profile field studies on hydrogen concentrations mapping in the area of gas pipelines.

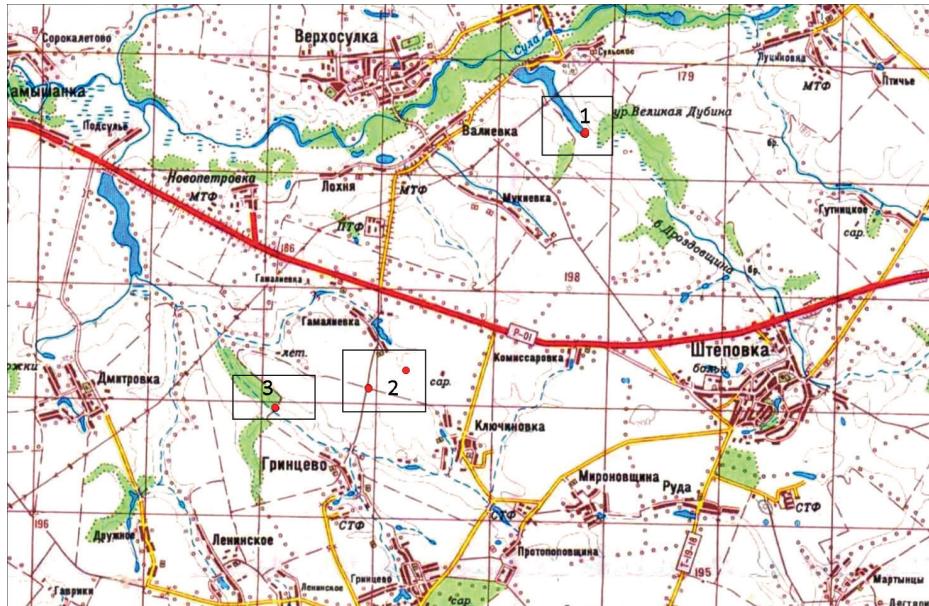


Fig. 4.3. Gas samples selection in vials for control measurements of hydrogen on chromatographs

Нижче наведені результати досліджень проявів водню як в районах зосередження аварійних тестових ділянок газогонів, так і на ділянках фонових значень.

При проведенні польових геохімічних досліджень на вміст водню виявлені зони на ділянках газогону збіглись з зонами виявленіх охрупчувань (рис. 4.4-4.7).

Fig. 4.4. Soil gases research for hydrogen content in the area of location of affected areas of gas pipeline  
● – location of research



Апробація тестових досліджень — технологія, апаратурний комплекс — дозволила виявити і підтвердити ділянки підвищених концентрацій  $H_2$ -водню в зонах розташування трубопроводу з осередками охрупчування та корозії (рис. 4.8), що були виявлені традиційними методами дефектоскопії, а також провести комплекс досліджень у зонах проходження газопроводу, де відсутні, згідно з проведеними вимірюваннями, аномальні прояви водню, та відсутні процеси охрупчування.

Fig. 4.5. Study of soil gases for hydrogen content in places near the gas pipeline near Lokhvytsia - Skorobogatskyi oil and gas field in the area of salt shafts.  
Location №3



Space photographs of the area show the locations of soil gas sampling. Values of hydrogen content are detected in parts per million of gas volume.  
\*- all sampling points have fixed GPS coordinates (accuracy up to 1.5 m)

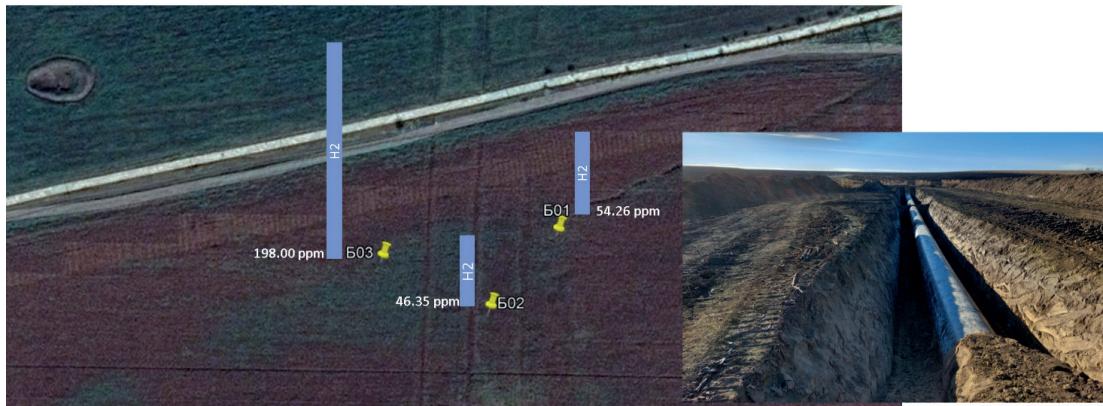
Below there are results of studies of hydrogen manifestations in the concentration areas of emergency test sections of gas pipelines and in areas of background values.

Detected zones in the areas of the gas furnace coincided with the detected embrittlement zones (Figs. 4.4-4.7) during conducting field geochemical research on the hydrogen content.

Test studies include technology and equipment complex. Their approbation made possible to identify and confirm areas of increased concentrations of hydrogen in the areas of pipeline with embrittlement and corrosion centers (Fig 4.8). They were detected (as indicated above) by traditional methods of defectoscopy. Test studies also allowed to carry out complex of studies in the gas pipeline passage zones. According to the measurements there are no anomalous manifestations of hydrogen, and there are no embrittlement processes in the pipelines zones.

Зафіковані підвищені концентрації водню в зонах охрупчування трубопроводів.

Increased concentrations of hydrogen were recorded in the embrittlement zones of the pipelines.



Space photographs of the area show the locations of soil gas sampling. Values of hydrogen content are detected in parts per million of gas volume.

\* - all sampling points have fixed GPS coordinates (accuracy up to 1.5 m)

Fig. 4.6. Locations of soil gas sampling for hydrogen content. Location №4.



Fig. 4.7. Areas of damage - embrittlement.

На тестовій ділянці, де зафіковані фонові значення водню, охрупчування не виявлено.

Проведені нами дослідження з картуванням водневих проявів на нафтогазових структурах України протягом останніх двадцяти років дають підстави стверджувати, що водневі газові площинні аномалії не змінюються як у часі, так і на площах, тому їх фіксація може мати чітку прив'язку до місцевості, що, в кінцевому рахунку, дає можливість їх чіткої інструментальної прив'язки та впроваджувати заходи в зоні критичних газопроявів у вигляді обладнання вентиляційних пристрій, що не потребують значних затратних впроваджень.

Досвід проведених досліджень аномальних водневих проявів у зонах їх розташування, зафікованих як в часовому так і в просторово-му розрізах (на нафтогазоносних та опушку-

Background values of hydrogen embrittlement were recorded at the test site. Embrittlement was not recorded there.

We have conducted research on hydrogen manifestations mapping on the oil and gas structures of Ukraine over the last twenty years. It gives grounds for asserting that hydrogen gas planar anomalies are not changed in time and in areas. Therefore, their fixation can have clear connection to area which makes possible for them to be clearly instrumentally connected. It also possible to implement measures that do not require significant costly implementations in the area of critical gas manifestations in the form of ventilation device equipment.

Research of anomalous hydrogen manifestations in the location zones testify their stability in time and space.

ваних об'єктах), в кінцевому рахунку, свідчить про їх стабільність як в часі, так і в просторі (площах).

Впровадження детальних газогеохімічних водневих профільних досліджень із визначенням глибин шпурової зйомки в жодному разі не несе загрози (пошкодження) транспортному

Implementation of detailed gas-geochemical hydrogen profile studies with determination of borehole survey depths does not pose a threat (damage) to the transport gas pipeline and auxiliary technical communications. Practice showed that such studies will make possible to record anomalous manifestations

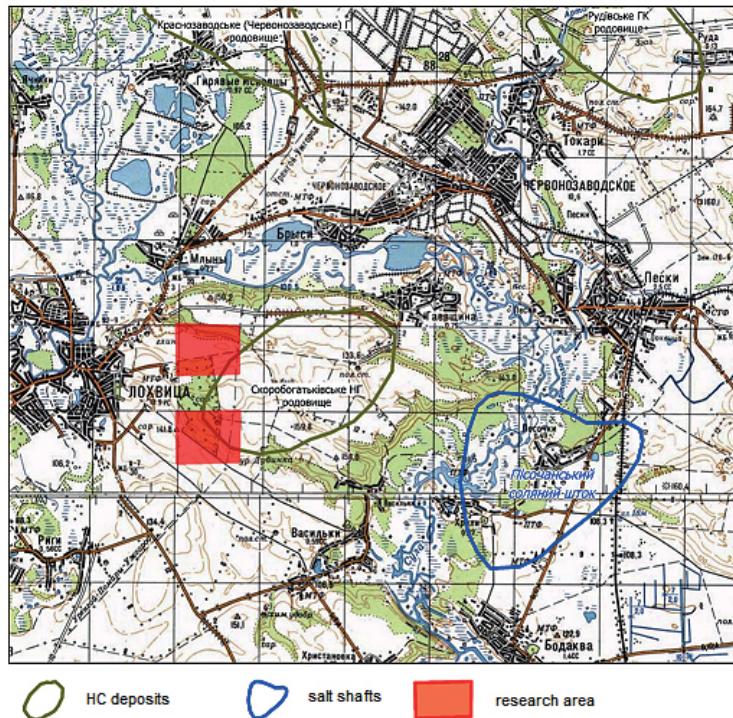


Fig. 4.8. Locations of soil gas sampling for hydrogen content.  
Location №3

газогону, а також допоміжним технічним комунаціям. Такі дослідження, як показала практика, дадуть змогу зафіксувати аномальні прояви водневих концентрацій, що впливають на процеси охрупчування трубопроводу-газогону, та, як було наведено вище, дозволять приймати оперативні рішення щодо їх упередження.

of hydrogen concentrations affecting embrittlement processes of the pipelines. It is also useful to make operational decisions regarding their prejudice.

## ВИСНОВКИ

На сучасному етапі деградації кліматичних умов планети, що ставить під загрозу існування людства та планети Земля, проблема водневої енергетики є найактуальнішою в паливно-енергетичній галузі, і геології зокрема. Сумарні запаси паливних ресурсів досить великі, до того ж щороку стають відомими нові поклади викопного палива. Перспективним напрямом у розвитку енергетики є використання водню як палива. Водень — висококалорійний газ, який може знайти застосування в багатьох сферах промисловості. Великою перевагою водню є те, що при його спалюванні утворюється лише пара води. Отже, водень також є екологічно чистим ідеальним паливом. Сучасні технології відкривають доступ до використання нетradiційних джерел енергетики, що приведе людство до нових екологічно-безпечних концепцій створення практично невичерпного енергетичного джерела для нащадків. Надані концептуальні підходи свідчать на користь того, що абсолютного дефіциту енергетичних ресурсів на планеті поки що не існує. До важливих стратегічних напрямків геологічної науки належать прогнозно-пошукові системні технології комплексних досліджень, де складовою частиною комплексу методичних рішень вперше в пошуковій практиці використовувався водень. Переход до водневої енергетики є перспективним ще й тому, що водень є універсальною енергетичною сировиною. Потреба в такому паливі дуже актуальна, якщо врахувати, що основним джерелом забруднення повітря у містах є продукти неповного згоряння вуглевмісного природного палива.

Останні події, що відбуваються у світовій енергетичній системі, вимагають від України термінового усвідомлення щодо прийняття нових технологічних рішень, необхідності відродження та повернення державі авторитету потужного світового енергетичного гравця на кшталт світової хлібної житниці.

Важливим завданням, яке ставили перед собою автори монографічної роботи, були розробка та впровадження широкого спектру інноваційних технологій щодо виробництва (зелений водень) та пошуку і видобутку (білий водень). В Україні є водневі дегазаційні структури з великим потенціалом у відкладах протерозою та фанерозою. Проведений комплексний аналіз геолого-структурних, гідрологічно-гідрогеологічних матеріалів, що виконувався протягом майже 30 років у рам-

## CONCLUSIONS

At the current stage of degradation of the planet's climatic conditions, which threatens the existence of humanity and the planet Earth, the problem of hydrogen energy is the most urgent in the fuel and energy industry and geology in particular. The total reserves of fuel resources are quite large, in addition, new deposits of fossil fuels become known every year. A promising direction in the development of energy is the use of hydrogen as a fuel. Hydrogen is a high-calorie gas that can be used in many areas of industry. A great advantage of hydrogen is that when it is burned, only water vapor is formed. Hence, hydrogen is also an ideal environmentally friendly fuel. Modern technologies open access to the use of non-traditional sources of energy, which leads humanity to new ecologically safe concepts of creating an almost inexhaustible source of energy for posterity. The presented conceptual approaches testify in favor of the fact that there is no absolute shortage of energy resources on the planet yet. Among the important strategic directions of geological science are forecasting and search system technologies of complex research, where for the first time in search practice hydrogen was used as a component of the complex of methodological solutions. The transition to hydrogen energy is also promising because hydrogen is a universal energy raw material. The need for such fuel is very urgent, given that the main source of air pollution in cities are products of incomplete combustion of carbon-containing natural fuels.

The latest events in the world energy system require from Ukraine to urgently return to the Country Her authority of a powerful global energy player just as Ukraine's image of a world's global breadbasket.

An important task that the authors of the monography was the development and implementation of a wide range of innovative technologies for production (green hydrogen) and search and extraction (white hydrogen). In Ukraine, there are hydrogen degassing structures with great potential in Proterozoic and Phanerozoic deposits. A comprehensive analysis of geo-structural, hydrological and hydrogeological materials, carried out for nearly 30 years within the framework of scientific fundamental and applied research basing on search objects with the purpose of proving the mapping of the promising sites for laying para-

ках наукових фундаментальних і прикладних досліджень на пошукових об'єктах з метою обґрунтування картування перспективних місць для закладення параметричних і промислових свердловин на питні, термальні води, ВВ (нафта, газ), дегазаційних свердловин у зонах розвитку газодинамічних явищ у шахтних виробках, дозволив встановити просторово-кількісні характеристики вуглеводневих родовищ і їх еманаційно-газових індикаторів гелію та водню.

Наведені багаторічні результати досліджень із картування нафтогазоносних ділянок на традиційних і нетрадиційних об'єктах (шахтні поля, шельфові зони, астроблеми) дозволили створити доказову базу даних системних критеріїв пошукової технології СТАГГД, де складовою частиною комплексу методичних рішень вперше в пошуковій практиці використовувався водень як головний складовий елемент ВВ. Комплексна системна інтерпретація результатів СТАГГД дозволила вже на попередньому регіональному пошуковому етапі виділити 25 морських та 98 на суходолі продуктивних нафтогазоносних площ (коєфіцієнт успішності — приблизно 90%), а також зафіксувати в межах досліджуваних площ значні концентрації водню в одиночних продуктивних газових свердловин. Фіксація аномально екстремальних проявів водню площинними зйомками за геолого-структурними, геотермічними та іншими ознаками дозволила встановити закономірність розподілу екстремальних значень водню на досліджуваних територіях. Тому необхідно провести в зонах площинних водневих аномалій і водонасичених свердловин більш детальні площинні зйомки з детальністю картування сотні або навіть десятки метрів, які дозволили б оконтурити площинні водневі аномалії з метою обґрунтування постановки науково-параметричних досліджень як у плановому, так і у вертикальному розрізі.

Технологія апробована на численних родовищах ВВ і в шахтних виробках, тому має всі перспективи для ефективного застосування при пошуках і видобутку водню та для вирішення однієї з найболячіших екологічних проблем — безпечного відпрацювання вугільних родовищ.

За аналізом результатів розподілу водневих концентрацій нами виділено аномальні поодинокі значення водню на площах, профілях, продуктивних св. та запропоновано дегазаційне буріння на початкових стадіях освоєння шахтних об'єктів, яке унеможливить аварійні процеси газодинамічних явищ. Обґрунтування і постановка робіт з оцінки перспектив вияв-

metric and industrial wells for drinking water, thermal water, hydrocarbon (oil, gas), degassing wells in the zones of gas-dynamic phenomena in mine workings, allowed establishing the spatial-quantitative characteristics of hydrocarbon deposits and their emanation-gas helium and hydrogen indicators.

The presented long-term results of research on the mapping of oil and gas-bearing areas on traditional and non-traditional objects (mine fields, shelf areas, astroblems) made it possible to create an evidential database of system criteria of the STAHR search technology, where, for the first time in search practice, hydrogen was used as the main component as part of the complex of methodological solutions element of HC. The complex system interpretation of the results of the STAHR made it possible already at the previous regional search stage to identify 25 offshore and 98 onshore productive oil and gas areas (success rate — approximately 90%), as well as to record significant concentrations of hydrogen in individual productive gas wells within the studied areas. Fixation of anomalously extreme manifestations of hydrogen by plane surveys according to geological-structural, geothermal and other features made it possible to establish the regularity of the distribution of extreme values of hydrogen in the studied territories. Therefore, it is necessary to carry out more detailed plane surveys with a mapping detail of hundreds or even tens of meters in the zones of planar hydrogen anomalies and water-saturated wells, which would allow outlining planar hydrogen anomalies in order to substantiate the setting of scientific parametric studies both in plan and vertical section.

The technology has been tested on numerous hydrocarbon deposits and in mine workings, therefore it has all the prospects for effective use in the search and extraction of hydrogen and solving one of the most painful environmental problems — the safe exploitation of coal deposits.

Based on the analysis of the results of the distribution of hydrogen concentrations, we identified anomalous single values of hydrogen on areas, profiles, and productive wells and proposed degassing drilling at the initial stages of the development of mine facilities, which will prevent emergency processes of gas-dynamic phenomena. The substantiation and staging of works on the assessment of prospects for the detection of industrial accumulations of endogenous hydrogen in the lithosphere should be carried out within the

---

лення промислових скупчень ендогенного водню в літосфері повинні проводитись у рамках наукових досліджень НАН України. Вони актуальні, своєчасні і мають чітко виражену інноваційну складову, важливу для модернізації української економіки та її сталого соціально-економічного розвитку.

*Впровадження запропонованої технології та комплексу природних потужностей, якими володіє Україна, неодмінно скасує інтерес до неекологічного срого вартісного водню та його виробників. Така стратегія дозволить вже на першому етапі відтіснити недобропорядних конкурентних виробників, та в стислі терміни вийти у світові лідери з виробництва енергетичної сировини майбутнього.*

У приведений монографічній праці авторами вперше у світовій практиці на основі значного обсягу фундаментально-прикладних досліджень пропонується до впровадження ґрунтовна конкурентостпроможна стратегія, яка неодмінно виведе Україну на чільне місце в реалізації пошукової та екологічно безпечної водневої стратегії (зеленого, білого водню) на основі фундаментального та прикладного підґрунтя. Створити та використати комплекс екологічно виважених підходів до природних джерел — наявних компонентів білого природного водню в зонах розташування традиційних та нетрадиційних родовищ ВВ, підшахтних ВВ, а також безальтернативного використання унікальних природних комплексів складових елементів зеленого водню — сонячної та вітрової енергії, використовуючи практичні глобальні можливості площин дзеркал водних об'єктів, а також майже безмежне використання прісних водних ресурсів гирла р. Дунай (головної енергетичної водневої сировини з урахуванням їх кількісних та якісних характеристик), які безповоротно впадають у морські акваторії. Запропонований екологічно обґрунтований природний комплекс вироблення зеленого водню не нанесе жодної екологічної шкоди довкіллю, передбачає в зонах розташування глобальних споруд створення та розробку інфраструктури унікальних непроникних сховищ в існуючих геологічних соленосних формaciях об'єктів надійних сховищ із зберіганням водневої продукції та використання існуючих транспортних вітчизняних та експортних логістичних шляхів доставки водню для власних потреб та потреб європейської спільноти. Наведені проривні успіхи можливі за використанням спільних напрацювань на стратегічних напрямках водневих технологій за участі

framework of scientific research of the National Academy of Sciences of Ukraine. They are relevant, timely and have a clearly expressed innovative component, which is important for the modernization of the Ukrainian economy and its sustainable socio-economic development.

*The implementation of the proposed technology and the complex of natural capacities that Ukraine possesses will certainly cancel the interest in non-ecological gray valuable hydrogen and their producers. Such a strategy will make it possible to displace unscrupulous competitive producers already at the first stage, and in a short period of time to become world leaders in the production of energy raw materials of the future.*

*For the first time in world practice, the authors of the monograph, basing on a significant amount of fundamental and applied research, propose to implement a thorough competitive strategy, which will certainly lead Ukraine to a prominent place upon the implementation of an exploratory and environmentally safe hydrogen strategy (green and white hydrogen) based on fundamental and applied premises. The authors propose creating and using a complex of ecologically balanced approaches to natural sources — the available components of natural white hydrogen — in the areas of traditional and unconventional deposits of hydrocarbon, underground hydrocarbon as well as the non-alternative use of unique natural complexes of the constituent elements of green hydrogen — solar and wind energy. Using the global possibilities of the area of mirrors of water bodies, as well as the almost limitless fresh water resources in the mouth of the Danube River (given its quantitative and qualitative characteristics, the main energy hydrogen raw material,) irreversibly flowing into marine water areas. The ecologically based and environmentally friendly natural complex for the production of green hydrogen will ensure the creation and development of the infrastructure of unique impermeable storage facilities in the existing geological salt-bearing formations, the creation of the reliable storage facilities for storing hydrogen products, as well as the use of existing transport domestic and export logistics facilities for the delivery of hydrogen to satisfy both Ukraine's and European community needs.*

*The above-mentioned breakthroughs are possible through the use of joint efforts in strategic areas of hydrogen technologies with the participation of benevolent European or inter-*

**доброзичливих європейських чи міжнародних партнерів на основі фундаментальних технологічних розробок українських вчених та фахівців нафтогазової промисловості.**

**Наявність сонячних та вітрових енергетичних ресурсів й майже необмежена можливість використання надзвичайно прісних вод, які впадають у морські акваторії, робить Україну надпотужним гравцем у змаганні з вироблення та використання водневої енергетики.**

**На сьогодення Україна, використовуючи стратегічне партнерство у сфері виробництва критичної сировини, унікальні природні умови, міжнародний досвід розміщення сонячних електростанцій на водоймах, має можливості створити рідкісні за масштабами енергетичні водневі парки загальною площею більше 500-600 км<sup>2</sup>.**

**Наведені попереодні розрахунки обсягу сонячної енергії, вітрових компонентів і практично необмежені можливості використання водних ресурсів дають всі підстави стверджувати, що наведені результати гарантують Україні стати найпотужнішим виробником енергетично-економічного джерела ХХІ сторіччя для власних потреб та потреб європейських партнерів.**

**Ігор Багрій: «В Україні вже можна добувати готову водневу суміш, але керівництву країни це не потрібно».**

Повний текст читайте тут: [https://glavcom.ua/new\\_energy/publications/dvichi-pisav-zelenskomu-yak-ukrajinski-vcheni-shukayut-klyuch-h-doh-energetiki-maybutnogo-voden-701046.html](https://glavcom.ua/new_energy/publications/dvichi-pisav-zelenskomu-yak-ukrajinski-vcheni-shukayut-klyuch-h-doh-energetiki-maybutnogo-voden-701046.html)



Ihor Bagriy: «In Ukraine, it is already possible to produce a ready-made hydrogen mixture, but the country's leadership doesn't seem to need it».

Read the full text here: [https://glavcom.ua/new\\_energy/publications/dvichi-pisav-zelenskomu-yak-ukrajinski-vcheni-shukayut-klyuch-h-doh-energetiki-maybutnogo-voden-701046.html](https://glavcom.ua/new_energy/publications/dvichi-pisav-zelenskomu-yak-ukrajinski-vcheni-shukayut-klyuch-h-doh-energetiki-maybutnogo-voden-701046.html)

**«Новий світовий енергетичний тренд — перехід від звичного вуглецевого палива до екологічно чистого водню. Західні компанії вкладають значні кошти в розробку нових технологій, що дозволяють здешевити виробництво H<sub>2</sub>. В Україні ж цей газ знаходиться буквально під ногами — в занедбаних нафтогазових свердловинах.**

Інтерес до водню, як до альтернативного джерела енергії в останні роки спровокований двома обставинами. По-перше, запаси викопного палива (нафти, природного газу і вугілля) обмежені. За різними даними, при існуючих темпах видобутку вони будуть вичерпані через 60-80 років.

**national partners based on the fundamental technological developments of Ukrainian scientists and specialists of the oil and gas industry.**

**The presence of solar and wind energy resources and the almost unlimited possibility of using extremely fresh waters that flow into sea water areas make Ukraine a super-powerful player in the competition for the production and use of hydrogen energy.**

**Currently, Ukraine, using a strategic partnership in the field of production of critical raw materials, unique natural conditions, and international experience in placing solar power plants on reservoirs, has the opportunity to create energy hydrogen parks, which are rare in scale, with a total area of more than 500-600 km<sup>2</sup>.**

**The given preliminary calculations of the volume of solar energy, wind components and the practically unlimited possibility of using water resources give every reason to claim that the given results guarantee Ukraine to become the most powerful producer of the energy and economic source of the 21st century for its own needs and the needs of European partners.**

**«The new global energy trend is the transition from the usual carbon fuel to ecologically clean hydrogen. Western companies are investing heavily in the development of new technologies that make H<sub>2</sub> production cheaper. In Ukraine, this gas is literally underfoot — in abandoned oil and gas wells.**

**In recent years, interest in hydrogen as an alternative source of energy has been fueled by two factors. First, reserves of fossil fuels (oil, natural gas, and coal) are limited. According to various data, at the current rates of production, they will be exhausted in 60-80 years.**

---

По-друге, при використанні вуглецевого палива виділяється  $CO_2$ , другий за поширеністю парниковий газ (на першому місці — водяна пара, на третьому — метан), що призводить до забруднення навколошнього середовища і є однією з причин глобального потепління.

Використання  $H_2$  призводить до нульових забруднень, на виході — тільки чиста енергія і вода. Виснажити запаси водню неможливо: це найпоширеніший хімічний елемент, на нього припадає 74% всієї речовини у Всесвіті, на Землі він входить до складу води, якою покрито дві третини поверхні планети.

Ідеальний варіант — так званий «зелений» водень, його можна отримати шляхом електролізу води за допомогою альтернативних джерел електроенергії — вітрових і сонячних установок. Є ще «синій» водень, який виробляється з природного газу, основну частину якого, 70-98%, становить метан —  $CH_4$ .

Зараз Європу цікавлять поставки суміші метану і водню, в яких вміст  $H_2$  коливається від 2 до 20%. В Україні, зокрема в Сумській і Полтавській областях, існують свердловини із вмістом водню до 24%! Тобто витрачати кошти на виробництво  $H_2$ , а потім на змішування його з метаном не треба.

Попит був відсутній, інструктивних матеріалів — як використовувати цей енергоносій — не було. Нікого водень не цікавив. Більш того, після 2000 р. при бурінні нових свердловин їх взагалі перестали перевіряти на концентрацію водню. А навіщо? Для наукових досліджень? Так на той час практично всю геологічну науку розігнали — заради чого старатися?

«Зверталися до уряду. Їм не до водню було».

Держава в цих дослідженнях хоч якось допомагає?

Практично ні. Ось двічі писав Президенту, щоб уряд звернув увагу на розвиток водневої тематики. Лист, до речі, підписали головні геологи провідних нафтогазових підприємств України, вчені. Всього двадцять фахівців.

Приходили відповіді: мовляв, питання буде розглянуто на найближчому засіданні президії.

У представлений монографічній роботі на значному фактичному матеріалі, який враховує міжнародний досвід передових країн світу — США, Японії, Китаю, Південної Кореї, — обґрутовані розробки дають всі підстави стверджувати, що держава має унікальні екологічно-гідрологічні, кліматичні, геологічні умови вийти за підтримки європейських та міжнародних партнерів в оснащенні техніч-

Secondly, when using carbon fuel,  $CO_2$  is released, the second most common greenhouse gas (in the first place is water vapor, in the third place is methane), which leads to environmental pollution and is one of the causes of global warming.

The use of  $H_2$  leads to zero pollution, the output is only clean energy and water. It is impossible to exhaust hydrogen reserves: it is the most common chemical element, it accounts for 74% of all matter in the universe, on Earth it is part of the water that covers two thirds of the planet's surface.

The ideal option is the so-called «green»hydrogen, it can be obtained by electrolysis of water with the help of alternative sources of electricity — wind and solar installations. There is also «blue» hydrogen, which is produced from natural gas, the main part of which, 70-98%, is methane —  $CH_4$ .

Europe now takes interest in supplies of a mixture of methane and hydrogen, in which the  $H_2$  content ranges from 2 to 20%. In Ukraine, in particular in Sumy and Poltava regions, there are wells with a hydrogen content of up to 24%! That is, there is no need to spend money on the production of  $H_2$ , and then on mixing it with methane.

There was no demand, there were no instructional materials on how to use this energy carrier. Nobody was interested in hydrogen. Moreover, after 2000, when new wells were drilled, they were no longer tested for hydrogen concentration. Why? For scientific research? So, at that time, almost all geological science was dispersed — why bother?

«We have appealed to the government. They seem not to care about hydrogen».

Does the State help in these studies in any way? Practically, no. I wrote to president Zelensky twice so that the government would pay attention to the development of hydrogen issues. The letter was signed by 20 leading geologists of major oil and gas enterprises of Ukraine. The answer was that the issue will be considered at the next meeting of the Cabinet of Ministers».

In the presented monographic work based on significant factual material, which takes into account the international education of the leading countries of the world — the USA, Japan, China, South Korea, reasonable developments give every reason to assert that the Country has unique ecological, hydrological, climatic, geological conditions to emerge with the support of European and international partners in equipping with technical means

ними засобами на чільне місце у світовій ієрархії з виробництва безземійного енергетично-екологічного джерела наступних сторіч.

У монографічній роботі розглянуто найактуальнішу проблему паливно-енергетичної галузі і екологічні проблеми водневої енергетики. Продемонстровано різновекторність підходу авторів до теоретичних і прикладних розробок про кругообіг речовини в природі, де водень є енергетичною і генетичною складовою літосферних процесів. Крім того, у процесі досліджень нами приділялась велика увага енергетично-екологічній складовій ХХІ сторіччя — відновлюваному джерелу — зеленому водню.

## ЗЕЛЕНИЙ ВОДЕНЬ МОЖЕ СТАТИ СУПЕРСИЛОЮ УКРАЇНИ

РІЧАРД ДЕЙТЦ — президент VR Capital Group Ltd.

**Як водень може допомогти Україні зберегти дохід від транзиту газу після запуску обхідних газопроводів.**

"Українська правда, вівторок, 20 липня 2021, 13:15



for a prominent place in the world hierarchy for the production of an emission-free energy and ecological source of the next centuries.

The monographic work examines the more urgent problem of the fuel and energy industry and environmental problems of hydrogen energy. The multi-vector approach of the authors to theoretical and applied developments on the circulation of matter in nature, where hydrogen is an energetic and genetic component of lithospheric processes, is demonstrated. In addition, in the process of research, we paid great attention to the energy and ecological component of the 21st century — a renewable source — green hydrogen.

## GREEN HYDROGEN CAN BECOME UKRAINE'S SUPER POWER

RICHARD DEITZ — President, VR Capital Group Ltd.

**How hydrogen can help Ukraine maintain income from gas transit after the launch of bypass gas pipelines.**

Newspaper "Ukrainian Truth", Tuesday, July 20, 2021.

Стає все більш очевидно, що зусилля України запобігти запуску «Північного потоку-2» не приносять результату. На кону занадто багато великих економічних інтересів.

Попри намагання України отримати фінансову підтримку та гарантії безпеки від ЄС, її найкращою довгостроковою відповіддю на «Північний потік-2» є непокладання на допомогу ЄС, а сприяння розвитку галузі зеленого водню, що замінить використання газу в Європі.

Це величезна стратегічна можливість для України, і нею можна скористатися, якщо тільки країна продемонструє бачення щодо того, як це зробити.

ЄС твердо відданий декарбонізації. Газ — це перехідне паливо, використання якого поступово відійде в історію. Единим кандидатом на заміну газу в таких галузях, як алюміній, сталь, хімікати та цемент, на які припадає 19% світових викидів вуглецю, є водень.

Зелений водень, що отримується за допомогою електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії, стане у майбутньому основним паливом для європейської промисловості.

It is increasingly clear that Ukraine's efforts to prevent the launch of Nord Stream 2 are faltering. Too many large economic interests are at stake.

While Ukraine seeks financial support and security assurances from the EU, its best long-term answer to Nord Stream 2 lies not in reliance on the EU for assistance but in fostering the development of a green hydrogen industry to replace the use of gas in Europe. This is a massive strategic opportunity for Ukraine, and it is there for the taking if only the nation has the vision to seize it.

The EU is firmly committed to decarbonization. Gas is a transition fuel whose use is destined to be phased out. The only candidate to replace gas in industries such as aluminum, steel, chemicals and cement, which account for 19% of global carbon emissions, is hydrogen.

Green hydrogen, produced through electrolysis using renewable energy, will be Europe's industrial fuel of choice in the future.

Ukraine is ideally positioned to become one of Europe's major green hydrogen suppliers. With its large land mass and Black Sea coast, the country has massive untapped

---

Україна ідеально розташована для того, щоб стати одним з основних постачальників зеленого водню для Європи.

Завдяки своїй великій території та узбережжю Чорного моря країна має величезний невикористаний потенціал для наземної та морської вітрової та сонячної енергії. Українська газотранспортна система, якій загрожує «Північний потік-2», може бути переорієнтована на постачання зеленого водню, що в кінцевому підсумку зробить «Північний потік-2» непотрібним через його застарілість.

Наприкінці червня посол Німеччини в Україні Анка Фельдгузен, в контексті дискусій навколо «Північного потоку-2», закликала Україну розпочати підготовку своєї газотранспортної системи для транзиту водню.

Відзначаючи, що Німеччина має намір відмовитись від використання викопного палива до 2045 року, вона зазначила, що використання газу в Німеччині різко впаде вже після 2032 року, а німецька промисловість повністю перейде на водень протягом 15 років.

Для тих, хто стежить за цим питанням, це не новина. У липні 2020 року Європейська комісія опублікувала свій звіт про європейську водневу стратегію. Цей документ служить дорожньою картою для розвитку повномасштабної інфраструктури зеленого водню в Європі для заміни природного газу.

Україна у цій стратегії визначена як пріоритетний партнер з розвитку зеленого водню.

Розвиток зеленого водню спричинить глобальний інвестиційний бум. За оцінкою BloombergNEF, до 2050 року у водневу економіку буде інвестовано понад 11 трильйонів доларів, а обороти індустрії становитимуть 2,5 трильйони доларів на рік.

За підрахунками, на той час зелений водень може становити 24% світового споживання енергії.

Зелений водень створить цілий новий клас світових постачальників енергії. Чилі має національну стратегію щодо водню, метою якої є використання свого сонячного потенціалу та географії Тихоокеанського басейну, щоб стати одним з трьох найбільших світових експортерів зеленого водню до 2040 року.

Для України зелений водень може принести мільярди доларів інвестицій, десятки тисяч робочих місць та стабільний приплів податків в український бюджет.

На геополітичному рівні перетворення України на експортера зеленого водню до Європи кардинально змінило б характер її стратегічного значення та партнерства з Європейським Союзом.

potential for onshore and offshore wind and solar energy. Its transit pipeline infrastructure, at risk from Nord Stream 2, can be repurposed to deliver green hydrogen that could ultimately make Nord Stream 2 obsolete.

In late June, German Ambassador to Ukraine Anka Feldhusen, in the context of discussions on Nord Stream 2, urged Ukraine to begin preparing its gas transmission system for the transit of hydrogen.

Noting that Germany was committed to completely phasing out fossil fuels by 2045, she noted that German use of gas would drop sharply after 2032 with German industry shifting entirely to hydrogen over 15 years.

For those who follow this issue, this is not news. In July 2020, the European Commission issued its European hydrogen strategy report. This document serves as a roadmap for the development of full-scale green hydrogen infrastructure in Europe to replace natural gas.

Ukraine was uniquely mentioned as a priority partner for the EU in green hydrogen development.

The development of green hydrogen will trigger a global investment boom. Bloomberg NEF estimates that over \$11 trillion will be invested in the hydrogen economy and that green hydrogen will be a \$2.5 trillion per year business by 2050.

It is estimated that, by then, green hydrogen could account for 24% of global energy consumption.

Green hydrogen will create a whole new class of global energy suppliers. Chile, for example, has a national hydrogen strategy that aims to leverage its solar potential and Pacific Basin geography to become one of the top three global exporters of green hydrogen by 2040.

For Ukraine, green hydrogen can bring billions of dollars of investment, tens of thousands of jobs and a stable flow of taxes into the Ukrainian budget.

At a geopolitical level, developing Ukraine into an exporter of green hydrogen to Europe would fundamentally change the nature of its strategic importance for, and partnership with, the European Union.

Capturing this opportunity will require sustained commitment from investors and from the Ukrainian government. Industry is ready to supply the vision and capital, but only if the government shares its goals and prioritizes the strategy.

Industry does not need handouts or subsidies, but it does need a stable and predictable environment in which to build this future.

---

Для того, щоб скористатися цією можливістю, потрібні послідовні зусилля інвесторів та українського уряду. Бізнес готовий забезпечити бачення та капітал, але це матиме сенс лише за умови, що уряд розділятиме цілі та підтримуватиме стратегію як сферу національного приоритету.

Бізнес не потребує якихось подачок чи субсидій, але йому потрібні стабільні та передбачувані умови, в яких можна будувати це майбутнє.

У VR Capital ми віримо в цей шлях для України та хочемо бути частиною його побудови. Через дочірню компанію ми вже інвестували понад 500 мільйонів доларів у будівництво проектів відновлюваної енергетики в Україні.

Буквально кілька тижнів тому ми провели урочисте відкриття нашого нового проекту — Дністровської вітроелектростанції в Одеській області потужністю 40 МВт.

На жаль, поки що шлях до відновлюваних джерел енергії в Україні був непростим. Зелена енергія стала політичним футболом, у якому постійно змінюються правила, а договірні тарифи не дотримуються.

У цих дискусіях, здається, втрачено довгострокову цінність, яку відновлювані джерела енергії можуть надати Україні, якщо лише галузі буде дозволено працювати.

Правила та передбачуваність мають значення. Україна може мати майбутнє, в якому зелена енергія не лише дозволить нашим дітям дихати чистим повітрям, але і створить основу для масштабної нової економіки зеленого водню в Україні, яка забезпечить робочі місця, доходи від експорту та стане геополітичним козиром.

З іншого боку, країна може опинитися без всього цього і натомість втратити роки у міжнародних арбітражах через позови інвесторів, чиї контрактні права були порушені. Перші позови вже подано.

Росія робить ставку на те, що українці завжди будуть занадто занурені у свої внутрішні конфлікти, щоб скористатися будь-якою стратегічною можливістю. Ми вважаємо, що це цинічне ставлення є помилковим. Ставка на зелений водень є можливістю це довести.

At VR Capital, we believe in this path for Ukraine and want to be part of it. Through our Kyiv-based subsidiary, Elementum Energy, we have already invested over \$500 million in building renewable energy projects in Ukraine. Just a few weeks ago, we hosted an inaugural opening for our latest project, the 40 megawatt Dnistrovsky wind park in Odessa region, and we have already broken ground on a further 60 megawatt expansion.

Unfortunately, the road for renewable energy in Ukraine has been rocky so far. Green energy has become a game of political football, with rules changing constantly and contractual tariffs not being respected.

What seems to be lost in these debates is the long-term value that renewable energy can deliver for Ukraine, if only the industry is allowed to work.

Policy and predictability matters. Ukraine can have a future in which green energy allows our children to breathe clean air while also forming the basis for a massive new green hydrogen economy in Ukraine that provides jobs, export revenues and a geopolitical trump card.

On the other hand, on its current course it may end up with nothing but a lost decade spent sorting out international arbitration claims from investors whose contractual rights were violated. Already, the first set of claims have been filed.

Russia is betting that Ukrainians will always be too preoccupied with their internal conflicts to take advantage of any strategic opportunity. We believe that this cynical attitude is misplaced. The green hydrogen bet is an opportunity to prove it.

*Бабинець А. Е.* Подземные воды юго-запада Русской платформы. Киев: Изд. АН УССР, 1961. 337 с.

*Бабинець А. Е., Белявский Г. А.* Естественные ресурсы подземных вод зоны интенсивного водообмена Украины. Киев: Наук. думка, 1973. 111 с.

*Бабинець А. Е., Боревский Б. В., Шестопалов В. М.* Формирование эксплуатационных ресурсов подземных вод платформенных структур Украины. Киев: Наук. думка, 1979. 214 с.

*Багрий И. Д.* Гидро-геосинергетическая биогенно-мантийная гипотеза образования углеводородов и ее роль при обосновании прямопоисковой технологии. Геол. журн. 2016. № 2. С. 107-133.

*Багрий И. Д., Кузьменко С. А.* Научное обоснование пространственного распределения и картирования аномальных проявлений водорода — энергетического сырья XXI в. — в нефтегазоносных структурах Украины и предупреждения геодинамических явлений. Геол. журн. 2019. № 1. С. 59-77. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.1.159241>.

*Багрий И. Д., Кузьменко С. А.* Научное обоснование пространственного распределения и картирования аномальных проявлений водорода — энергетического сырья XXI в. — в нефтегазоносных структурах Украины и предупреждения геодинамических явлений. Геол. журн. 2019. № 1 (366). С. 59-77.

*Багрій І. Д., Науменко У. З., Маслун Н. В., Дубосарський В. Р., Жаловський В. М., Марюхно В. М.* Сучасні наукові підходи до розробки екологічно орієнтованих технологій пошуків родовищ вуглеводнів та підземних вод. Четверта міжнародна науково-практична конференція "Надрочористування в Україні. Перспективи інвестування". Україна, м. Трускавець, 6-10 листопада 2017 р. С. 62-64.

*Балуховский Н. Ф.* Геологическая структура и перспективы нефтегазоносности западных и северных окраин Донбасса. Киев: Изд-во АН УССР, 1959. 148 с.

*Басарыгин Ю. М., Макаренко П. П., Черненко А. М.* Особенности проектирования и эксплуатации хранилищ в обводненных истощенных газовых месторождениях. Газовая промышленность. 1995. № 12. С. 14-15.

*Бембель М. Р., Кузьмин А. А., Подкорыт-*

*Babinets A.E.* Underground waters of the southwest of the Russian platform. Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1961. 337 p. (in Russian).

*Babinets A.E., Belyavsky G.A.* Natural groundwater resources of the zone of intensive water exchange in Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka, 1973. 111 p. (in Russian).

*Babinets A.E., Borevsky B.V., Shestopalov V.M.* Formation of operational groundwater resources of platform structures in Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka, 1979. 214 p. (in Russian).

*Bagriy I.D.* Hydro-geosynergetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon formation and its role in substantiating direct prospecting technology. Geological journal. 2016. No. 2. P. 107-133 (in Russian).

*Bagriy I.D., Kuzmenko S.A.* Scientific substantiation of the spatial distribution and mapping of anomalous manifestations of hydrogen - the energy raw material of the 21st century - in the oil and gas bearing structures of Ukraine and the prevention of geodynamic phenomena. Geological journal 2019. No. 1. (366). P. 59-77. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.1.159241> (in Russian).

*Bagriy I.D., Naumenko U.Z., Maslun N.V., Dubosarskyi V.R., Zhalovsky V.M., Maryukhno V.M.* Modern scientific approaches to the development of ecologically oriented technologies for the search for hydrocarbon deposits and underground water. The fourth international scientific and practical conference "Subsoil use in Ukraine. Prospects for investment". Ukraine, Truskavets, November 6-10, 2017. P. 62-64 (in Ukrainian).

*Balukhovsky N.F.* Geological structure and prospects of oil and gas potential of the western and northern outskirts of Donbas. Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1959. 148 p. (in Russian).

*Basarygin Yu.M., Makarenko P.P., Chernenko A.M.* Features of design and operation of storage facilities in flooded depleted gas fields. Gas industry. 1995. No. 12. P. 14-15 (in Russian).

*Bembel M.R., Kuzmin A.A., Podkorytov M.S., Bembel A.R., Prokopov S.P., Antonovich M.M.* Hydrogen degassing of the Earth's core.

- тов М. С., Бембель А. Р., Прокопов С. П., Антоно-вич М. М. Водородная дегазация Земного ядра. *Академ. вестник*. 2011. № 4. С. 138-144.
- Богатова Ю. И. Гидрохимический режим украинского участка взморья Дуная. *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40. № 3. С. 295-305.
- Бондарчук В. Г. О геоморфологии Днепровско-Донецкой впадины и направлении поисков структур. *Разведка недр*. № 2. 1937.
- Босевская Л. П. Структурно-литологическая характеристика соляных диапиров Закарпатья. *Вісник Дніпровського ун-ту*. Серія «Геологія. Географія». 2014. Вип. № 15. С. 2-16.
- Бузинов С. Н., Парfenов В. И. Оптимизация проектирования хранилищ. *Газовая промышленность*. 1995. № 12. С. 4-7.
- Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. Москва: Изд-во Московского университета, 1962. 397 с.
- Вернадский В. И. Избранные сочинения. Т. 4. Кн. 2. Москва: Изд-во АН СССР, 1960. 651 с.
- Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. Москва: Наука, 2001. 376 с.
- Виноградов А. П. Химия Земли. В кн.: Глазами ученого. Москва: Изд-во АН СССР, 1963. С. 27-46.
- Герович Э. Г., Дементьев Л. Ф., Рахимкулов Р. С., Хурсик В. З. Научно-технические основы геодинамического и маркшейдерско-геологического прогнозирования зон разрушения нефтепромысловых систем и экологической безопасности при проектировании и разработке нефтяных и газовых месторождений. Пермь: Изд-во Пермского ГТУ, 1995. 198 с.
- Говдяк Р. М., Дубровский Л. К., Нечаев Ю. А. Сравнительный анализ эффективности подземных хранилищ газа в пористых структурах и в каменной соли. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2006. № 4. С. 66-69.
- Говдяк Р. М., Нечаев Ю. А. Проектирование и строительство подземных сооружений в каменной соли. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2005. № 1. С. 52-58.
- Гордиенко В. В. О водородной дегазации в зонах современной активизации Украины. *Геофизический журнал*. № 5. Т. 41. 2019. С. 115-127.
- Гофман-Захаров П. М. Хранение жидких углеводородных газов. Москва: Изд. ВНИИСТ, 1960. 121 с.
- Грицко Г. Внезапные выбросы метана в шахтах. *Наука в Сибири*. 2007. № 32. 6 с. <http://>
- Academic Bulletin. 2011. No. 4. P. 138-144 (in Russian).
- Bogatova Yu.I. Hydrochemical regime of the Ukrainian section of the Danube coast. Water resources. 2013. V. 40. No. 3. P. 295-305 (in Russian).
- Bondarchuk V.G. On the geomorphology of the Dnieper-Donetsk depression and the direction of the search for structures. Subsoil exploration. No. 2. 1937 (in Russian).
- Bosevskaya L.P. Structural and lithological characteristics of salt diapirs of Transcarpathia. Bulletin of the Dnipro University. The series "Geology. Geography". 2014. Issue No. 15. P. 2-16 (in Russian).
- Buzinov S.N., Parfenov V.I. Storage design optimization. Gas industry. 1995. No. 12. P. 4-7 (in Russian).
- Valyashko M.G. Geochemical patterns of formation of potassium salt deposits. Moscow: Moscow University Press, 1962. 397 p (in Russian).
- Vernadsky V.I. Selected writings. T. 4. Book. 2. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1960. 651 p. (in Russian).
- Vernadsky V.I. Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment. Moscow: Nauka, 2001. 376 p. (in Russian).
- Vinogradov A.P. Chemistry of the Earth. In: Through the Eyes of a Scientist. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1963. P. 27-46 (in Russian).
- Gerovich E.G., Dementiev L.F., Rakhimkulov R.S., Khursik V.Z. Scientific and technical bases of geodynamic and mine-surveying-geological forecasting of zones of destruction of oilfield systems and environmental safety in the design and development of oil and gas fields. Perm: Publishing House of the Perm State Technical University, 1995. 198 p. (in Russian).
- Govdyak R.M., Dubrovsky L.K., Nечаев Yu.A. Comparative analysis of the efficiency of underground gas storages in porous structures and in rock salt. Ecotechnologies and resource saving. 2006. No. 4. P. 66-69 (in Russian).
- Govdyak R.M., Nечаев Yu.A. Design and construction of underground structures in rock salt. Ecotechnologies and resource saving. 2005. No. 1. P. 52-58 (in Russian).
- Gordienko V.V. About hydrogen degassing in the zones of modern activation of Ukraine. Geophysical journal. No. 5. V. 41. 2019. P. 115-127 (in Russian).

Гуров Е. П., Гожик П. Ф. Импактное кратерообразование в истории Земли. Киев: НТП «Нафтогаз-прогноз», 2006. 218 с.

Дидковская А. С., Лурье М. В. О вместимости подземных хранилищ газа, сооружаемых в водоносных пластах НТС. *Транспорт и подземное хранение газа*. 2003. № 2. С. 50-55.

Карцев А. А., Вагин С. Б., Шугрин В. П. Нефтегазовая гидрология. Москва: Недра, 1992. 206 с.

Китык В. И. Структурные особенности подсолевых отложений Днепровско-Донецкой впадины. *Нефтяная и газовая промышленность*. № 3. 1962.

Клименко В. Я. Тектоника Днепровско-Донецкой впадины. Сб. *Геологическое строение и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины и северо-западных окраин Донбасса*. Киев: Изд-во АН УССР, 1957.

Козлова Н. С., Рудаков В. П., Шулейки В. Н., Войтов Г. И., Баранова Л. В. Эманационные и электрические эффекты в атмосфере подпочв над Калужской импактной кольцевой структурой. *Российский журнал наук о Земле*. 1999. № 1 (6). Режим доступа: [http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/rus/v01/rje99027/rje\\_99027.htm](http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/rus/v01/rje99027/rje_99027.htm).

Конторович А. Э. Осадочно-миграционная теория нафтогенеза: состояние на рубеже XX и XXI вв., пути дальнейшего развития. *Геология нефти и газа*. 1998. № 10. С. 8-16.

Кореневский С. М., Захарова В. М., Шамахов В. А. Миоценовые галогенные формации предгорий Карпат. Ленинград: Недра, 1977. 248 с.

Краюшкин В. А. Природа сверхгигантских скоплений нефти и газа. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2008. № 1. С. 19-54.

Кудрявцев Н. А. Генезис нефти и газа. Ленинград: Недра, 1973. 216 с.

Леворсен А. Геология нефти и газа. Москва: Мир, 1970. 640 с.

Лисогор Г. Ф. Отчет по детальным поискам подземных вод в долине р. Дунай для водоснабжения города Болграда и населенных пунктов Болградского и Ренийского районов Одесской области. Одесса. Фонды ГГП «Прочерноморгеология», 1997.

Литвинова И. В. Гидрологические критерии нефтегазоносности Курейской синеклизы: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2019. 202 с.

Лозовіцький П. С., Молочко А. М., Бібік В. М. та ін. Екологічна оцінка якості вод Дунаю. Часопис картографії. Зб. наук. пр. Київського

Hoffman-Zakharov P.M. Storage of liquid hydrocarbon gases. Moscow: VNIIST Publishing House, 1960. 121 p. (in Russian).

Gritsko G. Sudden releases of methane in mines. *Science in Siberia*. 2007. No. 32. 6p. <http://www.sbras.ru/HBC/article.phtml>

Gurov E.P., Gozhik P.F. Impact cratering in the history of the Earth. Kyiv: NTP "Naftogaz-prognoz", 2006. 218 p. (in Russian).

Didkovskaya A.S., Lurie M.V. On the capacity of underground gas storage facilities built in the aquifers of the NTS. *Transport and underground gas storage*. 2003. No. 2. P. 50-55 (in Russian).

Kartsev A.A., Vagin S.B., Shugrin V.P. Oil and gas hydrogeology. Moscow: Nedra, 1992. 206 p. (in Russian).

Kityk V.I. Structural features of subsalt deposits of the Dnieper-Donetsk depression. Oil and gas industry. No. 3. 1962 (in Russian).

Klimenko V.Ya. Tectonics of the Dnieper-Donetsk depression. Geological structure and oil and gas content of the Dnieper-Donetsk depression and the northwestern outskirts of Donbas. Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1957 (in Russian).

Kozlova N.S., Rudakov V.P., Shuleiki V.N., Voitov G.I., Baranova L.V. Emanational and electrical effects in the atmosphere of subsoils above the Kaluga impact ring structure. *Russian Journal of Earth Sciences*. 1999. No. 1 (6). Access mode: [http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/rus/v01/rje99027/rje\\_99027.htm](http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/rus/v01/rje99027/rje_99027.htm) (in Russian).

Kontorovich A.E. Sedimentary-migration theory of naftidogenesis: state at the turn of the 20th and 21st centuries, ways of further development. *Geology of oil and gas*. 1998. No. 10. P. 8-16 (in Russian).

Korenevsky S.M., Zakharova V.M., Shamakhov V.A. Miocene halogen formations in the foothills of the Carpathians. Leningrad: Nedra, 1977. 248 p.

Krayushkin V.A. The nature of supergiant accumulations of oil and gas. *Geology and minerals of the World Ocean*. 2008. No. 1. P. 19-54 (in Russian).

Kudryavtsev N.A. Genesis of oil and gas. Leningrad: Nedra, 1973. 216 p. (in Russian).

Levorsen A. Geology of oil and gas. Moscow: Mir, 1970. 640 p. (in Russian).

Lisogor G.F. Report on detailed searches for groundwater in the Danube River valley for water supply to the city of Bolgrad and settlements of Bolgrad and Reni districts of Odessa region. Odessa. Funds of the GGP "Prichernomorgeologiya", 1997 (in Russian).

Litvinova I.V. Hydrogeological criteria for the oil and gas potential of the Kurey syncline: Candidate's dissertation. geol.-min. sciences. Novosibirsk, 2019. 202 p (in Russian).

нац. університету ім. Тараса Шевченка, геогр. ф-та. Київ: Вид-во КНУ ім. Тараса Шевченка, 2011. Вип. 1. С. 135-148.

Лукін А. Е. Глубинная гидрогеологическая инверсия как глобальное синергетическое явление: теоретические и прикладные аспекты. Ст. 2. Тектоно-геодинамические аспекты глубинной гидрогеологической инверсии. Геол. журн. 2005. № 1 (311). С. 50-67.

Лурье М. В., Дидковская А. С. Диагностика утечек газа из полости подземного хранилища газа. Транспорт и подземное хранение газа: Научно-технический сборник. 2001. № 1. С. 43-52.

Маракушев А. А., Маракушев С. А. Водородное дыхание земли — его происхождение, геологические и биологические следствия. Альтернативная энергетика и экология. 2008. Вып. 57. С. 152-170.

Мархінін Е. К. Роль вулканізма в формуванні земної кори. Москва: Нauка, 1967. 256 с.

Молчанов В. И. Генерация водорода в литогенезе. Новосибирск: Наука, 1981. 142 с.  
Нивин В. А. Газовые компоненты в магматических породах: геохимические, минерагенные и экологические аспекты и следствия (на примере интрузивных комплексов Кольской провинции): Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Апатиты. 2013. 354 с.

Новосилецький Р. М., Шарун Д. В. Гидрохимические показатели зоны распространения АПВД в ДДВ. Геология нефти и газа. 1982. № 7. С. 41-46.

Патент України № 47419 на кор. модель МПК (2009) G01V 9/00, G01V 11/00. Спосіб прогнозування родовищ корисних копалин. Багрій І. Д.; заявник і власник Ін-т геолог. наук НАН України. U200913524. Опубл. 25.01.2010. Бюл. № 2.

Патент на корисну модель № 123384 Україна, МПК E21F 5/00, E21F 7/00. Спосіб поточного прогнозу раптових викидів вуглевородного масиву і газу. І. Д. Багрій, І. Г. Кірющенко (Україна). № U201709029. Опубл. 26.02.2018. Бюл. № 4.

Патент на винахід № 119595 Україна, МПК E21F 5/00, E21F 7/00. Спосіб поточного прогнозу раптових викидів вуглевородного масиву і газу. І. Д. Багрій, І. Г. Кірющенко (Україна). № a201708953. Опубл. 10.07.2019. Бюл. № 13.

Патент на корисну модель № 136386 МПК E21F 5/00, 7/00, G01V 11/00. Спосіб оцінки прогнозу газових скupчень з воднем в надрах Землі. І. Д. Багрій, І. Г. Кірющенко, С. О. Кузьменко, О. О. Репкін (Україна).

Lozovitskyi P.S., Molochko A.M., Bibik V.M. et all. Ecological assessment of the quality of Danube waters. Journal of cartography. Collection of scientific papers of Kyiv National University named after Taras Shevchenko, Faculty of Geography. Kyiv: Publishing House of KNU named after Taras Shevchenko, 2011. Vol. 1. P. 135-148 (in Ukrainian).

Lukin A.E. Deep hydrogeological inversion as a global synergetic phenomenon: theoretical and applied aspects. Art. 2. Tectonic and geodynamic aspects of deep hydrogeological inversion. Geological journal 2005. No. 1 (311). P. 50-67 (in Rassian).

Lurie M.V., Didkovskaya A.S. Diagnosis of gas leaks from the cavity of an underground gas storage. Transport and Underground Gas Storage: Scientific and Technical Collection. 2001. No. 1. P. 43-52(in Rassian).

Marakushev A.A., Marakushev S.A. Hydrogen respiration of the earth - its origin, geological and biological consequences. Alternative energy and ecology. 2008. Issue. 57. P. 152-170 (in Rassian).

Markhinin E.K. The role of volcanism in the formation of the earth's crust. Moscow: Nauka, 1967. 256 p. (in Rassian).

Molchanov V.I. Generation of hydrogen in lithogenesis. Novosibirsk: Nauka, 1981. 142 p. (in Rassian).

Nivin V.A. Gas components in igneous rocks: geochemical, mineralogical and ecological aspects and consequences (on the example of intrusive complexes of the Kola province): Dissertation of Dr. geol.-min. Sciences. Apatity. 2013. 354 p. (in Rassian).

Novosiletsky R.M., Sharun D.V. Hydrogeochemical indicators of the zone of distribution of APFD in the Dnieper-Donets Depression. Geology of oil and gas. 1982. No. 7. P. 41-46 (in Rassian).

Patent of Ukraine No. 47419 for a utility model of the IPC (2009) G01V 9/00, G01V 11/00. The method of forecasting mineral deposits. Bagriy I.D.; the applicant and owner of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. U200913524. Publ. 01/25/2010. Bul. No. 2 (in Ukrainian).

Patent of Ukraine for utility model No. 123384, IPC E21F 5/00, E21F 7/00. The method of current forecast of sudden emissions of coal and gas. ID. Bagriy, I.H. Kiryushchenko (Ukraine). No. U201709029. Publ. 26.02.2018. Bul. No. 4. (in Ukrainian).

Patent for the invention No. 119595 Ukraine, IPC E21F 5/00, E21F 7/00. The method of current forecast of sudden emissions of coal and gas. ID. Bagriy, I.H. Kiryushchenko (Ukraine). No. a201708953. Publ. 10.07.2019.

- U201902962. Опубл. 12.08.2019. Бюл. № 15.  
Ремизов В. В., Парфенов В. И., Смирнов В. И. и др. ПХГ в отложениях каменной соли. Газовая промышленность. 1998. № 5. С. 33-35.
- Родионов В. Г. Энергетика: Проблемы настоящего и возможности будущего. Москва: ЭНАС, 2010. 344 с.
- Русаков О. М. Глобальная инвентаризация измерений концентрации свободного и растворенного в подземных водах молекулярного водорода в земной коре суши. Геофизический журнал. 2020. № 6. Т. 42. С. 59-99.
- Созанский В. И. Особенности геологической структуры и перспективы нефтегазоносности северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1964.
- Соловьев А. Н., Солдаткин Г. И. Некоторые итоги развития и задачи дальнейшего совершенствования техники и технологии подземного хранения природного газа. Транспорт и хранение нефти газа. 1970. № 6. С. 9-16.
- Сорохтин О. Г., Ушаков С. О. Глобальная эволюция Земли. Москва: изд-во МГУ, 1991. 446 с.
- Суханова Н. И., Трофимов С. Я., Полянская Л. М., Ларин Н. В., Ларин В. Н. Изменение гуммозного состояния и структуры микробной биомассы в местах водородной экскальации. Почвоведение. 2013. № 2. С. 1-11.
- Урдуханов Р. И., Сайдов О. А., Магомедов Х. Д. Изотопно-углеродные и водородно-гелиевые предвестники землетрясений. Мониторинг. Наука и технология. 2019. № 1 (39). С. 13-23. <https://doi.org/10.25714/MNT.2019.39.002>.
- Хайн В., Поляков И. Д. Геодинамические предпосылки нефтегазоносности континентальных склонов глубоководных впадин. Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 5-14.
- Хрушцов Д. П., Компанец Г. С. Литология галогенных и красноцветных формаций. Киев: Наук. думка, 1988. 195 с.
- Чабанович Л. Б., Хрущев Д. П. Научно-технические основы сооружения и эксплуатации подземных хранилищ в каменной соли. Киев: Варта, 2008. 304 с.
- Чебаненко І. І., Шестopalов В. М., Багрій І. Д., Палій В. М. Розломні зони підвищеної проникності гірських порід та їх значення для виявлення екологонебезпечних ділянок. Доп. НАН України. 2000. № 10. С. 136-139.
- Шатский Н. С. К вопросу о происхождении роменских гипсов и пород Исачковского холма на Украине. Бюлл. МОИП. Отд. Геологии. Т. IX. Вып.3-4. 1931.
- Шестopalов В. М., Лукин А. Е., Згон-
- Bul. No. 13. (in Ukrainian).  
Patent of Ukraine for utility model No. 136386 IPC E21F 5/00, 7/00, G01V 11/00. A method of estimating the forecast of gas accumulations with hydrogen in the bowels of the Earth. ID. Bagriy, I.H. Kiryushchenko, S.O. Kuzmenko, O.O. Repkin (Ukraine). U201902962. Publ. 12.08.2019. Bul. No. 15 (in Ukrainian).  
Remizov V.V., Parfenov V.I., Smirnov V.I. et all. UGS facilities in rock salt deposits. Gas industry. 1998. No. 5. P. 33-35 (in Rassian).  
Rodionov V.G. Energy: Problems of the present and opportunities for the future. Moscow: ENAS, 2010. 344 p. (in Rassian).  
Rusakov O.M. Global inventory of measurements of the concentration of free and dissolved molecular hydrogen in groundwater in the earth's crust. Geophysical journal. 2020. No. 6. V. 42. P. 59-99 (in Rassian).  
Sozansky V.I. Peculiarities of the geological structure and prospects for oil and gas potential in the northwestern part of the Dnieper-Donetsk depression. Candidate's dissertation geol.-min. Sciences. Kyiv, 1964. 313 p. (in Rassian).  
Solovyov A.N., Soldatkin G.I. Some results of development and tasks of further improvement of equipment and technology of underground storage of natural gas. Transport and storage of oil and gas. 1970. No. 6. P. 9-16 (in Rassian).  
Sorokhtin O.G., Ushakov S.O. Global evolution of the Earth. Moscow: Moscow State University, 1991. 446 p. (in Rassian).  
Sukhanova N.I., Trofimov S.Ya., Polyanskaya L.M., Larin N.V., Larin V.N. Changes in the gummous state and structure of microbial biomass in places of hydrogen exhalation. Soil science. 2013. No. 2. P. 1-11 (in Rassian).  
Urdukhanov R.I., Saidov O.A., Magomedov Kh.D. Isotope-carbon and hydrogen-helium precursors of earthquakes. Monitoring. Science and technology. 2019. No. 1 (39). P. 13-23. <https://doi.org/10.25714/MNT.2019.39.002> (in Rassian).  
Khain V., Polyakov I.D. Geodynamic prerequisites for oil and gas potential of continental slopes of deep-sea basins. Geology and geophysics. 2004. V. 45. No. 1. P. 5-14 (in Rassian).  
Khrushchov D.P., Kompanets G.S. Lithology of halogen and red formations. Kyiv: Nauk. Dumka, 1988. 195 p. (in Rassian).  
Chabanovich L.B., Khrushchev D.P. Scientific and technical foundations for the construction and operation of underground storage facilities in rock salt. Kyiv: Varta, 2008. 304 p. (in Rassian).  
Chebanenko I.I., Shestopalov V.M., Bagriy

- ник В. А., Макаренко А. Н., Ларин Н. В. Богуславский А. С. Очерки дегазации Земли. Киев: ЧП «Итексервис», 2018. 232 с.
- Щербаков А. В., Козлова Н. Д. Распространенность водорода в подземных флюидах и связь аномально высоких его содержаний с глубинными разломами на территории СССР. Геотектоника. 1986. № 2. С. 56-66.
- Яржемский Я. Я. Калийные и калиеносные галогенные породы. Новосибирск: Наука, 1967. 134 с.
- Яржемский Я. Я. Микроскопическое изучение галогенных пород. Новосибирск: Наука, 1966. 64 с.
- Abrajano T. A., Sturchio N. C., Bohlke J. K., Lyon G. L., Poreda R. J., Stevens C. M. (1988). Methane-hydrogen gas seeps, Zambales ophiolite, Philippines: Deep or shallow origin? *Chemical Geology*, 71 (1), 211-222. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90116-7](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90116-7).
- Aguilera F, Benavente Ó, Gutiérre F, Romero J., Saltor O., González R., González M., Caselli A., & Pizarro M. (2016). Eruptive activity of Planchón-Peteroa volcano for period 2010-2011, Southern Andean Volcanic Zone, Chile. *Andean Geology*, 43 (1), 20-46. doi: 10. 5027/andgeoV43n1-a02.
- Agusto M., Tassi F., Caselli Z. A. T., Vaselli O., Rouwet D., Capaccioni B., Caliro S., Chiodini G., & Darrah T. (2013). Gas geochemistry of the magmatic-hydrothermal fluid reservoir in the Copahue-Caviahue Volcanic Complex (Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 257, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.03.003>.
- Allard P., Maiorani A., Tedesc D., Cartecc G., & Tur B. (1991). Isotopic study of the origin of sulfur and carbon in Solfara fumaroles, Campi Flegrey caldera. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48 (1-2), 139-159. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(91\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0377-0273(91)90039-3).
- Altamirano J. I.C. (2006). Sampling and analysis of geothermal steam and geothermometer application in Krafla, Theistareykir, Reykjanes and Svartsengil, Iceland. In *Geothermal Training Programme (The United Nations University, Reports, No 13)* (pp. 153-169).
- Arnórsson S., Björksson A., Gislason G., & Gudmundsson G. (1975). Systematic exploration of Krísuvík high-temperature area, Reykjanes peninsula, Iceland: Proc. of Second United Nations Symposium on development and Use of Geothermal Resources (Vol. 1, pp. 853-864). US Government Printing Office, San Francisco.
- Bagriu I. D., Kuzmenko S. O., Naumenko U. Z., Zubal S. D. New technology for exploration of hy-
- I.D., Palii V.M. Fracture zones of increased permeability of rocks and their significance for identifying environmentally hazardous areas. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2000. No. 10. P. 136-139 (in Ukrainian).
- Shatsky N.S. To the question of the origin of the Romny gypsum and rocks of the Isachkovsky hill in Ukraine. *Bulletin MOIP. Dep. Geology. T. IX. Issue 3-4*. 1931. (in Russian).
- Shestopalov V.M., Lukin A.E., Zgonnik V.A., Makarenko A.N., Larin N.V. Boguslavsky A.S. Essays on the degassing of the Earth. Kyiv: PE "Itekservis", 2018. 232 p. (in Russian).
- Shcherbakov A.V., Kozlova N.D. The prevalence of hydrogen in underground fluids and the relationship of its anomalously high contents with deep faults in the territory of the USSR. *Geotectonics*. 1986. No. 2. P. 56-66 (in Russian).
- Yarzhemsky Ya.Ya. Potash and potassium-bearing halogen rocks. Novosibirsk: Nauka, 1967. 134 p. (in Russian).
- Yarzhemsky Ya.Ya. Microscopic study of halogen rocks. Novosibirsk: Nauka, 1966. 64 p. (in Russian).
- Abrajano T.A., Sturchio N.C., Bohlke J.K., Lyon G.L., Poreda R.J., Stevens C.M. (1988). Methane-hydrogen gas seeps, Zambales ophiolite, Philippines: Deep or shallow origin? *Chemical Geology*, 71 (1), 211-222. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90116-7](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90116-7) (in English).
- Aguilera F, Benavente Ó, Gutiérre F, Romero J., Saltor O., González R., González M., Caselli A., & Pizarro M. (2016). Eruptive activity of Planchón-Peteroa volcano for period 2010-2011, Southern Andean Volcanic Zone, Chile. *Andean Geology*, 43 (1), 20-46. doi: 10. 5027/andgeoV43n1-a02 (in English).
- Agusto M., Tassi F., Caselli Z.A.T., Vaselli O., Rouwet D., Capaccioni B., Caliro S., Chiodini G., & Darrah T. (2013). Gas geochemistry of the magmatic-hydrothermal fluid reservoir in the Copahue-Caviahue Volcanic Complex (Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 257, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.03.003> (in English).
- Allard P., Maiorani A., Tedesc D., Cartecc G., & Tur B. (1991). Isotopic study of the origin of sulfur and carbon in Solfara fumaroles, Campi Flegrey caldera. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48 (1-2), 139-159. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(91\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0377-0273(91)90039-3) (in English).
- Altamirano J. I.C. (2006). Sampling and analysis of geothermal steam and geothermometer application in Krafla, Theistareykir, Reykjanes and Svartsengil, Iceland. In *Geothermal Training Programme (The United Nations University*

drogen accumulations and orecast of geodynamic phenomena. 13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment 12-15 November 2019, Kyiv, Ukraine.

Bagriy I.D., Gozhik P.F., Repkin A.A., Kuzmenko S.A., Loktiev A.A., Semenuk V.G. Rationale of search technology on hydrogen and geodynamic phenomena (oil and gas regions, minefields). *Геол. журн.* 2019. № 2 (367). C.18-28.

Barbier S., Huan F., Andreani M., Tao R., Hao J., Eleish A., Prabhu A., Minhas O., Fontaine K., Fox P., & Daniel I. (2020). Review of  $H_2$ ,  $CH_4$ , and Hydrocarbon Formation in Experimental Serpentization Using Network Analysis. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00209>.

Bergfeld D., Lowenstern J.B., Hunt A.G., & Shanks III W.C.P. (2011). Gas and Isotope Chemistry of Thermal Features in Yellowstone National Park, Wyoming. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5012, 26 p.

Bicocchi G., Tassi F., Bonin M., Capecciacci F., Ruggieri G., Buccianti A., Burgassi B., & Vaselli O. (2013). The high  $p\ CO_2$  Caprese Reservoir (Northern Apennines, Italy): Relationships between present- and paleo-fluid geochemistry and structural setting. *Chemical Geology*, 351 (2), 40-56. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.05.001>.

Birkle P., Marín E.P., Pinti D.L., & Castro C. (2016). Origin and evolution of geothermal fluids from Las Tres Vírgenes and Cerro Prieto fields, Mexico-Cogenetic volcanic activity and paleoclimate constraints. *Applied Geochemistry*, 65, 3-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.10.009>.

Boulart C., Chavagnac V., Monnin C., Delacour A., Ceuleneer G., & Hoareau G. (2013). Differences in gas venting from ultramafic-hosted warm springs: the example of Oman and Voltri Ophiolites. *Ophioliti*, 38 (2), 143-156. doi: 10.4454/ofioliti.v38i2.423.

Brier D., Jerzykiewicz T., & Śliwiński W. (2017). On generating a geological model for hydrogen gas in the Southern Taudenni Megabasin (Bourakebougou area, Mali). Search and Discovery Article 4204. Retrieved from [http://www.searchanddiscovery.com/documents/2017/42041jerzykiewicz/ndx\\_jerzykiewicz.pdf](http://www.searchanddiscovery.com/documents/2017/42041jerzykiewicz/ndx_jerzykiewicz.pdf).

Brombach T., Caliro S., Chiodini G., Fiebig J., Hunziker J.C., & Raco B. (2003). Geochemical evidence for mixing of magmatic fluids with seawater, Nisyros hydrothermal system, Greece. *Bulletin of Volcanology*, 65, 505-516. <https://doi.org/10.1007/s00445-003-0278-x>.

vers ty, Reports, No 13) (pp. 153-169) (in English).

Arnórsson S., Björksson A., Gislason G., & Gudmudsson G. (1975). Systematic exploration of Krísuvík high-temperature area, Reykjanes peninsula, Iceland: Proc. of Second United Nations Symposium on development and Use of Geothermal Resources (Vol. 1, pp. 853-864). US Government Printing Office, San Francisco (in English).

Bagriy I.D., Kuzmenko S.O., Naumenko U.Z., Zubal S.D. New technology for exploration of hydrogen accumulations and orecast of geodynamic phenomena. 13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment 12-15 November 2019, Kyiv, Ukraine (in English).

Bagriy I.D., Gozhik P.F., Repkin A.A., Kuzmenko S.A., Loktiev A.A., Semenuk V.G. Rationale of search technology on hydrogen and geodynamic phenomena (oil and gas regions, minefields). *Геол. журн.* 2019. № 2 (367). C.18-28 (in English).

Barbier S., Huan F., Andreani M., Tao R., Hao J., Eleish A., Prabhu A., Minhas O., Fontaine K., Fox P., & Daniel I. (2020). Review of  $H_2$ ,  $CH_4$ , and Hydrocarbon Formation in Experimental Serpentization Using Network Analysis. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00209> (in English).

Bergfeld D., Lowenstern J.B., Hunt A.G., & Shanks III W.C.P. (2011). Gas and Isotope Chemistry of Thermal Features in Yellowstone National Park, Wyoming. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5012, 26 p. (in English).

Bicocchi G., Tassi F., Bonin M., Capecciacci F., Ruggieri G., Buccianti A., Burgassi B., & Vaselli O. (2013). The high  $p\ CO_2$  Caprese Reservoir (Northern Apennines, Italy): Relationships between present- and paleo-fluid geochemistry and structural setting. *Chemical Geology*, 351 (2), 40-56. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.05.001> (in English).

Birkle P., Marín E.P., Pinti D.L., & Castro C. (2016). Origin and evolution of geothermal fluids from Las Tres Vírgenes and Cerro Prieto fields, Mexico-Cogenetic volcanic activity and paleoclimate constraints. *Applied Geochemistry*, 65, 3-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.10.009> (in English).

Boulart C., Chavagnac V., Monnin C., Delacour A., Ceuleneer G., & Hoareau G. (2013). Differences in gas venting from ultramafic-hosted warm springs: the example of Oman and Voltri Ophiolites. *Ophioliti*, 38 (2), 143-156. doi: 10.4454/ofioliti.v38i2.423 (in English).

Brier D., Jerzykiewicz T., & Śliwiński W. (2017). On generating a geological model for

- Byrd D.* (2014). 4.8 — magnitude earthquake in Yellowstone Park on March 30. Retrieved from <https://earthsky.org/earth/earthquake-in-yellowstone-national-park-on-march-30>.
- Capasso G., Carapezza M., Federico C., Inguaggiato S., & Rizzo A.* (2005). Geochemical monitoring of the 2002-2003 eruption at Stromboli volcano (Italy): Precursory changes in the carbon and helium isotopic composition of fumarole gases and thermal waters. *Bulletin Volcanology*, 68, 118-134. <https://doi.org/10.1007/s00445-005-0427-5>.
- Carapezza M. L. & Tarchini L.* (2007). Accidental gas emission from shallow pressurized aquifers at Alban Hills volcano (Rome, Italy): Geochemical evidence of magmatic degassing? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 165, 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.04.008>.
- Chiodini G., Caliro S., Lowenstern J. B., Evans W.C., Bergfeld D., Tassi F., & Tedesc D.* (2012). Insights from fumarole gas geochemistry on the origin of hydrothermal fluids on the Yellowstone Plateau. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 89, 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.04.051>
- Chiodini G., Marini L., & Russo M.* (2001). Geochemical evidence for the existence of high temperature hydrothermal brines at Vesuvio volcano, Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65 (13), 2129-2147. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00583-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00583-X).
- Coveney Jr.R.M., Goebel E. D., Zeller E. J., Dreschhoff A. A.M., & Angino E. E.* (1987). Serpentization and origin of hydrogen gas in Kansas. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 71 (1), 39-48. <https://doi.org/10.1306/94886D3F-1704-11D7-8645000102C1865D>.
- Crespo-Medina M., Twing K., Sánchez R., Brazelton W.J., McCollom T.M., & Screnk M. O.* (2017, 23 May). Methane Dynamics in a Tropical Serpentinizing Environment: The Santa Elena Ophiolite, Costa Rica. *Frontiers Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00916>.
- D'Allessandro W., Yüce G., Italiano F., Bellomo S., Güba A., Yasin D. U., & Gagliano A. L.* (2018). Large compositional differences in the gases releases from Kizildag ophiolitic body (Turkey): Evidence of prevailingly abiogenic origin. *Marine and Petroleum Geology*, 89 (1), 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.12.017>.
- Daae F. L., Okland I., Dahle H., Jørgensen S. L., Thorseth I. H., & Pedersen R. B.* (2013). Microbial hydrogen gas in the Southern Taudenni Megabasin (Bourakebougou area, Mali). Search and Discovery Article 4204. Retrieved from [http://www.searchanddiscovery.com/documents/2017/42041jerzykiewicz/ndx\\_jerzykiewicz.pdf](http://www.searchanddiscovery.com/documents/2017/42041jerzykiewicz/ndx_jerzykiewicz.pdf) (in English).
- Brombach T., Caliro S., Chiodini G., Fiebig J., Hunziker J.C., & Raco B.* (2003). Geochemical evidence for mixing of magmatic fluids with seawater, Nisyros hydrothermal system, Greece. *Bulletin of Volcanology*, 65, 505-516. <https://doi.org/10.1007/s00445-003-0278-x> (in English).
- Byrd D.* (2014). 4.8 — magnitude earthquake in Yellowstone Park on March 30. Retrieved from <https://earthsky.org/earth/earthquake-in-yellowstone-national-park-on-march-30> (in English).
- Capasso G., Carapezza M., Federico C., Inguaggiato S., & Rizzo A.* (2005). Geochemical monitoring of the 2002-2003 eruption at Stromboli volcano (Italy): Precursory changes in the carbon and helium isotopic composition of fumarole gases and thermal waters. *Bulletin Volcanology*, 68, 118-134. <https://doi.org/10.1007/s00445-005-0427-5> (in English).
- Carapezza M.L. & Tarchini L.* (2007). Accidental gas emission from shallow pressurized aquifers at Alban Hills volcano (Rome, Italy): Geochemical evidence of magmatic degassing? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 165, 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.04.008> (in English).
- Chiodini G., Caliro S., Lowenstern J.B., Evans W.C., Bergfeld D., Tassi F., & Tedesc D.* (2012). Insights from fumarole gas geochemistry on the origin of hydrothermal fluids on the Yellowstone Plateau. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 89, 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.04.051> (in English).
- Chiodini G., Marini L., & Russo M.* (2001). Geochemical evidence for the existence of high temperature hydrothermal brines at Vesuvio volcano, Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65 (13), 2129-2147. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00583-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00583-X) (in English).
- Coveney Jr.R.M., Goebel E.D., Zeller E.J., Dreschhoff A.A.M., & Angino E.E.* (1987). Serpentization and origin of hydrogen gas in Kansas. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 71 (1), 39-48. <https://doi.org/10.1306/94886D3F-1704-11D7-8645000102C1865D> (in English).
- Crespo-Medina M., Twing K., Sánchez R., Brazelton W.J., McCollom T.M., & Screnk M.O.* (2017, 23 May). Methane Dynamics in a Tropical Serpentinizing Environment: The Santa Elena Ophiolite, Costa Rica. *Frontiers Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00916> (in English).

- life associated with low-temperature alteration of ultramafic rocks in the Leka ophiolite complex. *Geobiology*, 11 (4), 318-339. <https://doi.org/10.1111/gbi.12035>.
- Deronzier G-F., & Giouse H. (2020). Vaux-en-Bugey (Ain, France): the first gas field produced in France, providing learning lessons for natural hydrogen in the sub-surface. *BSGF Earth Sciences Bulletin*, 191 (7). <https://doi.org/10.1051/bsgf/20220005>.
- Dugamin E., Truche L., & Donzé E. (2019). Natural hydrogen exploration guide. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Frederic\\_Donze/publication/330728855\\_Natural\\_Hydrogen\\_ExplExplora\\_Guide/links/5c59492e299bf12be3fd2524/Natural-Hydrogen-Exploration-Guide.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Frederic_Donze/publication/330728855_Natural_Hydrogen_ExplExplora_Guide/links/5c59492e299bf12be3fd2524/Natural-Hydrogen-Exploration-Guide.pdf).
- Emmanue S., & Ague J.J. (2007). Implication of present-day abiogenic methane fluxes for the Early Archian atmosphere. *Geophysical Research Letters*, 34 (5), L15810. <https://doi.org/10.1029/2007GL030532>.
- Etiöpe G. (2017). Abiotic methane in continental serpentinization sites: an overview. 15th Water-Rock Interaction International Symposium, WRI-15. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17 (1), 9-12. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.12.006>.
- Etiöpe G., Samardžić N., Grassa F., Hrvatovi H., Miošić H., Skopljak F., Samardžić N., Grassa F., Hrvatovi H., Miošić N., & Skopljak F. (2017). Methane and hydrogen in hyperalkaline groundwaters of the serpentinized Dinaride ophiolite belt, Bosnia and Herzegovina. *Applied Geochemistry*, 84, 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.07.006>.
- Etiöpe G., Tsikouras B., Kordella S., Ifandi E., Christodoulou D., & Papatheodorou G. (2013). Methane flux and origin in the Othrys ophiolite hyperalkaline springs, Greece. *Chemical Geology*, 347 (1), 161-174. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.04.003>.
- Etiöpe G., Vadillo I., Whiticar M. J., Marques J. M., Carreira P. M., Tiago I., Benavente J., Jimenez P., & Urresti B. (2016). Abiotic methane seepage in the Ronda peridotite massif, southern Spain. *Applied Geochemistry*, 6 (1), 101-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.12.001>.
- Evans C. S. (2010). Playas in Kansas and the High Plains. In *Kansas Geological Survey* (pp. 1-6). Public Information Circular 30.
- Farrell J., Smith R. B., Husen S., & Diehl T. (2014). Tomography from 26 years of seismicity revealing that the spatial extent of the Yellowstone crustal magma reservoir extends
- D'Allessandro W., Yüce G., Italiano F., Bellomo S., Güba A., Yasin D.U., & Gagliano A.L. (2018). Large compositional differences in the gases releases from Kizildag ophiolitic body (Turkey): Evidence of prevailingly abiogenic origin. *Marine and Petroleum Geology*, 89 (1), 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.12.017> (in English).
- Daae F.L., Oakland I., Dahle H., Jørgensen S.L., Thorseth I.H., & Pedersen R.B. (2013). Microbial life associated with low-temperature alteration of ultramafic rocks in the Leka ophiolite complex. *Geobiology*, 11 (4), 318-339. <https://doi.org/10.1111/gbi.12035> (in English).
- Deronzier G-F., & Giouse H. (2020). Vaux-en-Bugey (Ain, France): the first gas field produced in France, providing learning lessons for natural hydrogen in the sub-surface. *BSGF Earth Sciences Bulletin*, 191 (7). <https://doi.org/10.1051/bsgf/20220005> (in English).
- Dugamin E., Truche L., & Donzé E. (2019). Natural hydrogen exploration guide. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Frederic\\_Donze/publication/330728855\\_Natural\\_Hydrogen\\_ExplExplora\\_Guide/links/5c59492e299bf12be3fd2524/Natural-Hydrogen-Exploration-Guide.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Frederic_Donze/publication/330728855_Natural_Hydrogen_ExplExplora_Guide/links/5c59492e299bf12be3fd2524/Natural-Hydrogen-Exploration-Guide.pdf) (in English).
- Emmanue S., & Ague J.J. (2007). Implication of present-day abiogenic methane fluxes for the Early Archian atmosphere. *Geophysical Research Letters*, 34 (5), L15810. <https://doi.org/10.1029/2007GL030532> (in English).
- Etiöpe G. (2017). Abiotic methane in continental serpentinization sites: an overview. 15th Water-Rock Interaction International Symposium, WRI-15. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17 (1), 9-12. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.12.006> (in English).
- Etiöpe G., Samardžić N., Grassa F., Hrvatovi H., Miošić H., Skopljak F., Samardžić N., Grassa F., Hrvatovi H., Miošić N., & Skopljak F. (2017). Methane and hydrogen in hyperalkaline groundwaters of the serpentinized Dinaride ophiolite belt, Bosnia and Herzegovina. *Applied Geochemistry*, 84, 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.07.006> (in English).
- Etiöpe G., Tsikouras B., Kordella S., Ifandi E., Christodoulou D., & Papatheodorou G. (2013). Methane flux and origin in the Othrys ophiolite hyperalkaline springs, Greece. *Chemical Geology*, 347 (1), 161-174. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.04.003> (in English).
- Etiöpe G., Vadillo I., Whiticar M. J., Marques J. M., Carreira P. M., Tiago I., Benavente J., Jimenez P., & Urresti B. (2016). Abiotic methane seepage in the Ronda peridotite massif, southern Spain. *Applied Geochemistry*, 6 (1), 101-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.12.001> (in English).

- well beyond the Yellowstone caldera. *Geophysical Research Letters*, 41, 1-5. <http://doi.org/10.1002/2014GL059588>.
- Firestone R. B., West B. A., Kennet J. P., Becker L., Bunch T. E., Revay Z. S., Shultz P. H., Belgya T., Kennet D. J., Erladson J. M., Goodyear A. C., Harris R. S., Howard G. A., Kloosterman J. B., Lechler P., Maewski P. A., Montgomery J., Poreda R., Darrah T., Que Hee S. S., Smith A. R., Stich A., Topping W., Wittke J. H., & Wolbach W. S. (2007). Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling: *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (41), 16016-16021. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706977104>.
- Fourré E., Napoli, R. Di. Aiuppa, A., Aiuppa F., Gaubi E., Jean-Baptiste P., Allard P., Calabrese S., & Ben Mamou A. (2011). Regional variations in the chemical and helium-carbon isotope composition of geothermal fluids across Tunisia. *Chemical Geology*, 288 (1-2), 67-85. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.07.003>.
- Garofalo K. (2006). Origin, composition and evolution of fumarolic fluids of subduction zone volcanoes in Nicaragua. *Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, 100 p.
- Garofalo K., Tassi F., Vaselli O., Delgado-Huertas A., Tedesco D., Frische M., Hansteen T. H., Poreda R. J., & Strauch W. (2006). Fumarolic gases at Mombacho volcano (Nicaragua): presence of magmatic gas species and implications for volcanic surveillance. *Bulletin of Volcanology*, 69, 785-795. <http://doi.org/10.1007/s00445-006-0108-z>.
- Gibbon Geyser Basin (Yellowstone hot spot) geothermal features. (2010). Retrieved from [www.jsgeology.net](http://www.jsgeology.net).
- Goebel E. D., Coveney R. M. Jr., Angino E. E., & Zeller E. J. (1983). Naturally occurring hydrogen gas from a borehole on the western flank of the Nemaha Anticline in Kansas. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 67 (8), 1324. <https://doi.org/10.1306/03B5B76D-16D1-11D7-8645000102C1865D>.
- Goff F., McMurtry G. M., Counce D., Simac J. A., Roldán-Manzo A. R., & Hilton D. R. (2000). Contrasting hydrothermal activity at Sierra Negra and Alcedo volcanoes, Galapagos Archipelago, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 62, 34-52. <https://doi.org/10.1007/s004450050289>.
- Graham D. W. (2002). Gas isotope geochemistry of Mid-Ocean Ridge and Ocean island basalts characterization of mantle source reservoirs. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 41, 1-5. <http://doi.org/10.1002/2014GL059588>.
- Evans C. S. (2010). Playas in Kansas and the High Plains. In *Kansas Geological Survey* (pp. 1-6). Public Information Circular 30 (in English).
- Farrell J., Smith R. B., Husen S., & Diehl T. (2014). Tomography from 26 years of seismicity revealing that the spatial extent of the Yellowstone crustal magma reservoir extends well beyond the Yellowstone caldera. *Geophysical Research Letters*, 41, 1-5. <http://doi.org/10.1002/2014GL059588> (in English).
- Firestone R. B., West B. A., Kennet J. P., Becker L., Bunch T. E., Revay Z. S., Shultz P. H., Belgya T., Kennet D. J., Erladson J. M., Goodyear A. C., Harris R. S., Howard G. A., Kloosterman J. B., Lechler P., Maewski P. A., Montgomery J., Poreda R., Darrah T., Que Hee S. S., Smith A. R., Stich A., Topping W., Wittke J. H., & Wolbach W. S. (2007). Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling: *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (41), 16016-16021. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706977104> (in English).
- Fourré E., Napoli, R. Di. Aiuppa, A., Aiuppa F., Gaubi E., Jean-Baptiste P., Allard P., Calabrese S., & Ben Mamou A. (2011). Regional variations in the chemical and helium-carbon isotope composition of geothermal fluids across Tunisia. *Chemical Geology*, 288 (1-2), 67-85. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.07.003> (in English).
- Garofalo K. (2006). Origin, composition and evolution of fumarolic fluids of subduction zone volcanoes in Nicaragua. *Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, 100 p. (in English).
- Garofalo K., Tassi F., Vaselli O., Delgado-Huertas A., Tedesco D., Frische M., Hansteen T. H., Poreda R. J., & Strauch W. (2006). Fumarolic gases at Mombacho volcano (Nicaragua): presence of magmatic gas species and implications for volcanic surveillance. *Bulletin of Volcanology*, 69, 785-795. <http://doi.org/10.1007/s00445-006-0108-z> (in English).
- Gibbon Geyser Basin (Yellowstone hot spot) geothermal features. (2010). Retrieved from [www.jsgeology.net](http://www.jsgeology.net) (in English).
- Goebel E. D., Coveney R. M. Jr., Angino E. E., & Zeller E. J. (1983). Naturally occurring hydrogen gas from a borehole on the western flank of the Nemaha Anticline in Kansas. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 67 (8), 1324. <https://doi.org/10.1306/03B5B76D-16D1-11D7-8645000102C1865D> (in English).
- Goff F., McMurtry G. M., Counce D., Simac J. A., Roldán-Manzo A. R., & Hilton D. R. (2000). Contrasting hydrothermal activity at Sierra Negra and Alcedo volcanoes, Galapagos Archipelago, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 62, 34-52. <https://doi.org/10.1007/s004450050289> (in English).

- try, 47 (1), 247-317. <https://doi.org/10.2138/rmg.2002.47.8>.
- Grassa F., Inguaggiato S., & Liotta M. (2008). Fluid Geochemistry of Stromboli. *Geophysical Monograph Series*, 182, 49-63. <https://doi.org/10.1029/182GM06>.
- Gudjonsdottir S. R., Ilyinskaya E., Hreinsdottir S., Bergsson B., Pfeffer M. A., Michalczevska K., Aiuppa A., & Oladottir A. A. (2018). Gas emissions and crustal deformation from the Krýsuvík high temperature geothermal system, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 391, 106350. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.007>.
- Guélard J. (2016). Caractérisation des émissions de dihydrogène naturel en contexte intracratonique: Exemple d'une interaction gaz/ eau/ Roche au Kansas. PhD thesis, Paris 6 Université de Pierre et Marie Curie, 295 p.
- Guelard J., Beaumont V., Rouchon V., Guyot F., Pillot D., Jezeque D., Ader M., Newell K. D., & Deville E. (2018). Natural H<sub>2</sub> in Kansas: Deep or shallow origin? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18 (5), 1841-1865. <https://doi.org/10.1002/2016GC006544>.
- Harvey D. (2016). Solutions Manual to Analytical Chemistry 2.1. Retrieved from <http://dpuad-web.depauw.edu/harvey/web/eTextProject SMFiles /AC2.1 SolnManual.pdf>.
- Haynes W.M., Lide D. R., & Bruno T.J. (2016). *CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data*. 97 th Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1560 p.
- Hosgomez H., Etiope G., & Yalc M. N. (2008). New evidence for a mixed inorganic and organic origin of the Olympic Chimaera fire (Turkey): a large onshore seepage of abiogenic gas. *Geofluids*, 8 (4), 263-273. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2008.00226.x>.
- Huang H-H., Lin F-C., Schmand B., Farrell J., Smith R. B., & Tsai V.C. (2015). The Yellowstone magmatic system from the mantle plume to the upper crust. *Science Express*, 348, 773-776. <https://doi.org/10.1126/science.aaa5648>.
- Hurwitz S., Lowenstern J. B. (2014). Dynamics of the Yellowstone hydrothermal system. *Review of Geophysics*, 51, 375-411, doi: 10.1002/2014RG000452.
- Inguaggiato S., Pecoraino G., & D'Amore F. (2000). Chemical and isotopical characterization of fluid manifestations of Ischia Island (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 99 (1-4), 151-178. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00158-X](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00158-X).
- Italiano F., Yuce G., Uysal I. T., Gasparon M., & Morelli G. (2014). Insights into mantle-type vola-
- Contrasting hydrothermal activity at Sierra Negra and Alcedo volcanoes, Galapagos Archipelago, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 62, 34-52. <https://doi.org/10.1007/s004450050289> (in English).
- Graham D.W. (2002). Gas isotope geochemistry of Mid-Ocean Ridge and Ocean island basalts characterization of mantle source reservoirs. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 47 (1), 247-317. <https://doi.org/10.2138/rmg.2002.47.8> (in English).
- Grassa F., Inguaggiato S., & Liotta M. (2008). Fluid Geochemistry of Stromboli. *Geophysical Monograph Series*, 182, 49-63. <https://doi.org/10.1029/182GM06> (in English).
- Gudjonsdottir S.R., Ilyinskaya E., Hreinsdottir S., Bergsson B., Pfeffer M.A., Michalczevska K., Aiuppa A., & Oladottir A.A. (2018). Gas emissions and crustal deformation from the Krýsuvík high temperature geothermal system, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 391, 106350. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.007> (in English).
- Guélard J. (2016). Caractérisation des émissions de dihydrogène naturel en contexte intracratonique: Exemple d'une interaction gaz/ eau/ Roche au Kansas. PhD thesis, Paris 6 Université de Pierre et Marie Curie, 295 p. (in English).
- Guelard J., Beaumont V., Rouchon V., Guyot F., Pillot D., Jezeque D., Ader M., Newell K.D., & Deville E. (2018). Natural H<sub>2</sub> in Kansas: Deep or shallow origin? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18 (5), 1841-1865. <https://doi.org/10.1002/2016GC006544> (in English).
- Harvey D. (2016). Solutions Manual to Analytical Chemistry 2.1. Retrieved from <http://dpuad-web.depauw.edu/harvey/web/eTextProject SMFiles /AC2.1 SolnManual.pdf> (in English).
- Haynes W.M., Lide D.R., & Bruno T.J. (2016). *CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data*. 97 th Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1560 p (in English).
- Hosgomez H., Etiope G., & Yalc M.N. (2008). New evidence for a mixed inorganic and organic origin of the Olympic Chimaera fire (Turkey): a large onshore seepage of abiogenic gas. *Geofluids*, 8 (4), 263-273. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2008.00226.x> (in English).
- Huang H-H., Lin F-C., Schmand B., Farrell J., Smith R.B., & Tsai V.C. (2015). The Yellowstone magmatic system from the mantle plume to the upper crust. *Science Express*, 348, 773-776. <https://doi.org/10.1126/science.aaa5648> (in English).
- Hurwitz S., Lowenstern J.B. (2014). Dynamics of the Yellowstone hydrothermal system. *Re-*

- tile contribution from dissolved gases in artesian waters of the Great Artesian Basin, Australia. *Chemical Geology*, 378-379, 75-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.04.013>.
- Johnsgard S. K.* (1988). The fracture pattern of north-central Kansas and its relation to hydrogen soil gas anomalies over the midcontinent rift system. *Master of Science Thesis, the University of Kansas*, 12 p.
- Jones V.T. & Pirkle R.J.* (1981). Helium and hydrogen soil gas anomalies associated with deep or active faults. *Presented to the American Chemical Society, March 29-April 3, 1981, Atlanta, Georgia*.
- Joseph E.P., Fournier N., Lindsay J.M., Robertson R., & Beckles D. M.* (2013). Chemical and isotopic characteristics of geothermal fluids from Sulphur Springs, Saint Lucia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 254, 23-26.
- Kalacheva E., Taran Yu., & Kotenko T.* (2015). Geochemistry and solute fluxes of volcanohydrothermal systems of Shiashkotan, Kuril Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 256, 40-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.010>.
- Kalacheva E., Taran Yu., Kotenko T., Hattori K., Kotenko L., & Solis-Pichardo G.* (2016). Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 310, 118-131. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.11.006>.
- Klein F., Grozeva N. G., & Seewalda J. S.* (2019). Abiotic methane synthesis and serpentinization in olivine-hosted fluid inclusions. *PNAS* 116 (36), 17666-17672. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907871116>.
- Kyriakopoulos G. K.* (2010). Natural degassing of carbon dioxide and hydrogen sulphide and its environmental impact at Milos Island, Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece. *Proceedings of the 12 th International Congress Patras, May, 2010*.
- Larin N.* (1993). *Hydridic Earth. The new geology of our primordially hydrogen-rich planet*. Calgary: Polar Publishing, 242 p.
- Larin N., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhof A., & Larin V.N.* (2015). Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia. *Natural Resources Research*, 24, 369-383. <https://doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5>.
- Laurey P. & Chamberlain D.* (2002). *The South Carolina Aquarium Guide to Aquatic Habi-* view of Geophysics, 51, 375-411, doi: 10.1002/2014RG000452 (in English).
- Inguaggiato S., Pecoraino G., & D'Amorec F.* (2000). Chemical and isotopical characterization offluid manifestations of Ischia Island (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 99 (1-4), 151-178. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00158-X](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00158-X) (in English).
- Italiano F., Yuce G., Uysal I.T., Gasparon M., & Morelli G.* (2014). Insights into mantle-type volatiles contribution from dissolved gases in artesian waters of the Great Artesian Basin, Australia. *Chemical Geology*, 378-379, 75-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.04.013> (in English).
- Johnsgard S.K.* (1988). The fracture pattern of north-central Kansas and its relation to hydrogen soil gas anomalies over the midcontinent rift system. *Master of Science Thesis, the University of Kansas*, 12 p. (in English).
- Jones V.T. & Pirkle R.J.* (1981). Helium and hydrogen soil gas anomalies associated with deep or active faults. *Presented to the American Chemical Society, March 29-April 3, 1981, Atlanta, Georgia* (in English).
- Joseph E.P., Fournier N., Lindsay J.M., Robertson R., & Beckles D.M.* (2013). Chemical and isotopic characteristics of geothermal fluids from Sulphur Springs, Saint Lucia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 254, 23-26 (in English).
- Kalacheva E., Taran Yu., & Kotenko T.* (2015). Geochemistry and solute fluxes of volcanohydrothermal systems of Shiashkotan, Kuril Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 256, 40-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.010> (in English).
- Kalacheva E., Taran Yu., Kotenko T., Hattori K., Kotenko L., & Solis-Pichardo G.* (2016). Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 310, 118-131. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.11.006> (in English).
- Klein F., Grozeva N.G., & Seewalda J.S.* (2019). Abiotic methane synthesis and serpentinization in olivine-hosted fluid inclusions. *PNAS* 116 (36), 17666-17672. <https://doi.org/10.1073/pnas.1907871116> (in English).
- Kyriakopoulos G.K.* (2010). Natural degassing of carbon dioxide and hydrogen sulphide and its environmental impact at Milos Island, Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece. *Proceedings of the 12 th International Congress Patras, May, 2010* (in English).

tates of South Carolina. Columbia: Univ. of South Carolina Press, 301 p.

Li L., Wing B., Bui T.H., Mc Dermott J.M., Slater G.F., Wei S., Lacrampe-Coulocoume G., & Sherwood Lollar B. (2016). Sulfur mass-independent fractionation in subsurface fracture waters indicates a long-standing sulfur cycle in Precambrian rocks. *Nature Communication*, 7, 13252. <https://doi.org/10.1038/ncomms13252>.

Lin Li-H., Hall J., Lippmann-Pipke J., Ward J.A., Sherwood Lollar B., DeFlaun M., Rothmel R., Moser M., Gihring T.M., Mislowack B., Onstott T.C. (2005). Radiolytic H<sub>2</sub> in continental crust: Nuclear power for deep subsurface microbial communities. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6 (7), Q07003. <https://doi.org/10.1029/2004GC000907>.

Lippmann J., Stute M., Torgersen T., Moser D.P., Hall J.A., Lin L., Borcsik M., Bellamy R.E.S., & Onstott T.C. (2003). Dating ultra-deep mine waters with noble gases and <sup>36</sup>Cl, Witwatersrand Basin, South Africa 2003. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67 (23), 4597-4619. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(03\)00414-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00414-9).

Lowernstern J.B., & Janik C.J. (2002). The origin of reservoir liquids and vapors from the Geysers Geothermal Field, California (USA). *US Society of Economic Geologists Special Publication*, 10, 1-53.

Lowernstern J.B., Evans W.C., Bergfeld D., & Hunt A.G. (2014). Prodigious degassing of a billions years of accumulated radiogenic helium at Yellowstone. *Nature*, 506, 355-358. <https://doi.org/10.1038/nature12992>.

Marques J.M., Neves M.O., Miller A.Z., Rocha C., Vance S., Christensen L., Etiope G., Carreira P.M., & Suzuki S. (2017). Water-rock interaction ascribed to hyperalkaline mineral waters in the Cobego de Vide serpentinized ultramafic intrusive massif (Central Portugal). 15 th Water-Rock Interaction International Symposium, WRI-15. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 646-649.

Mayhew L., Ellison E.T., Mc Collom T.M., Trainor T.P., & Templeton A.S. (2013). Hydrogen generation from low-temperature water-rock reactions. *Nature Geoscience*, 6 (6), 478-484. <https://doi.org/10.1038/ngeo1825>.

Mazzini A., Lupi M., Sciarra A., Hammed M., Schmidt S.T., & Suessenberger A. (2019). Concentric Structures and hydrothermal venting in the Western Desert, Egypt. *Frontiers in Earth Science*, 7, 266. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00266>.

McCarthy H., & McGurie E. (1998). Soil gas studies along the Carlin trend, Eureka and Elko counties, Nevada. In: R. H. Tosdal (Ed.), *Contributions to the gold metallogeny of Northern Nevada*

Larin N. (1993). *Hydridic Earth. The new geology of our primordially hydrogen-rich planet*. Calgary: Polar Publishing, 242 p. (in English).

Larin N., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhofer A., & Larin V.N. (2015). Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia. *Natural Resources Research*, 24, 369-383. <https://doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5> (in English).

Laurey P., & Chamberlain D. (2002). *The South Carolina Aquarium Guide to Aquatic Habitats of South Carolina*. Columbia: Univ. of South Carolina Press, 301 p. (in English).

Li L., Wing B., Bui T.H., Mc Dermott J.M., Slater G.F., Wei S., Lacrampe-Coulocoume G., & Sherwood Lollar B. (2016). Sulfur mass-independent fractionation in subsurface fracture waters indicates a long-standing sulfur cycle in Precambrian rocks. *Nature Communication*, 7, 13252. <https://doi.org/10.1038/ncomms13252> (in English).

Lin Li-H., Hall J., Lippmann-Pipke J., Ward J.A., Sherwood Lollar B., DeFlaun M., Rothmel R., Moser M., Gihring T.M., Mislowack B., Onstott T.C. (2005). Radiolytic H<sub>2</sub> in continental crust: Nuclear power for deep subsurface microbial communities. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6 (7), Q07003. <https://doi.org/10.1029/2004GC000907> (in English).

Lippmann J., Stute M., Torgersen T., Moser D.P., Hall J.A., Lin L., Borcsik M., Bellamy R.E.S., & Onstott T.C. (2003). Dating ultra-deep mine waters with noble gases and <sup>36</sup>Cl, Witwatersrand Basin, South Africa 2003. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67 (23), 4597-4619. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(03\)00414-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(03)00414-9) (in English).

Lowernstern J.B., & Janik C.J. (2002). The origin of reservoir liquids and vapors from the Geysers Geothermal Field, California (USA). *US Society of Economic Geologists Special Publication*, 10, 1-53 (in English).

Lowernstern J.B., Evans W.C., Bergfeld D., & Hunt A.G. (2014). Prodigious degassing of a billions years of accumulated radiogenic helium at Yellowstone. *Nature*, 506, 355-358. <https://doi.org/10.1038/nature12992> (in English).

Marques J.M., Neves M.O., Miller A.Z., Rocha C., Vance S., Christensen L., Etiope G., Carreira P.M., & Suzuki S. (2017). Water-rock interaction ascribed to hyperalkaline mineral waters in the Cobego de Vide serpentinized ultramafic intrusive massif (Central Portugal). 15 th Water-Rock Interaction International Symposium, WRI-15. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 646-649 (in English).

Mayhew L., Ellison E.T., Mc Collom T.M., Trainor T.P., & Templeton A.S. (2013). Hydrogen

- da (pp. 243-250). USGS Open-File Report 98-338. <https://doi.org/10.3133/ofr98338B>.
- McCarthy Jr.J.H., Cunningham K. I., Roberts A. A., & Dietrich J. A. (1986). Soil gas studies around hydrogen-rich natural gas wells in northern Kansas. Open-File Report 86-461. United States Department of the Interior, Geological Survey.
- McCollom T.M., & Bach W. (2009). Thermodynamic constraints on hydrogen generation during serpentinization of ultramafic rocks. *Geochimica et Cosmochimica*, 37 (3), 856-875. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.10.032>
- Miller H. M. (2017). Low temperature hydrogen production and habitability of a hyperalkaline serpentinites aquifer in the Samail ophiolite. *Doctor of Philosophy Thesis, the University of Colorado*, 333 p.
- Minissale A., Magro G., Martinelli G., Vaselli O., & Tassi G. F. (2000). Fluid geochemical transect in the Northern Apennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implication. *Tectonics*, 319 (3), 199-222. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00031-7).
- Minissale, A., Corti, G., Tassi, F., Darrah, T.H., Vaselli, O., Montanari, D., Montegrossi, G., Yirgu, G., Selmo, E., & Teclu, A. (2017). Geothermal potential and origin of natural thermal fluids in the northern Lake Abaya area, Main Ethiopian Rift, East Africa. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 336, 1-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.01.012>.
- Mizutani Y., & Sogiura T. (1982). Variations in chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from Showashinzan volcano, Hokkaido, Japan. *Geochemical Journal*, 16, 63-71. <https://doi.org/10.2343/geochemj.16.63>.
- Morrill R. L., Kuenen J. G., Johnson O. J., Suzuki S., Rietze A., Sessions A. L., Fogel M. L., & Nealson K. H. (2013). Geochemistry and geobiology of a present-day serpentinization site in California: The Cedars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 109, 222-40. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.01.043>.
- Nelson P. L., & Grand S. P. (2018). Lower-mantle plume beneath the Yellowstone hotspot revealed by core waves. *Nature Geoscience*, 11, 280-284. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0075-y>.
- Neubeck A., Duc N. T., Bastviken D. T., Crill P., & Holm N. G. (2011). Formation of H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> by weathering of olivine at temperatures between 30 and 70 °C. *Geochemical Transactions*, 12 (1), 6. <https://doi.org/10.1186/1467-4866-12-6>.
- Newell D. K., Doveton J. H., Merriam D. F., Sherwood Lollar B., Waggoner W. M., & Magnuson M. L.
- generation from low-temperature water-rock reactions. *Nature Geoscience*, 6 (6), 478-484. <https://doi.org/10.1038/ngeo1825> (in English)
- Mazzini A., Lupi M., Sciarra A., Hammed M., Schmidt S.T., & Suessenberger A. (2019). Concentric Structures and hydrothermal venting in the Western Desert, Egypt. *Frontiers in Earth Science*, 7, 266. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00266> (in English).
- McCarthy H., & McGurie E. (1998). Soil gas studies along the Carlin trend, Eureka and Elko counties, Nevada. In: R.H. Tosdal (Ed.), *Contributions to the gold metallogeny of Northern Nevada* (pp. 243-250). USGS Open-File Report 98-338. <https://doi.org/10.3133/ofr98338B> (in English).
- McCarthy Jr.J.H., Cunningham K.I., Roberts A.A., & Dietrich J.A. (1986). Soil gas studies around hydrogen-rich natural gas wells in northern Kansas. Open-File Report 86-461. United States Department of the Interior, Geological Survey (in English).
- McCollom T.M., & Bach W. (2009). Thermodynamic constraints on hydrogen generation during serpentinization of ultramafic rocks. *Geochimica et Cosmochimica*, 37 (3), 856-875. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.10.032> (in English).
- Miller H.M. (2017). Low temperature hydrogen production and habitability of a hyperalkaline serpentinites aquifer in the Samail ophiolite. *Doctor of Philosophy Thesis, the University of Colorado*, 333 p. (in English).
- Minissale A., Magro G., Martinelli G., Vaselli O., & Tassi G.F. (2000). Fluid geochemical transect in the Northern Apennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implication. *Tectonics*, 319 (3), 199-222. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00031-7) (in English).
- Minissale, A., Corti, G., Tassi, F., Darrah, T.H., Vaselli, O., Montanari, D., Montegrossi, G., Yirgu, G., Selmo, E., & Teclu, A. (2017). Geothermal potential and origin of natural thermal fluids in the northern Lake Abaya area, Main Ethiopian Rift, East Africa. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 336, 1-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.01.012> (in English).
- Mizutani Y., & Sogiura T. (1982). Variations in chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from Showashinzan volcano, Hokkaido, Japan. *Geochemical Journal*, 16, 63-71. <https://doi.org/10.2343/geochemj.16.63> (in English).
- Morrill R.L., Kuenen J.G., Johnson O.J., Suzuki S., Rietze A., Sessions A.L., Fogel M.L., & Nealson K.H. (2013). Geochemistry and geobiology of a present-day serpentinization site in California: The Cedars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 109, 222-40. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.01.043> (in English).

- (2007). H<sub>2</sub>-rich and hydrocarbon gas recovered in a deep Precambrian well in northeastern Kansas. *Natural Resources Research*, 16(3), 277-292. <https://doi.org/10.1007/s11053-007-9052-7>.
- Ólafsson M., Torfason H., & Grönvold K. (2000). Surface exploration and monitoring of geothermal activity in the Kverkjöll geothermal area, Central Island. *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2000*.
- Pawson J. F. (2014). Abiotic Methane Formation at the Dun Mountain Ophiolite, New Zealand. Master of Science Degree Thesis, University of Canterbury, 84 p.
- Pitkänen P., & Partamies S. (2007). Origin and Implications of Dissolved Gases in Groundwater at Olkiluoto. Posiva Oy FI-27160, Finland, 62 p.
- Priatna P., & Kadarsita A. (2007). Characteristics of volcanic gas correlated to the eruption activity; Case study in the Merapi Volcano, periods of 1990-1994. *Indonesian Journal on Geosciences*, 2(4), 235-246. <http://dx.doi.org/10.17014/ijog.vol2no4.20074>.
- Prinzhoffer A. & Deville E. (2015). L'hydrogène naturel, la prochaine révolution énergétique? Une Énergie Inépuisable ET Non Polluante. Paris: Berlin, 171 p.
- Prinzhoffer A., Ciss C. S.T., & Diallo A. B. (2018). Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). *Journal of Hydrogen Energy*, 43 (42), 19315-19326.
- Prinzhoffer, A., Moretti, I., Francolin, J., Pacheco, C., d'Agostino, A., Werly, J., & Rupin, F. (2019). Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H<sub>2</sub>-emitting structure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (12), 5676-5685. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.119>.
- Rizzo A. L., Barberi F., Carapezza M. L., Di Piazza A., Francalanci L., Sortino F., & D'Ale Sandro W. (2015). New mafic magma refilling a quiescent volcano: Evidence from He-Ne-Ar isotopes during the 2011-2012 unrest at Santorini, Greece. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16 (3), 1-17. <https://doi.org/10.1002/2014GC005653>.
- Sato M., Sutton A. L., McGee K. A., & Russell-Robinson S. (1986). Monitoring of hydrogen along the San Andreas and Calaveras faults in central California in 1980-1984. *Journal of Geophysical Research*, 91 (B12), 1315-1326. <https://doi.org/10.1029/JB091iB12p12315>.
- Sherwood Lollar J., Voglesonger I. K., Lin L-H., Lacrampe-Couloume G., Telling J., Abrajano T.A., Onstott T.C., & Pratt L. M. (2007). Nelson P.L., & Grand S.P. (2018). Lower-mantle plume beneath the Yellowstone hotspot revealed by core waves. *Nature Geoscience*, 11, 280-284. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0075-y> (in English).
- Neubeck A., Duc N.T., Bastviken D.T., Crill P., & Holm N.G. (2011). Formation of H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> by weathering of olivine at temperatures between 30 and 70 °C. *Geochemical Transactions*, 12 (1), 6. <https://doi.org/10.1186/1467-4866-12-6> (in English).
- Newell D.K., Doveton J.H., Merriam D.F., Sherwood Lollar B., Waggoner W.M., & Magnuson M.L. (2007). H<sub>2</sub>-rich and hydrocarbon gas recovered in a deep Precambrian well in northeastern Kansas. *Natural Resources Research*, 16 (3), 277-292. <https://doi.org/10.1007/s11053-007-9052-7> (in English).
- Ólafsson M., Torfason H., & Grönvold K. (2000). Surface exploration and monitoring of geothermal activity in the Kverkjöll geothermal area, Central Island. *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2000* (in English).
- Pawson J. F. (2014). Abiotic Methane Formation at the Dun Mountain Ophiolite, New Zealand. Master of Science Degree Thesis, University of Canterbury, 84 p. (in English).
- Pitkänen P., & Partamies S. (2007). Origin and Implications of Dissolved Gases in Groundwater at Olkiluoto. Posiva Oy FI-27160, Finland, 62 p. (in English).
- Priatna P., & Kadarsita A. (2007). Characteristics of volcanic gas correlated to the eruption activity; Case study in the Merapi Volcano, periods of 1990-1994. *Indonesian Journal on Geosciences*, 2(4), 235-246. <http://dx.doi.org/10.17014/ijog.vol2no4.20074> (in English).
- Prinzhoffer A. & Deville E. (2015). L'hydrogène naturel, la prochaine révolution énergétique? Une Énergie Inépuisable ET Non Polluante. Paris: Berlin, 171 p. (in English).
- Prinzhoffer A., Ciss C.S.T., & Diallo A.B. (2018). Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). *Journal of Hydrogen Energy*, 43 (42), 19315-19326 (in English).
- Prinzhoffer, A., Moretti, I., Francolin, J., Pacheco, C., d'Agostino, A., Werly, J., & Rupin, F. (2019). Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H<sub>2</sub>-emitting structure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (12), 5676-5685. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.119> (in English).
- Rizzo A. L., Barberi F., Carapezza M. L., Di Piazza A., Francalanci L., Sortino F., & D'Ale Sandro W. (2015). New mafic magma refilling a quiescent volcano: Evidence from He-Ne-

- Hydrogeological Controls on Episodic H<sub>2</sub> Release from Precambrian Fractured Rocks-Energy for Deep Subsurface Life on Earth and Mars. *Astrobiology*, 7(6), 971-986. <https://doi.org/10.1089/ast.2006.0096>.
- Shinohara H, Giggenbach W.F, Kazihaya K, & Hedenquist F.W. (1993). Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma-Iwojima, Japan: Following Matsuo. *Geochemical Journal*, 27, 271-285. <https://doi.org/10.2343/geochemj.27.271>.
- Sleep N. H., Meibom A., Fridriksson G., Coleman Th.R, & Bird D. K. (2004). H<sub>2</sub>-rich fluids from serpentinization: Geochemical and biotic implications. *PNAS*, 101 (35), 12818-12623. <https://doi.org/10.1073/pnas.0405289101>.
- Smith N.J.P, Shepherd T.J., Styles M. T., & Williams G. M. (2005). Hydrogen exploration: a review of global hydrogen accumulations and implications for prospective areas in NW Europe. In: A. G. Doré, B. A. Vining (Eds.). *Petroleum Geology: North-West Europe and Global Perspectives-Proceedings of the 6 th Petroleum Geology Conference* (pp. 349-358). Published by the Geological Society, London.
- Spear J. R., Walker J. J., McCollom T.M., & Pace N. R. (2005). Hydrogen and bioenergetics in the Yellowstone geothermal ecosystem. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 102 (7), 2555-2560. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409574102>.
- Suda K, Ueno Y, Yoshizakia M, Nakamura, H, Kurokawa, K, Nishiyama, E, Yoshino, K, Honkoh, Y, Kawashi, K, Omori, S, Yamada, K, Yoshida, N, & Maruyama, S. (2014). Origin of methane in serpentinites-hosted hydrothermal systems: The CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O hydrogen isotope systematics of the Hakuba Happo hot spring. *EarthandPlanetaryScienceLetters*, 386 (1), 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.11.001>.
- Sugisaki R, Anno H, Adash M, & U H (1980). Geochemical features of gases and rocks along active faults. *Geochemical Journal*, 14, 101-112. <https://doi.org/10.2343/geochemj.14.101>.
- Suzuki S, Ishii S, Wu A, Tenney A, Wanger G, Kueen J. G., & Nealson K. H. (2013). Microbial diversity in the Cedars, an ultrabasic ultrareducing, and low salinity-serpentinizing ecosystem. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110 (38), 15336-15341. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302426110>.
- Symonds R. B., Rose W.I., Gerlach T.M., Briggs P.H., & Harmon R. S. (1990). Evaluation of gases, condensates, and SO<sub>2</sub> emissions from Augustine volcano, Alaska: The degassing of a Cl-rich volcanic system. *Bulletin of Volcanology*, 52, 355-374. <https://doi.org/10.1007/BF00302048>.
- Ar isotopes during the 2011-2012 unrest at Santorini, Greece. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16 (3), 1-17. <https://doi.org/10.1002/2014GC005653> (in English).
- Sato M, Sutton A.l, McGee K.A., & Russell-Robinson S. (1986). Monitoring of hydrogen along the San Andreas and Calaveras faults in central California in 1980-1984. *Journal Geophysical Research*, 91 (B12), 1315-1326. <https://doi.org/10.1029/JB091iB12p12315> (in English).
- Sherwood Lollar J., Voglesonger I.K., Lin L-H., Lacrampe-Couloume G., Telling J., Abrajano T.A., Onstott T.C., & Pratt L.M. (2007). Hydrogeological Controls on Episodic H<sub>2</sub> Release from Precambrian Fractured Rocks-Energy for Deep Subsurface Life on Earth and Mars. *Astrobiology*, 7 (6), 971-986. <https://doi.org/10.1089/ast.2006.0096> (in English).
- Shinohara H, Giggenbach W.F, Kazihaya K, & Hedenquist F.W. (1993). Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma-Iwojima, Japan: Following Matsuo. *Geochemical Journal*, 27, 271-285. <https://doi.org/10.2343/geochemj.27.271> (in English).
- Sleep N.H., Meibom A., Fridriksson G., Coleman Th.R, & Bird D.K. (2004). H<sub>2</sub>-rich fluids from serpentinization: Geochemical and biotic implications. *PNAS*, 101 (35), 12818-12623. <https://doi.org/10.1073/pnas.0405289101> (in English).
- Smith N.J.P, Shepherd T.J., Styles M.T., & Williams G.M. (2005). Hydrogen exploration: a review of global hydrogen accumulations and implications for prospective areas in NW Europe. In: A.G. Doré, B.A. Vining (Eds.). *Petroleum Geology: North-West Europe and Global Perspectives-Proceedings of the 6 th Petroleum Geology Conference* (pp. 349-358). Published by the Geological Society, London (in English).
- Spear J.R., Walker J.J., McCollom T.M., & Pace N.R. (2005). Hydrogen and bioenergetics in the Yellowstone geothermal ecosystem. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 102 (7), 2555-2560. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409574102> (in English).
- Suda K, Ueno Y, Yoshizakia M, Nakamura, H, Kurokawa, K, Nishiyama, E, Yoshino, K, Honkoh, Y, Kawashi, K, Omori, S, Yamada, K, Yoshida, N, & Maruyama, S. (2014). Origin of methane in serpentinites-hosted hydrothermal systems: The CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O hydrogen isotope systematics of the Hakuba Happo hot spring. *EarthandPlanetaryScienceLetters*, 386 (1), 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.11.001> (in English).
- Sugisaki R, Anno H, Adash M, & U H (1980). Geochemical features of gases and rocks along active faults. *Geochemical Journal*, 14, 101-112. <https://doi.org/10.2343/geochemj.14.101> (in English).

- Szponar N., Brazelton W.J., Schren M.O., Bower D.M.A.D., Steel M., & Morril P. (2013). Geochemistry of a continental site of a serpentinization the Tablelands Ophiolite, Gros Morne National Park: AMars analogue. *Icarus*, 224(2), 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.07.004>.
- Tamburello G., Agusto M., Caselli A., Tassi F., Vaselli O., Calabres S., Rouwet D., Capaccioni B., Di Napol R., Cardellini C., Chiodini G., Bitetto M., Brusca L., Bellomo S., & Aiuppa A. (2015). Intense magmatic degassing through the lake of Copahue volcano, 2013-2014. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120, 6071-6084. <https://doi.org/10.1002/2015JB012160>.
- Taran Y., Fischer T.P., Pokrovsk B., Sano Y., Armienta M.A., & Macias J.I. (1998). Geochemistry of the volcano-hydrothermal system of El Chichón Volcano, Chiapas, Mexico. *Bulletin of Volcanology*, 59, 436-449. <https://doi.org/10.1007/s004450050202>.
- Taran Y.A., Varley N.R., Inguaggiato S., & Cienfuegos E. (2011). Geochemistry of H<sub>2</sub>- and CH<sub>4</sub>-enriched hydrothermal fluids of Socorro Island, Revillagigedo Archipelago, Mexico. Evidence for serpentinization and abiogenic methane. *Geofluids*, 10 (4), 542-555. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2010.00314.x>.
- Taran Yu.A., Hedenquist J.W., Korzhinsky M.A., Tkachenko S.I., & Shmulgovich K.I. (1995). Geochemistry of magmatic gases from Kudryvyy volcano, Iturup, Kuril Islands. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59 (9), 1749-1761. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00079-F](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00079-F).
- Tassi F., Vaselli O., Capaccioni B., Giolito C., Duart E., Fernandez E., Minissale A., & Magro G. (2005). The hydrothermal-volcanic system of Rincon de la Vieja volcano (Costa Rica): A combined (inorganic and organic) geochemical approach to understanding the origin of the fluid discharges and its possible application to volcanic surveillance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 148 (3-4), 315-333. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.05.001>.
- Tassi F., Vaselli O., Capaccioni B., La Pira V.G., Macias J.L., Nencetti A., Montegrossi G., & Magro G. (2003). Chemical composition of fumarolic gases and spring discharges from El Chichón volcano, Mexico: causes and implications of the changes detected over the period 1998-2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123, 105-121. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00031-3).
- Tassi F., Venturi S., Cabass J., Capechiacci F., Nisi B., & Vaselli O. (2015). Volatile organic compounds (VOCs) in soil gases from Solfatara Suzuki S., Ishii S., Wu A., Tenney A., Wanger G., Kueen J.G., & Nealson K.H. (2013). Microbial diversity in the Cedars, an ultrabasic ultrareducing, and low salinity-serpentinizing ecosystem. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110 (38), 15336-15341. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302426110> (in English).
- Symonds R.B., Rose W.I., Gerlach T.M., Briggs P.H., & Harmon R.S. (1990). Evaluation of gases, condensates, and SO<sub>2</sub> emissions from Augustine volcano, Alaska: The degassing of a Cl-rich volcanic system. *Bulletin of Volcanology*, 52, 355-374. <https://doi.org/10.1007/BF00302048> (in English).
- Szponar N., Brazelton W.J., Schren M.O., Bower D.M.A.D., Steel M., & Morril P. (2013). Geochemistry of a continental site of a serpentinization the Tablelands Ophiolite, Gros Morne National Park: AMars analogue. *Icarus*, 224(2), 286-296. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.07.004> (in English).
- Tamburello G., Agusto M., Caselli A., Tassi F., Vaselli O., Calabres S., Rouwet D., Capaccioni B., Di Napol R., Cardellini C., Chiodini G., Bitetto M., Brusca L., Bellomo S., & Aiuppa A. (2015). Intense magmatic degassing through the lake of Copahue volcano, 2013-2014. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120, 6071-6084. <https://doi.org/10.1002/2015JB012160> (in English).
- Taran Y., Fischer T.P., Pokrovsk B., Sano Y., Armienta M.A., & Macias J.I. (1998). Geochemistry of the volcano-hydrothermal system of El Chichón Volcano, Chiapas, Mexico. *Bulletin of Volcanology*, 59, 436-449. <https://doi.org/10.1007/s004450050202> (in English).
- Taran Y.A., Varley N.R., Inguaggiato S., & Cienfuegos E. (2011). Geochemistry of H<sub>2</sub>- and CH<sub>4</sub>-enriched hydrothermal fluids of Socorro Island, Revillagigedo Archipelago, Mexico. Evidence for serpentinization and abiogenic methane. *Geofluids*, 10 (4), 542-555. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2010.00314.x> (in English).
- Taran Yu.A., Hedenquist J.W., Korzhinsky M.A., Tkachenko S.I., & Shmulgovich K.I. (1995). Geochemistry of magmatic gases from Kudryvyy volcano, Iturup, Kuril Islands. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59 (9), 1749-1761. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00079-F](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00079-F) (in English).
- Tassi F., Vaselli O., Capaccioni B., Giolito C., Duart E., Fernandez E., Minissale A., & Magro G. (2005). The hydrothermal-volcanic system of Rincon de la Vieja volcano (Costa Rica): A combined (inorganic and organic) geochemical approach to understanding the origin of the fluid discharges and its possible application to volcanic surveillance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 148

- crater (Campi Flegrei, southern Italy): Geogenic source(s) vs. biogeochemical processes. *Applied Geochemistry*, 56, 37-49. <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.02.005>.
- The Fiery Origins of Carolina Bays. (2013). Retrieved from <https://www.coastalreview.org/2013/08/the-fiery-origins-of-carolina-bays/>.
- Truche L., & Bazarkina E. F. (2019). Natural hydrogen the fuel of the 21st century. In *16th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and 13th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference)*. E3S Web Conf. (Vol. 98). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199803006>.
- Truche L., Joubert G., Dargent M., Martz P., Cathelineau M., Rigaudier T., & Quirt D. (2018). Clay minerals trap hydrogen in the Earth's crust: Evidence from the Cigar Lake uranium deposit, Athabasca. *Earth and Planetary Science Letters*, 2 (1), 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.038>.
- Tsunogai U., Kamimura K., Anzai S., Nakagawa F., & Komatsu D. D. (2011). Hydrogen isotopes in volcanic plumes: Tracers for remote temperature sensing of fumaroles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75 (16), 4531-4546. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.05.023>.
- Vacquand C. (2011). Genèse et mobilité de l'hydrogène naturel: source d'énergie ou vecteur énergétique stockable? *Thèse. Présentée devant l'Institut de Physique du Globe de Paris Le 18 mars 2011*, 174 p.
- Vacquand C., Deville E., Beaumont V., Guyot F., Sissmann O., Pillot D., Arcilla C., & Prinzhof A. (2018). Reduced gas seepages in ophiolitic complexes: Evidences for multiple origins of the H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub> gas mixtures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 223 (1), 437-461. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.12.018>.
- Villemant B., Komorowski J. C., Dessert C., Michel A., Crispi O., Hammouya G., Beauducel F., & De Chabalier J. B. (2014). Evidence for a new shallow magma intrusion at La Soufrière of Guadeloupe (Lesser Antilles). Insights from long-term geochemical monitoring of halogen-rich hydrothermal fluids. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285, 247-277. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.002>.
- Zelenski M.E., Taran Yu.A., Dubinina E. O., Sharap V.N., & Polyntseva E. A. (2012). Sources of Volatiles for a Subduction Zone Volcano: Mutnovsky Volcano, Kamchatka. *Geochemistry International*, 50 (6), 502-521. <https://doi.org/10.1134/S001670291204009X>.
- Zgonnik V. (2020). The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews*, (3-4), 315-333. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.05.001> (in English).
- Tassi F., Vaselli O., Capaccioni B., La Pira V.G., Macias J.L., Nencetti A., Montegrossi G., & Magro G. (2003). Chemical composition of fumarolic gases and spring discharges from El Chichón volcano, Mexico: causes and implications of the changes detected over the period 1998-2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123, 105-121. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00031-3) (in English).
- Tassi F., Venturi S., Cabass J., Capecciaci F., Nisi B., & Vaselli O. (2015). Volatile organic compounds (VOCs) in soil gases from Solfatara crater (Campi Flegrei, southern Italy): Geogenic source(s) vs. biogeochemical processes. *Applied Geochemistry*, 56, 37-49. <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.02.005> (in English).
- The Fiery Origins of Carolina Bays. (2013). Retrieved from <https://www.coastalreview.org/2013/08/the-fiery-origins-of-carolina-bays/> (in English).
- Truche L., & Bazarkina E.F. (2019). Natural hydrogen the fuel of the 21st century. In *16th International Symposium on Water-Rock Interaction (WRI-16) and 13th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry (1st IAGC International Conference)*. E3S Web Conf. (Vol. 98). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199803006> (in English).
- Truche L., Joubert G., Dargent M., Martz P., Cathelineau M., Rigaudier T., & Quirt D. (2018). Clay minerals trap hydrogen in the Earth's crust: Evidence from the Cigar Lake uranium deposit, Athabasca. *Earth and Planetary Science Letters*, 2 (1), 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.04.038> (in English).
- Tsunogai U., Kamimura K., Anzai S., Nakagawa F., & Komatsu D.D. (2011). Hydrogen isotopes in volcanic plumes: Tracers for remote temperature sensing of fumaroles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75 (16), 4531-4546. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.05.023> (in English).
- Vacquand C. (2011). Genèse et mobilité de l'hydrogène naturel: source d'énergie ou vecteur énergétique stockable? *Thèse. Présentée devant l'Institut de Physique du Globe de Paris Le 18 mars 2011*, 174 p. (in English).
- Vacquand C., Deville E., Beaumont V., Guyot F., Sissmann O., Pillot D., Arcilla C., & Prinzhof A. (2018). Reduced gas seepages in ophiolitic complexes: Evidences for multiple origins of the H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub> gas mixtures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 223 (1), 437-461. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.12.018> (in English).
- Villemant B., Komorowski J.C., Dessert C., Michel A., Crispi O., Hammouya G., Beauducel F., & De Chabalier J.B. (2014). Evidence for a new shallow magma intrusion at La Soufrière of Guadeloupe (Lesser Antilles). Insights from long-term geochemical monitoring of halogen-rich hydrothermal fluids. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285, 247-277. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.002>.

- 
- 203, 103140. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140>.
- Zgonnik V., Beaumont V., Deville E., Larin N., Pillot D., & Farrell K.M. (2015). Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA). *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, 31. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0062-5>.
- Zgonnik V., Beaumont V., Larin N., Pillot D., & Deville E. (2019). Diffused flow of molecular hydrogen through the Western Hajar Mountains, Northern Oman. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 71. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4242-2>.
- Zhou X., Du J., Che Z., Cheng J., Tang Y., Yang L., Xie C., Cui Y., Liu L., Yi L., Yang P., & Li Y. (2010). Geochemistry of soil gas in the seismic fault zone produced by the Wenchuan Ms 8.0 earthquake, southwestern China. *Geochemical Transactions*, 11, 5. <https://doi.org/10.1186/1467-4866-11-5>.
- deloupe (Lesser Antilles). Insights from longterm geochemical monitoring of halogenrich hydrothermal fluids. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285, 247-277. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.002> (in English).
- Zelenski M.E., Taran Yu.A., Dubinina E.O., Shapar V.N., & Polyntseva E.A. (2012). Sources of Volatiles for a Subduction Zone Volcano: Mutnovsky Volcano, Kamchatka. *Geochemistry International*, 50 (6), 502-521. <https://doi.org/10.1134/S001670291204009X> (in English).
- Zgonnik V. (2020). The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews*, 203, 103140. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140> (in English).
- Zgonnik V., Beaumont V., Deville E., Larin N., Pillot D., & Farrell K.M. (2015). Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA). *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, 31. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0062-5> (in English).
- Zgonnik V., Beaumont V., Larin N., Pillot D., & Deville E. (2019). Diffused flow of molecular hydrogen through the Western Hajar Mountains, Northern Oman. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 71. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4242-2> (in English).
- Zhou X., Du J., Che Z., Cheng J., Tang Y., Yang L., Xie C., Cui Y., Liu L., Yi L., Yang P., & Li Y. (2010). Geochemistry of soil gas in the seismic fault zone produced by the Wenchuan Ms 8.0 earthquake, southwestern China. *Geochemical Transactions*, 11, 5. <https://doi.org/10.1186/1467-4866-11-5> (in English).

## АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ

## AUTHORS' COLLECTIVE

**Багрій Ігор Дмитрович**  
професор, академік УНГА, керівник «Науково-координаційного центру новітніх пошукових технологій»



**Рєпкін Олександр Олександрович**  
президент Енергетичної асоціації «Українська воднева рада»



**Забулонос Юрій Леонідович**  
професор, член-кореспондент НАН України, директор Державної установи «Інститут геохімії навколошнього середовища» НАН України



**Вижва Сергій Андрійович**  
професор, доктор геологічних наук, директор ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка



**Хрушцев Дмитрій Павлович**  
професор, доктор геолого-мінералогічних наук, Національна академія наук України



**Ihor Dmytrovych Bagriy**  
Professor, academician of NGA.  
Head of the «Scientific Coordination Center of the Latest Search Technologies»

**Oleksandr Oleksandrovych Riepkin**  
President of the Energy Association «Ukrainian Hydrogen Council»

**Yuriy Leonidovych Zabulonov**  
Professor, corresponding member of the NAS of Ukraine, director of the State Institution «Institute of Environmental Geochemistry» of the NAS of Ukraine

**Sergiy Andriyovych Vyzhva**  
Professor, Doctor of Geological Sciences, Director of the Institute of Geology of Taras Shevchenko Kyiv National University

**Dmytro Pavlovych Khrushchev**  
Professor, Doctor of geological and mineralogical sciences National Academy of Sciences of Ukraine

---

**Русаков Олег Максимович**  
професор. Доктор геолого-мінералогічних наук Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України



**Oleg Maksimovich Rusakov**  
Professor. Doctor of geological and mineralogical sciences Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine

**Попов Олександр Олександрович**  
професор, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, Державна установа «Інститут геохімії навколошнього середовища НАН України»



**Oleksandr Oleksandrovych Popov**  
Professor, Doctor of Technical Sciences, Corresponding member of NAS of Ukraine, Institute of Geochemistry of the Environment, NAS of Ukraine

**Маслун Нінель Володимирівна**  
кандидат геолого-мінералогічних наук, член-кореспондент УНГА, провідний науковий співробітник Інституту геологічних наук НАН України



**Ninel Volodymyrivna Maslun**  
candidate of geological and mineralogical sciences, corresponding member of UNGA, leading researcher of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

**Іванік Олена Михайлівна**  
професор, доктор геологічних наук, завідуюча кафедри загальної та історичної геології ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка



**Olena Mykhailivna Ivanik**  
Professor, Doctor of geological and mineralogical sciences, Head, Department of General and Historical Geology, «Institute of Geology» Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

**Ковач Валерія Омелянівна**  
доктор наук з державного управління, провідний науковий співробітник Державної установи «Інститут геохімії навколошнього середовища» НАН України



**Valeriya Omelanivna Kovach**  
doctor of sciences in public administration, leading researcher of the State institution «Institute of Environmental Geochemistry» of the NAS of Ukraine

**Шевчук Олена Андріївна**  
доктор геологічних наук, провідний науковий співробітник Інституту геологічних наук НАН України



**Olena Andriiivna Shevchuk**  
doctor of geol. Sciences, prov. of science employee of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine

---

**Криль Ярослав Миколайович**  
кандидат економічних наук  
Директор ТОВ «Водень України»



**Iaroslav Mykolayovych Kryl**  
Candidate of Economic Sciences,  
Director of «Voden Ukrayni» LLC

**Паюк Сергій Олексійович**  
Голова Державної комісії України  
по запасах корисних копалин



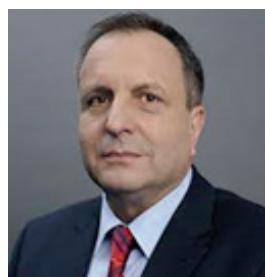
**Serhii Oleksiyovych Payuk**  
Head of the State Commission of  
Ukraine on Mineral Reserves

**Щуров Ігор Вячеславович**  
кандидат технічних наук,  
академік УНГА, генеральний  
директор ДТЕК Нафтогаз



**Ihor Vyacheslavovych Shchurov**  
candidate of technical sciences,  
academician of UNGA, General Di-  
rector of DTEK Naftogaz

**Гафич Іван Петрович**  
кандидат геолого-мінералогіч-  
них наук, академік УНГА, ди-  
ректор з розвідки та перспек-  
тивного розвитку ДТЕК Нафтога-  
з



**Ivan Petrovych Hafych**  
candidate of geological and miner-  
alogical sciences, academician of  
UNGА, director of exploration and  
prospective development of DTEK  
Naftogaz

**Леськів Ігор Володимирович**  
кандидат геолого-мінералогіч-  
них наук, академік УНГА



**Ihor Volodymyrovych Leskiv**  
candidate of geol.-min. of Scienc-  
es, academician of UNGA

**Руденко Юрій Федорович**  
кандидат геолого-мінералогіч-  
них наук, заступник директора  
Державної установи «Науко-  
во-інженерний центр радіогід-  
рогеоекологічних полігонних  
досліджень НАН України»



**Yury Fedorovych Rudenko**  
State institution «Scientific and En-  
gineering Center of Radio-Hydro-  
geoecological Polygon Research of  
the National Academy of Sciences  
of Ukraine». Deputy director, can-  
didate of geological and mineralog-  
ical sciences, senior researcher.

---

**Семенюк Володимир Григорович**  
кандидат геологічних наук, головний геолог ТОВ «Смарт Енерджі»



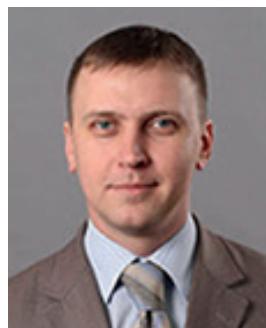
**Volodymyr Grygorovych Semenyuk**  
candidate of Geological Sciences,  
chief geologist of «Smart Energy»  
LLC

**Сіра Наталія Василівна**  
кандидат геологічних наук, начальник комплексної аналітичної лабораторії Дочірнього підприємства ПрАТ «НАК «Нафра України», «Український геологічний науково-виробничий центр»



**Nataliia Vasilivna Sira**  
Candidate Head of integrated analytical laboratory SE «Ukrnaukageo-center», «Ukrainian Geological Research and Production Center»

**Гришаненко Володимир Петрович**  
кандидат техн. наук, чл.- кор. УНГА, директор з розвідки та розробки родовищ нафти і газу ТОВ Науково-виробниче підприємство «Центр нафтогазових ресурсів», лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки



**Volodymyr Petrovych Grishanenko**  
Candidate of technology of Sciences, member-cor. UNGA, director of exploration and development of oil and gas fields LLC Scientific and Production Enterprise «Center of Oil and Gas Resources», laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology

**Солодкий Євгеній Валерійович**  
кандидат геологічних наук, керівник департаменту з розвідки ТОВ «Нафтогаз»



**Evgeniy Valeriyovych Solodkyy**  
candidate of Geological Sciences, head of the exploration department of Naftogaz LLC

**Дубосарський Віктор Рудольфович**  
кандидат геологічних наук, провідний науковий співробітник Інституту геологічних наук НАН України



**Viktor Rudolfovich Dubosarsky**  
Candidate of Geological Sciences. Leading researcher of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine

---

**Довбиш Ніна Сергіївна**  
головний геолог Інституту геологічних наук НАН України



**Nina Serhiivna Dovbysh**  
chief geologist of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

**Мамишев Ігор Евгенійович**  
старший науковий співробітник  
Інституту геологічних наук  
НАН України



**Ihor Evgeniyovych Mamyshev**  
Senior researcher at the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

**Ліхван Вадим Максимович**  
головний геолог ТОВ «Платівське»



**Vadim Maksymovich Lihvan**  
chief geologist of «Plativske» LLC

**Кузьменко Святослав Олександрович**  
гірничий інженер, аспірант Інституту геологічних наук НАН України



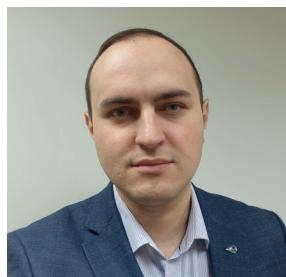
**Svyatoslav Oleksandrovich Kuzmenko**  
Mining engineer. Postgraduate student of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

**Коваль Анатолій Михайлович**  
кандидат геологічних наук, головний фахівець Національна акціонерна компанія «Нафтогаз України»



**Anatoly Mykhailovych Koval**  
Candidate of Geological Sciences  
Chief specialist National joint-stock company «Naftogaz of Ukraine»

**Стародубець Кирило Миколайович**  
кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник Інституту геологічних наук НАН України



**Kyrylo Mykolayovych Starodubets**  
Candidate of Geological Science.  
Institute of Geological Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine

---

## **НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**Н<sub>2</sub> – ВОДЕНЬ. ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИКЛИКИ ХХІ СТОРІЧЧЯ.  
ГЛОБАЛЬНІ ПРОЕКТИ. ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ.**

**Монографія  
Головний редактор  
Ігор Дмитрович Багрій**

**Авторський колектив**

Багрій І. Д.	Гафич І. П.
Репкін О. О.	Лесків І. В.
Забулонов Ю. Л.	Руденко Ю. Ф.
Вижва С. А.	Семенюк В. Г.
Хрушев Д. П.	Сіра Н. В.
Русаков О. М.	Солодкий Є. В.
Попов О. О.	Гришаненко В. П.
Маслун Н. В.	Дубосарський В. Р.
Іванік О. М.	Довбиш Н. С.
Ковач В. О.	Мамишев І. Е.
Шевчук О. А.	Ліхван В. М.,
Криль Я. М.	Кузьменко С. О.
Паюк С. О.	Коваль А. М.
Щуров І. В.	Стародубець К. М.

**Редактор: Довбиш Н.С.  
Комп'ютерне верстання та художнє оформлення: Водяний В.В.**

Видавництво ДП "УГК"  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №7469 від 5.10.2021 р.  
Адреса видавництва: 02088, м. Київ, пров. Геофізиків, 10  
E-mail: press.ukrdgri@gmail.com  
<https://mru-journal.com.ua>

Підписано до друку 29.12.2022 р. Формат 60x90 ½  
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 6,5 Обл. вид. арк. 9  
Тираж 100 примірників. Зам № 336