

Долін В.В.

ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

«ЦАРСТВО ІДЕЙ» АКАДЕМІКА В.І. ВЕРНАДСЬКОГО У СУЧАСНОМУ ПРИРОДОЗНАВСТВІ* (Замість передмови)

Еволюція поглядів В.І. Вернадського щодо світобудови привела до поєднання наук про Землю, Життя і Космос у єдину природничо-філософську парадигму біосферознавства. Генетична мінералогія, геохімія, радіогеологія, вчення про живу речовину і біосферу та її еволюцію у ноосферу є гранями цілісного наукового світогляду академіка В.І. Вернадського, який розвивається у сучасному природознавстві та є джерелом ідей для науковців нинішнього і майбутніх поколінь.

Досі я не розумів тієї насолоди, яку відчуває людина сучасності, шукати пояснення того, що із сутності, з природи відтворюється її почуттями, не з книг, а з неї самої.

В.І. Вернадський

Багатоспрямована і багатоаспектна наукова діяльність В.І. Вернадського органічно поєднана ланками цілісної наукової програми – біосферознавства, в основу якого покладено головну парадигму творчості видатного вченого – еволюції речовини Землі й її космічного оточення. Ідея сполучення живого і неживого, завжди розділених «різкою неперехідною межею», у процесі перетворення матерії протягом геологічної історії планети яскравою стрічкою пронизує творчу спадщину видатного вченого – мислителя, філософа, природознавця. «Весь довгий життєвий шлях (з 1863 до 1945 р.) найвидатнішого природознавця останнього сторіччя, академіка Володимира Івановича Вернадського – це шлях наполегливої праці та яскравої творчої думки, шлях, що відкриває нові галузі в науці, який визначив нові напрями природознавства...» [6]. Саме цілісність, а не роздрібненість цих напрямів є основою життєвої діяльності В.І. Вернадського.

Втім у фаховій науковій літературі, геологічній, мінералогічній, геохімічній, біологічній, біогеохімічній, історичній та філософській, ця риса особистості В.І. Вернадського зазвичай оминається фахівцями в роботах, присвячених його творчості. Тим самим губиться сприйняття цілісного світогляду найвидатнішого мислителя сучасності, втрачаються найважливіші узагальнюючі ідеї. Розділення його творчості на окремі наукові напрями розриває неподільне на частини та начебто протиставляє автономне існування «Вернадського-мінералога» «Вернадському-історику» чи «Вернадському-біологу».

Стрижнем цілісного світогляду В.І. Вернадського є принцип єдності живого і неживого, Життя і Природи, що реалізується в історичному розрізі, і ті конкретні науки, які він розвивав або створював заново, стали засобом дослідження цієї єдності. На формування цього світогляду протягом навчання у Петербурзькому університеті (1881—1885) найбільший вплив здійснили лекції Д.І. Менделєєва – саме в період розквіту його таланту і створення періодичної таблиці, та В.В. Докучаєва – фундатора ґрунтознавства, ідеї якого щодо природно-історичного тіла ґрунту значною мірою визначили майбутні біогеохімічні розробки В.І. Вернадського.

Дмитро Іванович Менделєєв, за словами В.І. Вернадського, збуджував «найглибші прагнення людської особистості до знання та його активного застосування».

* У статті використано матеріали робіт [1—5].

У 80-х роках XIX ст. в Росії виникло генетичне ґрунтознавство. Його засновник – яскравий оригінальний вчений, професор Петербурзького університету В.В. Докучаєв – розглядав генезис ґрунту як результат взаємодії низки ґрунтоутворюючих чинників: ґрунтоутворюючої гірничої породи, рослин і тварин, кліматичних умов, форм рельєфу, ґрунтових вод. Учення В.В. Докучаєва поглибило та конкретизувало уявлення попередників щодо діяльності живих організмів на прикладі найбільш поширеного природного утворення – ґрунтового покриву суші. Водночас вперше було показано нерозривну єдність живих організмів з іншими компонентами природної системи та неможливість існування цієї системи поза явищем життя.

Концепція живої речовини створювалася на рубежі XIX—XX ст. Ідеї В.В. Докучаєва про загальний взаємозв'язок компонентів природи і живі організми, як невід'ємну складову частину ґрунту та водночас найважливіший чинник його утворення, виявилися відправною науково-філософською основою, на якій сформувалися розроблені В.І. Вернадським генетична мінералогія і геохімія, а в подальшому – біогеохімія і вчення про біосферу [7].

Саме в період співпраці з В.В. Докучаєвим сформувався світогляд В.І. Вернадського як природознавця. Можна без перебільшення вважати, що джерелом більшості значних відкриттів В.І. Вернадського став розроблений В.В. Докучаєвим новий метод наукового пізнання – «ядро істинної натурфілософії», що полягає у вивченні «співвідношення генетичного віковичного та завжди закономірного зв'язку, який існує між силами, тілами і явищами, між мертвою і живою природою, між рослинними, тваринними та мінеральними царствами, з одного боку, та людиною, її побутом, і навіть духовним світом – з іншого» [8].

Продовжуючи справу свого вчителя, В.І. Вернадський розвивав дві основні ідеї В.В. Докучаєва: щодо «географічного розподілу ґрунтів у зв'язку з їх генезисом» та «про ґрунт як особливе природне тіло» [9]. І якщо його ранні роботи (1889—1892 рр.) з ґрунтознавства носять здебільшого описовий характер, у працях наступних років В.І. Вернадський розглядає ґрунт як цілісну біокосну систему, біотична та абіотична компоненти якої нерозривно пов'язані між собою потоками речовини та енергії.

Протягом понад 20 років викладання в Московському університеті (1890—1911) В.І. Вернадський перетворив мінералогію з описової науки у нову генетичну мінералогію, внісши до неї дух динамізму. Своїми натхненниками у цьому відношенні він вважав французького вченого XVIII століття Ж.-Л. Леклерка де Бюффона та шведського хіміка Якоба Берцеліуса, який писав: «Мінералогія, як учення про неорганічні сполуки, що складають нашу земну кулю, є лише частиною хімії, на даних котрої вона цілком та історично ґрунтується» [10]. Отримавши кафедру Московського університету, В.І. Вернадський розділив кристалографію і мінералогію, вважаючи що перша спирається на фізику і математику, а друга – є хімією земної кори і пов'язана з геологією.

Генетичний підхід до вивчення ґрунтів і мінералів, дослідження природи в цілому привели В.І. Вернадського до геохімії, котра на початку XX століття не мала єдиної концепції. Сам термін «геохімія» запропоновано швейцарським хіміком Ф. Шенбейном у 1838 р., але В.І. Вернадський надав йому нового сенсу. Уявлення про геохімію як науку про історію земних атомів виникло у В.І. Вернадського на фоні новітньої атомістики, хімії і фізики у тісному зв'язку з генетичною мінералогією. «Геохімія науково вивчає хімічні елементи, тобто атоми земної кори та наскільки можливо – всієї планети. Вона вивчає їхню історію, їхній розподіл і рух у просторі–часі, їхні генетичні на нашій планеті співвідношення. Вона істотно відрізняється від мінералогії, яка вивчає у тому ж просторі і в тому ж часі історії Землі лише історію сполук елементів – молекул і кристалів. У цій строго обмеженій земній планетній області геохімія відкриває ті ж явища і закони, існування яких ми могли б досі лише передчувати в безмежних областях небесних просторів. Для нас наразі очевидно, що хімічні елементи не розподілені безладно у згущеннях матерії цих просторів, в туманностях, зірках, планетах, атомних хмарах, космічному пилу. Їхній розподіл залежить від будови їх атомів» [11]. В.І. Вернадський не лише виявив закономірності концентрування та розсіювання хімічних елементів при формуванні Землі та її оболонок (створив концепцію геохімії), але й напов-

нив окремі розділи цієї науки конкретним науковим змістом, та дуже багато зробив для розвитку прикладних напрямів геохімії.

Уперше в світі курс лекцій з геохімії прочитав блискучий учень і сподвижник В.І. Вернадського О.Є. Ферсман у 1912 р. в Московському міському народному університеті ім. А.Л. Шанявського. Протягом 1918—1922 рр. В.І. Вернадський прочитав декілька циклів лекцій з геохімії: 9 – у Київському університеті, 17 – у Петрограді в Академії наук та Сільськогосподарському інституті дослідної справи, а протягом 1922—1926 рр. – у Сорбонні. Власне матеріали цих лекцій покладено в основу «Нарисів геохімії». Водночас вони органічно доповнюють «Нариси...» «аналізом тих нових фактів та ідей, котрі пов'язані з бурхливим розвитком фізики й хімії на рубежі нашого* століття і які по суті зумовили саму можливість виникнення геохімії – атом став, як писав В.І. Вернадський, фізичною реальністю і вивчення його природної історії стало на порядку дня» [12].

У 1924 р. у Франції виходить перше видання «Геохімії» [13]. Роботу над цією книгою В.І. Вернадський розпочав у Києві та мріяв завершити в Українській Академії наук. Склалося так, що перше видання російською мовою побачило світ аж у 1927 р. під назвою «Нариси геохімії» і з тих пір витримало вісім видань, у тому числі п'ять російських.

Геохімія В.І. Вернадського істотно відрізнялася від уявлень Ф.У. Кларка і В.М. Гольдшміда. Тому перша публікація не викликала резонансу в Європі, а окремі відгуки на неї були швидше негативними, ілюструючи нерозуміння вперше викладеного комплексного підходу до опису природних явищ.

Спираючись на природознавчі роботи Ф. Енгельса щодо форм руху матерії, В.І. Вернадський уявляє міграцію атомів хімічних елементів, як одну з цих форм, заклавши нову методологію геохімії – вивчення геологічних процесів на атомарному рівні. Вчений визначає одну з центральних проблем геохімії – характер та особливості хімічних реакцій в біосфері, її хімічну рівновагу. До головних засад геохімії, розроблених В.І. Вернадським, відносяться:

- теоретичне обґрунтування геохімічної класифікації хімічних елементів;
- вчення про форми знаходження хімічних елементів у земній корі та «наскільки це можливо» планеті в цілому;
- поняття геохімічного циклу;
- термодинамічний підхід до вивчення історії хімічних елементів земної кори – часових закономірностей зміни форм їх знаходження;
- виділення у земній корі термодинамічних областей, що характеризуються певними парагенезисами хімічних елементів.

В.І. Вернадський доходить висновку, що «геохімія – історія хімічних елементів нашої планети могла виникнути лише після остаточного виявлення нових понять щодо атома та хімічних елементів. Вона могла виникнути лише у наш час. Але корені її йдуть глибоко в минуле науки і ми зараз бачимо, як розрізнені вишукування численних учених минулих століть, не зовсім зрозумілі сучасникам, під впливом великих наукових узагальнень нашого часу приймають нові форми, отримують нову сутність і виявляються між собою пов'язаними» [11].

Базуючись на досягненнях сучасної атомістики учений усі хімічні елементи Менделєєвської системи класифікує на шість груп: благородні гази, благородні метали, циклічні елементи, розсіяні елементи, елементи сильно радіоактивні, елементи рідкісних земель і наводить маси геохімічних груп хімічних елементів у літосфері. Він виділяє чотири форми їх знаходження у земній корі:

- молекули та їхні сполуки у мінералах, гірських породах, рідинах і газах;
- хімічні елементи у живій речовині;
- елементи у кремнієво-алюмінієвих магмах;
- стан розсіяння хімічних елементів.

* Мається на увазі ХХ століття.

Велику роботу провів В.І. Вернадський щодо вивчення рідкісних і розсіяних елементів (рубідію, цезію, талію та ін.), геохімія яких детально описана у серії статей [14].

В.І. Вернадський обґрунтовує термодинамічний підхід до вивчення геосфер і земних оболонок, виділяє три головних форми енергії геохімічних міграційних процесів: космічну, планетарну і внутрішню енергію матерії. «Можливість ототожнення геосфер і земних оболонок з явищами фізико-хімічних рівноваг, що характеризуються певними параметрами, з якими пов'язуються і на основі яких розглядаються усі спостережувані в них явища, дозволяє спиратися в геохімії на теоретичні побудови фізичної хімії... Вивчаючи земні оболонки з цієї точки зору можна говорити про знаходження в них *термодинамічних геосфер*, які визначаються у своїх властивостях температурою і тиском...

Але в геохімії виключного значення набувають ще декілька змінних, з яких особливо має значення *форма знаходження* хімічних елементів... У біосфері такою змінною є *жива речовина*», яка «є однією з форм знаходження хімічних елементів. *Можна говорити про форми знаходження елементів, як про особливі змінні величини земних динамічних рівноваг*» [11].

Саме цією цитатою розкривається суть тези В.І. Вернадського щодо необхідності вивчення «історії хімічних елементів» земної кори і планети в цілому, яка повторюється у більшості його наукових праць. Саме у вивченні часових закономірностей зміни форм знаходження хімічних елементів та їх ізотопів у біосфері полягає термодинамічний підхід, який успішно застосовується у сучасних наукових дослідженнях [15].

Геохімія та мінералогія сполук силіцію – сфера найбільш ранніх інтересів та розробок В.І. Вернадського. Його перша експериментальна робота в Парижі у лабораторії *College de France* (пізніше – *Ecole de mines*) у співпраці з видатними хіміками і геологами А.-Л. Ле Шательє та Ф. Фуке стосувалася геохімії силікатів та була опублікована у 1891—1892 рр. французькою і російською мовами [16]. «Кремній вирисовується у всесвіті як елемент, що має виключне значення. Він зосереджується, ймовірно, у зовнішніх оболонках небесних світил. О. Ферсман... пов'язує це з особливою будовою ядра кремнію аналогічно Fe і Mg» [11].

У той же період В.І. Вернадський зацікавився іншим елементом світобудови, аналогом силіцію – вуглецем. «Вуглець – один з найважливіших хімічних елементів земної кори. Його значення у ній несумірно велике порівняно з кількістю його атомів, що в ній знаходяться» [11]. Можливо, саме у кінці 80-х – на початку 90-х років XIX століття, під впливом лекцій Л. Пастера та І.І. Мечникова зародилися ідеї біогеохімії, які через 30 років висунули В.І. Вернадського «на арену світової науки» [6].

Вчення про хімічний склад живої речовини і біосфери у творчості В.І. Вернадського знаходиться в центрі світобудови. Через призму його наукової парадигми найбільш яскраво сконцентровано пізнання ролі живих організмів в історії планети Земля, теоретичну основу якого складає це вчення. У різноманітті розмірів, морфології та фізіології живих організмів загальною умовою їх життєдіяльності є обмін речовин з середовищем існування. Незважаючи на незначну відносну масу у зовнішніх оболонках Землі, сумарний ефект геохімічної діяльності організмів з урахуванням фактора часу має важливе планетарне значення. Організми, поглинаючи хімічні елементи селективно, виходячи з фізіологічних потреб, викликають у навколишньому середовищі біогенну диференціацію хімічних елементів.

У вченні В.І. Вернадського про живу речовину тісно переплітаються природознавчі та філософські аспекти. «Все живе утворюється з живого у біосфері, комплекс фізико-хімічних явищ в якій точно обмежений та визначений» [17]. Утворення живого лише з живого досі не отримало наукового пояснення та дає підстави для розширення поглядів на життя від земного до космічного явища.

Спіраючись на праці Л. Пастера та П. Кюрі щодо дисиметрії живого В.І. Вернадський вважав, що жива речовина існує в особливому просторі, геометрія якого відрізняється від геометрії земних абіогенних тіл. Початковою стадією абіогенезу вчений вважає утворення Місяця, коли спіральньо-вихровий рух земної речовини створив умови для тимчасо-

вого виникнення дисиметрії на поверхні планети. Саме до цього короткочасного періоду (якщо, звісно, життя зародилося на Землі) відноситься утворення біосфери та живої речовини, яка повинна була виникнути у вигляді сукупності організмів – біоценозів [17].

Вплив організмів на навколишнє середовище безперервно здійснюється протягом геологічної історії – близько 4 млрд років. Постійно існуючу планетарну сукупність організмів В.І. Вернадський розглядав з позицій геохімії як особливу форму матерії – живу речовину, головною властивістю якої є постійний і безперервний масообмін хімічних елементів з навколишнім середовищем. У геохімії елементів – йоду, марганцю, кисню, алюмінію, магнію, кремнію – «ми всюди бачили вирішальне значення в міграції їх атомів живої речовини, вочевидь пов'язаної з властивостями атомів вуглецю. Той же вплив життя розкривається незмінно й для інших елементів» [11]. З цієї причини діяльність живої речовини виступає провідним чинником геохімічної еволюції зовнішньої частини планети. Ці міркування покладено в основу нового наукового напрямку – біогеохімії, який, вивчаючи історію формування хімічного складу літосфери під впливом живої речовини, нерозривно пов'язує живу та неживу речовину нашої планети, що завжди розділені «різкою неперехідною межею» [20].

В.І. Вернадський не роз'єднував поняття живої речовини і біогеохімії. Підготована до друку в 1929 р. збірка «Жива речовина» була видана через десять років під назвою «Біогеохімічні нариси». Автор писав: «Прошло багато часу та маса втрати часу і зусиль доки я добився видання – переконавшись, що потрібно змінити назву. Ця збірка, сильно пощипана цензурою (неосвіченою анекдотично), ...виходить під заголовком «Біогеохімічні нариси» лише зараз, у 1940 р. ...Ця книга була надрукована і повинна була вийти в 1930 р. під заголовком «Жива речовина»**. Тут вперше вводиться поняття «живої речовини», як сукупності організмів, що беруть участь у геохімічних процесах. «... Живою речовиною я називатиму... сукупність організмів, зведених до маси, хімічного елементарного складу та до енергії» [22]. «У такому застосуванні «жива речовина» є новим поняттям у науці» [23].

В.І. Вернадський вважав, що будь-який організм є невід'ємною частиною земної кори, являє собою механізм, що її змінює, та може бути відділений від неї лише в нашій абстракції. Повне уявлення про нього можна отримати лише за сполученого вивчення його морфологічних та фізіологічних властивостей у поєднанні з геологічними, зокрема, геохімічними – його зміни внаслідок сукупності хімічних явищ у біосфері [24].

У роботі «Два синтези космосу» вчений застерігає дослідників від надмірного захоплення абстрагованим знанням, відірваним від діалектичного розуміння всієї природи як єдиного цілого. Потужний апарат математичних і фізичних абстракцій виявляється даремним, як тільки вчений забуває, що предметом вивчення є не та чи інша модель реальності, а об'єктивна реальність у всьому різноманітті взаємозв'язків речовини та енергії.

У наш час подрібнення наук на окремі наукові дисципліни науковий працівник не має можливості у своїх дослідженнях охопити величезне коло проблем, як це робили найвидатніші натуралісти минулого, що давало їм можливість у своїх працях сприймати природу, космос як єдине ціле. Таким був Гете – художник і натураліст водночас. «Це був мудрець, а не філософ, мудрець-природознавець» [25]. Таким же постає перед нами і В.І. Вернадський. У поставленні проблем він виходить не лише з єдності природи, але й із єдності колективної людської свідомості, розглядаючи її мультиаспектний розвиток в історичному розрізі. Він прагне знайти джерела зародження наукового пізнання і бачить, як одна й та сама реальність, наближаючись до наукової істини, може в свідомості покоління набувати форми поетичної картини, релігійного міфу або натурфілософської абстракції, залежно від етапу розвитку суспільства [26].

* Тут наведено сучасну оцінку. В.І. Вернадський вказував вік найдревнішого мінералу 2 млрд років, посилаючись на роботи [18, 19].

** Цитується за [21].

Сучасна диференціація природничих наук призвела до втрати розуміння зв'язку між природними явищами, взаємозумовленості природних процесів [27]. Тому доречно висловити припущення про те, що одним зі способів вирішення парадоксу доповненості у пізнанні може стати створення в майбутньому принципу Великого доповнення, що уможливується узагальненням принципу Н. Бора стосовно проблеми космології (єдності та протилежності живої та неживої речовини). На цій основі В.П. Казначеев формулює наступний постулат: «Будь-яке масштабне дослідження неживої матерії (на рівні мегасвіту, космологічних об'єктів) повинно бути доповнено результатами дослідження живої речовини (включаючи розумну речовину) такого ж масштабу. І навпаки: крупномасштабне дослідження живої речовини (включаючи розумну живу речовину) повинно доповнюватися новими знаннями щодо організації потоків неживої матерії аналогічного масштабу» [28].

Аналізуючи особливості біологічного пізнання, які склалися історично, В.І. Вернадський неодноразово підкреслював, що при вивченні земного життя біологія зосереджується на власне живому організмі, вичленяючи його з навколишнього середовища, з яким він нерозривно пов'язаний. «Вивчаючи живі організми, біологи в більшості своїх робіт лишають без уваги нерозривний зв'язок, найтіснішу функціональну залежність, яка існує між навколишнім середовищем і живим організмом. Ясно усвідомлюючи організованість організму, вони абсолютно не враховують організованість середовища, в якому живе організм, тобто біосфери» [23]. Цим критичним аналізом спрямованості біологічних досліджень фактично було закладено основи сучасної екології – науки про взаємодію організмів та їх угруповань між собою і з навколишнім середовищем (термін запропоновано у 1866 р. Е. Геккелем), яка наразі об'єднує природо- та суспільствознавців у пізнанні еволюційного розвитку біосфери.

Контури біогеохімії обрисовувалися поступово на фоні загального розвитку природознавства. Основні ідеї цієї науки зорієнтовані на оцінювання явищ життя, діяльності живої речовини з наукових позицій, тобто «числом і мірою». Разом з тим вони невідомо торкалися сфери споконвічних інтересів релігії, філософії, та, відповідно, ідеології. Ця обставина в усі часи вимагала непересічних якостей від особи дослідника.

Розвиткові ідей біогеохімії сприяли роботи багатьох вчених. Найбільш помітний слід в історії цих ідей залишили неординарні фігури видатних вчених, які водночас були яскравими особистостями. Наприкінці XVIII ст. завдяки відкриттю кисню, азоту, двооксиду вуглецю (вуглекислого газу) та розшифруванню хімічного складу повітря у наукових колах Парижу і Лондона активно обговорювалося значення газів у житті рослин. До цього періоду відносяться роботи А. Лавуазьє щодо кількісного оцінювання хімічних елементів, які беруть участь у реакції, та явища еквівалентного обміну кисню і вуглекислого газу у рослинах. Цими роботами було закладено основу сучасних уявлень щодо геохімії вуглецю в біосфері. Переконавшись, що головний хімічний елемент органічної речовини – вуглець – рослини отримують з атмосфери, а при розкладенні рослинних залишків – він повертається у вигляді вуглекислого газу, А. Лавуазьє дійшов висновку щодо універсальності колообігу при взаємодії живих організмів з природою. У його трактаті «Колообіг елементів на поверхні Земної кулі» обґрунтовано ідею щодо циклічного обміну хімічних елементів між трьома царствами природи: мінеральним, рослинним та тваринним та поставлено питання, на яке 200 років по тому біогеохімія прагне дати відповідь: «Якими шляхами здійснює природа цей дивовижний колообіг речовин між трьома своїми царствами?».

На початку XIX ст. Де Соссюр досяг сучасного розуміння щодо живлення рослин. У зв'язку зі з'ясуванням живлення рослин зразу ж перед людством постала в усій силі різниця між тваринами і рослинами і той колообіг речовин, який викликано на нашій планеті їхнім спільним існуванням. Ця думка, певне, виникла незалежно у багатьох природознавців. У 1779 р. президент Лондонського королівського товариства шотландський лікар Прингл яскраво намалював ту своєрідну картину рівноваги, яка існує між тваринами та зеленими рослинами, але яка являє собою тільки побічний коловий процес, що відбува-

ється лише за рахунок частини кисню – «життєвого газу», як називав його Лавуазьє, що виділяється зеленими рослинами [24].

Ця проблема залишалася в центрі уваги протягом ХІХ ст. У 1841 р. два видатних французьких вчених Ж.-Б. Дюма і Ж.-Б. Буссенго сформулювали ідею циклічного колообігу газів між живими організмами і атмосферою у дещо парадоксальній формі: «... ми бачимо, що первинна атмосфера Землі розділилася на три великих частини: одна з них утворює сучасне атмосферне повітря, інша – представлена рослинами, третя – тваринами... Таким чином, все, що повітря дає рослинам, рослини надають тваринам, тварини ж повертають повітря; вічне коло, в якому життя тріпотить та виявляється, але де матерія лише змінює своє місце».

Обмін речовин між живими організмами та навколишнім середовищем не обмежується колообігом газів. Наступний крок у пізнанні біогеохімічних циклів на суші пов'язано з дослідженнями видатного німецького хіміка Ю. Лібіха, який визначив два головних шляхи надходження хімічних елементів у рослини – через газовий обмін та з водних розчинів. По суті він вперше застосував метод сполученого аналізу, який наразі широко застосовується у геохімії ландшафтів, що виявилось у послідовному визначенні складу ґрунтів та вмісту мінеральних речовин у різних органах рослин і тварин, а також продуктах їх життєдіяльності. Ю. Лібіх довів експериментально вибірковість поглинання хімічних елементів рослинами, чим було закладено основу теорії мінерального живлення рослин, та започаткував вивчення циклічної міграції елементів у системі «ґрунт–рослина–ґрунт», яка в подальшому отримала назву біологічного колообігу. Визначивши шляхи експериментального вивчення біогеохімічних циклів хімічних елементів, він перевів проблему взаємодії живих організмів з мінеральним середовищем з галузі філософських побудов до площини конкретних наукових досліджень і практичної діяльності. У його книзі «Хімія у доповненні до рільництва та фізіології рослин» (Німеччина, 1840) вперше здійснено спробу розглянути долю народів та країн у зв'язку з порушенням природного масообміну окремих хімічних елементів.

Низка спостережень і досягнень, які вказували на величезне значення організмів у земній корі, зокрема, в хімічних її процесах потребувала систематичного зведення і наукового оброблення з позицій загального проявлення властивостей усього живого. Численні, проте розрізнені факти і гіпотези потребували узагальнення на новій методологічній основі, яку надала геохімія. Згідно принципів цієї науки, будь-який об'єкт можна охарактеризувати співвідношенням атомів хімічних елементів, які його утворюють. Геохімічний підхід дозволяє зіставляти і порівнювати різноманітні тіла і процеси. Зокрема, визначивши середній сумарний хімічний склад живих організмів Землі і порівнявши його з середнім складом земної кори, можна оцінити спрямованість геохімічної діяльності живої речовини у часі. Геохімічний підхід дає можливість об'єктивно, на строго науковій основі оцінити планетарний ефект діяльності живої речовини або окремих груп живих організмів.

В.І. Вернадський зазначав, що біогеохімічні проблеми почали його цікавити з 1891 р., коли він приступив до роботи зі створення курсу генетичної мінералогії у Московському університеті. Очолюючи кафедру мінералогії Московського університету В.І. Вернадський читав курс генетичної мінералогії, у якому особливу увагу приділяв історії утворення мінералів. Вивчення природних процесів на атомарному рівні було покладено вченим в основу фундаментальних положень геохімії щодо міграції хімічних елементів у земній корі, форм їх знаходження і явища їх розсіювання, які зіграли визначальну роль у формуванні біогеохімії.

У 1916 р. В.І. Вернадський починає багаторічну працю над створенням «науки про життя». Передусім необхідно було розробити підхід до об'єктивного оцінювання живої речовини та ефекту її діяльності. Шляхи вирішення цього завдання В.І. Вернадський намітив у 1918—1919 рр., коли під його керівництвом здійснювалися перші біогеохімічні дослідження в Україні, де він очолював новостворену Академію наук. На початку 20-х рр. він викладає свої ідеї у доповідях в Петрограді, Празі, а затим у курсі лекцій, прочитаних

в Сорбонні. «Щоб вірно оцінити значення живої речовини, ми повинні знати для цього, по-перше, середній елементарний хімічний склад усіх організмів живої речовини та, по-друге, виразити його кількісно, знати вагу живої речовини. Цей склад і вагу ми повинні пов'язати зі складом і вагою середовища, в якому земна речовина знаходиться» [29].

У результаті титанічних зусиль В.І. Вернадського у 1928 р. було створено Біогеохімічну лабораторію АН СРСР, яку він очолював до кінця своїх днів. На жаль, з причин невеликої чисельності співробітників лабораторії та недостатності коштів експериментальні дослідження обмежувалися визначенням вмісту хімічних елементів у різних організмах. Велика і дуже трудомістка робота з визначення мас живих організмів залишилася нездійсненою. Ці роботи було широко розгорнуто після смерті В.І. Вернадського у другій половині ХХ ст. екологами, ґрунтознавцями, океанологами. Отримані ними дані щодо динаміки живої речовини повністю підтвердили думки В.І. Вернадського щодо біогеохімічних циклів міграції хімічних елементів як основи існування біосфери.

За ініціативи В.І. Вернадського в середині 30-х років ХХ ст. було розпочато розроблення біогеохімічного методу пошуку родовищ корисних копалин, який втілено його учнями й послідовниками [30, 31]. Наразі цей метод успішно застосовується для пошуків родовищ берилію, бору, ванадію, золота, кобальту, нікелю, літію, міді, молібдену, урану, радію, свинцю, селену, цинку, цирконію та інших елементів.

В.І. Вернадський вирахував сумарну кількість живої речовини в біосфері Землі, з'ясував величину енергії, що міститься в ній, пильно дослідив процес поглинання сонячної енергії за допомогою хлорофілу зеленими рослинами суші і водоростями Світового океану, відстежив шляхи її перетворення та впливу багатьох «вадозних» мінералів, власних виключно біосфері, з'ясував характер надходження сонячної енергії в глибини Землі при захороненні створеної нею органічної матерії та дав аналіз усіх перетворень, які відбуваються в живій, біокосній та неживій речовині цієї найважливішої для людини оболонки Землі.

Результати досліджень В.І. Вернадський виклав у численних статтях, книзі «Біосфера», вперше опублікованій у 1926 р. та у фундаментальній праці «Хімічний склад біосфери Землі», опублікованій після його смерті.

Аналізуючи еволюційні процеси у розрізі «біогеохімічних проявів життя» вчений сформулював фундаментальні біогеохімічні принципи та визначив чинники біогенної міграції хімічних елементів, серед яких «найбільш потужною формою біогенної міграції» є «зміни в положенні атомів унаслідок вкинутих організмами в біосферу нових речовин» [32], чим було закладено основи теорії біогенезу та техногенезу, розвинутої в подальшому у працях О.С. Ферсмана [33].

Радіогеологія (ядерна геологія, ядерна геохімія) – одна з найбільш молодих геологічних наук, що сформувалася на початку ХХ століття та отримала розвиток у багатьох країнах світу. В Росії В.І. Вернадський першим зрозумів важливість вивчення радіоактивних процесів для геології. У світі дослідження в галузі ядерної геохімії розпочалися незадовго після відкриття явища радіоактивності А. Беккерелем наприкінці 1895 р. Багато важливих відкриттів належить П. Кюрі, який спільно з Л. Лабордом встановив, що радіоактивний розпад супроводжується виділенням теплоти, кількість якої пропорційна числу розпадів. Він же висунув ідею щодо можливості визначення геологічного часу за радіоактивним розпадом природних ядер. У 1902 р. у виступі на засіданні Французького фізичного товариства П. Кюрі зазначив, що стала швидкість радіоактивного розпаду надає людству міру часу – «еталон часу», який не залежить від протікання процесів на Землі. Практичну можливість визначення віку природних об'єктів за накопиченням продуктів розпаду довели Б. Болтвуд та Е. Резерфорд у 1904 р.

Р. Стретт у 1906 р. та Д. Джолі у 1908 р. оцінили геологічне значення цього відкриття. Р. Стретт провів велику роботу щодо визначення вмісту U, Th, Ra і He в мінералах і породах. У 1908 р. він показав, що величина співвідношення He/U залежить від геологіч-

ного віку мінералів.

Ці відкриття спонукали В.І. Вернадського до поглибленого вивчення ролі радіоактивності в енергетиці геологічних процесів. Його інтерес до явищ радіоактивності виявився у 1908 р. на з'їзді Британської асоціації наук у Дубліні після доповіді Д. Джолі щодо ролі радіоактивності в земних процесах. Ця доповідь та її обговорення з Д. Джолі спонукали В.І. Вернадського до організації робіт щодо вивчення радіоактивності земних надр Росії. Основні завдання нового напрямку геохімії було поставлено В.І. Вернадським ще у 1910 р.: «Уже зараз у картині реальної природи висунуто значення радіоактивності для пояснення теплоти земної кулі, для визначення її віку, для ліку роками геологічних періодів, для утворення гірських ланцюгів; ми бачимо її прояв у вченні про атмосферну електрику, про хімічні реакції земної поверхні» [34].

В.І. Вернадського вважають засновником радіогеології як окремого наукового напрямку. «Наразі можна і потрібно говорити про утворення нової науки – радіогеології, науки про радіоактивні властивості нашої планети, про радіоактивні явища, які їй властиві й у ній відбуваються. Ця нова галузь знання знаходиться у швидкому становленні та повинна бути зараз освоєна й осмислена і теоретично, і практично...» [35].

Цю нову галузь він пізніше назвав радіогеологією та дав їй визначення: «Радіогеологія вивчає хід радіоактивних процесів на нашій планеті, їх відображення та їх прояв у геологічних явищах» [36].

Першим завданням, поставленим В.І. Вернадським перед вітчизняною наукою, було дослідження радіоактивних мінералів та їх родовищ на території Росії. Починаючи з 1908 р. він постійно проводив величезну роботу щодо організації експедицій та створенню лабораторної бази для пошуків та вивчення радіоактивних мінералів. У перших експедиціях 1908—1913 рр. разом з В.І. Вернадським брали участь К.А. Ненадкевич, О.Є. Ферсман, Д.С. Белянкін, Я.В. Самойлов, Л.О. Кулик, В.І. Крижановський, Б.Н. Лінденер, Г.І. Касперович, Є.Д. Ревуцька, Д.І. Щербаков, Й.І. Танатар, Є.С. Бурксер та ін. Хід досліджень радіоактивних родовищ відображався у «Працях Радієвої експедиції Академії наук»; в основному це були експедиції на Урал, в Приуралля, Байкал і Забайкалля, Ферганську область і Кавказ. Відкриття радіоактивних руд у Фергані, пошуки на Уралі та в Забайкаллі дозволили створити власну сировинну базу. У грудні 1921 р. учень В.І. Вернадського В.Г. Хлопін отримав перший російський радій з ферганської руди. За ініціативи В.І. Вернадського у січні 1922 р. на базі постійної Радієвої експедиції Академії наук, створеної у 1913 р., в Петербурзі було засновано Радієвий інститут, який сьогодні носить ім'я В.Г. Хлопіна, та його філію в Москві. У той час Радієвий інститут був єдиною організацією з вивчення природної радіоактивності, де поряд з фізичним і хімічним відділеннями, функціонувало радіогеологічне (Й.Є. Старик, Л.В. Комлев та ін.).

В.І. Вернадський вказував на необхідність подібних досліджень у південних регіонах, передусім на узбережжі Чорного і Азовського морів. У 1916 р. таке завдання було поставлено Радієвою експедицією, і у 1917 р. Є.С. Бурксер, який завідував радієвою лабораторією Одеського відділення Технічного товариства, розпочав його виконання за дорученням Академії наук.

В.І. Вернадський розробив і розпочав реалізацію широкої програми робіт з вивчення радіоактивності мінералів і порід:

- розподіл радіоактивних елементів у речовині Землі з метою побудови радіогеологічної карти земної поверхні;
- пошуки радіоактивної сировини;
- геохронологія – можливість визначення геологічного часу за радіоактивним розпадом природних ядер;
- геотерміка – вивчення явища радіоактивності для пояснення тепла земної кулі;
- радіоактивність та енергетика;
- радіоактивність та медицина;
- радіоактивність та біосфера.

Метою радіогеологічної карти є виявлення зв'язку геотерміки та структур літосфери. «Ясно, що така карта повинна дати розподіл фізично дуже різних та дуже важливих ділянок на земній поверхні: суміжних областей, які термічно дуже неоднорідні... Такі суміжні області повинні мати велике значення для різних геологічних та геофізичних явищ, і на цих смугах повинні мати місце нові явища, в інших місцях відсутні» [37]. Природно, така карта могла бути побудована лише після накопичення величезного банку даних щодо концентрацій урану, торію і калію в гірських породах тієї частини літосфери, яка доступна для систематичного опробування. Радіогеологічна карта території СРСР була побудована лише в кінці 1970-х рр. у Всесоюзному геологічному інституті в Ленінграді А.А. Смирнова, який узагальнив результати досліджень багатьох колективів.

З проблемою радіоактивності гірських порід тісно пов'язано дослідження термічної історії Землі та сучасної геотерміки. Цей напрям розвивається у роботах О.О. Любимової, А.А. Смирнова, Я.Б. Смирнова, В.І. Кононова, Б.Г. Поляка, О.Б. Сафронова та ін.

Пошуковий напрям у початковий період розвитку був спрямований передусім на пошуки радію, який у ті роки був єдиним джерелом радіоактивного випромінювання. У 1920—1930-ті рр. було виявлено значний вміст радію у високомінералізованих хлоридно-кальцієво-магнієвих пластових водах нафтових родовищ. З нафтових розсолів було налагоджено промислове вилучення радію [38]. У цих роботах брали участь Л.М. Богоявленський, В.І. Вернадський, В.І. Баранов, І.Д. Курбатов, В.В. Чердинцев та ін.

Наступний етап пошуково-геохімічного напрямку ядерної геохімії пов'язаний з пошуками сировини для атомної промисловості – уранових родовищ. Протягом 1930—1940-х рр. основним об'єктом вивчення були граніти, найбільш збагачені радіоактивними елементами порівняно з іншими типами порід. Починаючи з 1950-х рр. інтенсивно досліджується геохімія урану в зв'язку з процесами рудоутворення.

В Україні пошуки урану ведуться з 1944 р. У 1945 р. було відкрито Першотравневе – перше в СРСР уранове родовище, згодом – Жовторічинське. У 1953 р. в Інституті геологічних наук АН УРСР було створено відділ № 5, на базі якого у 1965 р. – Сектор металогенії під керівництвом Я.М. Белевцева. Наразі в Інституті геохімії навколишнього середовища НАН України продовжується широкий комплекс експериментальних досліджень щодо з'ясування природи утворення уранових руд.

У процесі розвитку пошукової геохімії урану виник новий самостійний напрям, що застосовується наразі у різних галузях геології – ізотопна геохімія. Це – вивчення співвідношення окремих радіонуклідів, що входять у природні ряди розпаду. Метод, що використовує ці співвідношення, називається ізотопним нерівноважним методом. Його засновник – В.В. Чердинцев – передбачив теоретично та довів аналітично (спільно з П.І. Чаловим) наявність ізотопних зсувів у природному урані для співвідношення $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. У сучасній геохімії та космохімії широко використовуються ізотопні методи вивчення співвідношення природних та штучних ізотопів [39], які мають також прикладне значення, зокрема, в екологічних дослідженнях [40].

Особливу увагу в роботах з радіогеології В.І. Вернадський приділяв проблемі геологічного часу – «точного визначення геологічного віку найбільш древніх ділянок суші» [35], яка має важливе прикладне значення для побудови геологічних карт, для пошуків, розвідки і виявлення закономірностей розміщення різних видів корисних копалин. З метою широкого впровадження радіологічних методів у геологічні дослідження, вікової кореляції різних формацій земної кори за ініціативою та під головуванням В.І. Вернадського у 1931 р. була організована Міжвідомча, а в 1937 р. – Міжнародна комісія з визначення абсолютного віку геологічних формацій, до якої від Радянського Союзу увійшли В.І. Вернадський (співголова), В.Г. Хлопін та Й.Є. Старик. У 1950 р. Комісія з визначення абсолютного віку геологічних формацій була організована при Академії наук СРСР під головуванням Й.Є. Старика.

Становлення і розвиток радіологічних методів геохронології тісно пов'язано з іменами Й.Є. Старика, Е.К. Герлінга, Л.В. Комлева, Е.В. Соботовича, І.М. Горохова, Ю.В. Кузнєцова, Х.А. Арсланова та ін. На ранніх етапах розвитку радіогеології для визначення віку

гірських порід використовувався гелієвий метод. При вирішенні сучасних завдань ядерної геохронології використовуються уран-свинцевий, свинець-свинцевий, калій-аргоновий, рубідій-стронцієвий, радіовуглецевий та інші методи [41]. У 1947 р. А. Холмс вперше розробив загальну шкалу геологічного віку, яка постійно уточнюється.

Перші роботи щодо застосування радіоактивних методів встановлення абсолютного віку мінералів і гірських порід в Україні було розпочато у 1950 р. Є.С. Бурксером в Інституті геологічних наук АН УРСР. У 1960—1962 рр. М.П. Семененко на основі аналітичних результатів, отриманих у лабораторіях Інституту геологічних наук та Інституту фізичної хімії АН УРСР, вніс істотні корективи до геохронологічної шкали докембрію [42]. У 1965 р. відділ абсолютного віку та ядерних процесів очолив М.П. Щербак, котрий заснував єдину в Україні ізотопно-геохронологічну лабораторію, де розвиваються калій-аргоновий, рубідій-стронцієвий, уран-свинцевий, самарій-неодимовий методи визначення віку гірських порід. Микола Петрович Щербак, протягом 1977—2008 рр. директор Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, наразі очолює геохронологічну школу в Україні. Під його керівництвом продовжуються роботи з уточнення хроностратиграфічних схем та узагальнення геохронологічних даних [43].

У 1969 р. у створеному за ініціативи М.П. Семененка Інституті геохімії і фізики мінералів АН УРСР відділ ядерної геохімії та космохімії очолює Емлен Володимирович Соботович, який організовує низку лабораторій: радіовуглецеву, мас-спектрометричну, нейтронно-активаційного та ядерно-фізичного аналізу. Йому належить світовий пріоритет у розробленні і впровадженні методу свинцево-ізохронного датування, який наразі вважається найбільш коректним та інформативним [44].

Починаючи з 1970 р. здійснюється радіовуглецеве датування донних морських та океанічних відкладів Азовського, Чорного, Середземного морів, Атлантичного, Індійського, Тихого океанів [45]. Широка географія досліджень – від льодовиків Кавказу і Камчатки до історичних пам'яток України – визначила міжнародне визнання радіовуглецевої лабораторії, що нині функціонує в Інституті геохімії навколишнього середовища НАН України, яка наразі є однією з провідних у Європі.

Ще наприкінці XIX ст. увагу В.І. Вернадського притягала зростаюча технічна могутність людства, масштаби діяльності якого ставали порівнянними з впливом найбільш потужних геологічних процесів. Ця діяльність у фізико-географічному і хімічному відношенні незворотно змінює весь лик Землі, всю її природу [46].

Подібні думки народжувалися під впливом сучасників і попередників В.І. Вернадського. У 1933 р. американський геолог Чарлз Шухерт запропонував розглядати сучасну епоху як початок нової психозойської ери історії Землі, підкреслюючи цією назвою значення психічної діяльності людства як геологічного чинника [47]. Російський вчений А.П. Павлов, який запросив В.І. Вернадського викладати мінералогію в Московському університеті, також вважав, що з появою на Землі людини почався новий геологічний період, який він запропонував назвати антропогенним [48].

Уже в курсах «Мінералогії», які видавалися протягом роботи в Московському університеті В.І. Вернадський відзначав мінерали та хімічні сполуки, які утворилися внаслідок індустріальної діяльності та давав перші оцінки сумарного обсягу і ваги таких «техногенних» мінералів. У праці «Досвід описової мінералогії» (1912—1922), що охоплює всі самородні, включаючи газоподібні, елементи та їх сірчисті і селенисті сполуки, вчений повсюди включає розділи «Діяльність людини», «Праця людини» тощо [49]. Звертаючись до впливу людської діяльності на гідросферу вчений писав «Уся природа плейстоцену, вся біосфера змінюється діяльністю цивілізованого людства. «Незаймані» річки швидко щезають або зникли і замінилися утвореннями нового типу, новими водами, раніше не існувалими... На всій біосфері змінюються і зникають старі види поверхневих, пластових вод, вод ґрунтів і джерел, створюються нові культурні води» [50].

Паралельно з вивченням впливу людської діяльності на зміну природи Землі у 1914—1916 рр. В.І. Вернадський починає розробляти вчення про біосферу – унікальну оболонку планети, в якій зосереджено життя. У цей термін, вперше застосований Е. Зюссом, В.І. Вернадський вклав новий, більш глибокий сенс. Ця єдина область поширення живої речовини планети, що протягом геологічної історії перетворювала лик Землі, корінним чином визначала динаміку літосферних, гідросферних та атмосферних процесів і подій. За цей період часу, живлячись енергією космічних випромінювань, біосфера сформувала складні саморегулюючі механізми, які забезпечили їй внутрішній саморозвиток і засоби захисту від руйнівних чинників космічного середовища. Він охарактеризував моноліт живої речовини і біосферу планети як явища вічні в геологічному часі, які водночас еволюціонують в силу удосконалення організованості, перерозподілу значення форм, видів, окремих організмів живої речовини у бік збільшення значення тих, які своєю життєдіяльністю максимізують біогеохімічну енергію в біосфері. «Еволюція видів, яка веде до створення форм життя, стійких у біосфері, повинна йти у напрямі збільшення проявів біогенної міграції атомів у біосфері» [51].

У середині ХХ століття з біосферознавства В.І. Вернадського виклинується низка нових наукових напрямів, в основу яких покладено його геохімічні, радіогеологічні, біогеохімічні ідеї:

- екологічна геохімія;
- еволюційна екологія;
- еволюційна біогеографія;
- геохімія ландшафтів;
- морська геологія;
- біогеоценологія.

Вивчення міграції природних та штучних радіонуклідів у біосфері, передусім пов'язане з радіоактивним забрудненням середовища, отримало назву *радіоекології*. Перші радіоекологічні дослідження було розпочато ще у 1930-ті рр. за ініціативи В.І. Вернадського під його керівництвом у Біогеохімічній лабораторії, яка в подальшому була перетворена А.П. Виноградовим в Інститут геохімії та аналітичної хімії ім. В.І. Вернадського. Роботи того часу полягали у вивченні природних радіонуклідів, передусім, радію, в рослинах та середовищі їх живлення. У післявоєнний період ці дослідження продовжувалися в Інституті геохімії та аналітичної хімії в Москві, Радієвому інституті в Ленінграді, Уральській філії АН СРСР, відділі радіоекології Комі філії АН СРСР та ін.

У 1950-ті рр. у зв'язку з розвитком виробництва і випробувань ядерної зброї та початком ери атомної енергетики, що призвело до глобального радіоактивного забруднення планети, за ініціативи І.В. Курчатова пріоритетного значення набули роботи з геохімії штучних радіонуклідів у біосфері. Одним з перших дослідників у галузі радіоекології штучних радіонуклідів була Ф.І. Павлоцька. Родоначальником сільськогосподарської радіоекології в Радянському Союзі вважається В.М. Ключковський. Істотний внесок у вирішення радіоекологічних проблем належить Р.М. Алексахіну, Ф.А. Тихомирову, В.М. Прохорову, Ю.А. Полякову, О.Б. Тюрюкановій, О.В. Юдинцевій та іншим. Розвиток цього напрямку в Україні пов'язаний з роботами Б.С. Пристера, М.О. Лоцилова, М.П. Архіпова, В.О. Кашпарова, Ю.О. Іванова, Ю.В. Хомутініна.

Інтенсифікація радіоекологічних та радіогеохімічних досліджень в кінці ХХ століття пов'язана зі забрудненням навколишнього середовища після Чорнобильської катастрофи. Саме в цей період фахівцями Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України розроблено концептуальні основи формоутворення в геохімії техногенних радіонуклідів [52] та самоочищення радіоактивно забрудненого природного середовища [53]. Особлива увага приділяється проблемам біогеохімії штучних радіонуклідів [54]. Одним з найбільш істотних результатів цих досліджень є унікальна здатність навколишнього природного середовища до протидії техногенному втручання, яка визначається стійкістю біогеохімічних циклів у зв'язку з незначною кількістю штучних речовин, що до них залучаються, та свідчить про

стійкість біосфери на сучасному етапі її еволюції [55].

В.І. Вернадський чітко усвідомлював та передбачав можливі негативні наслідки перетворення біосфери внаслідок геохімічної діяльності людства. Ним вперше було піднято проблему щодо меж впливу людської діяльності на біосферу Землі та її масштабів, сумірних з найкрупнішими геологічними процесами. Учений підкреслював необхідність переходу від стихійного неконтрольованого споживання природних ресурсів до свідомого науково обґрунтованого управління процесами перетворення біосфери. «Приходиться технічний процес спрямувати в інше русло, змінити геохімічну роботу людства в залежності від хімії земної кори» [22].

Доводячи хімічну єдність світу, В.І. Вернадський побачив у вивченні земних атомів шлях до пізнання Космосу і висунув ідею щодо матеріального обміну і енергетичної взаємодії між Землею і Космосом. «Речовина Всесвіту і, не тільки нашої галактики, – єдина. Закони, що їй відповідають, повсюди однакові. Геохімія явно виходить тому за межі геологічних наук та є частиною хімії, вірніше, це – частина науки, яка створюється на наших очах у ХІХ, і особливо, у ХХ столітті – космохімії» [11].

Космічна речовина є унікальним об'єктом дослідження еволюції нашої планети в історичному розрізі. Вивчення доступних космічних об'єктів новітніми методами дало уявлення щодо хімічного, ізотопного, мінерального складу, структурних особливостей метеоритів, тектитів, космічного пилу, ударних астроблем, тунгуських зразків, еволюції космічної речовини, характеру походження і розвитку Сонячної системи, зокрема, нашої планети. Особливий інтерес являють дані щодо ізотопного віку метеоритів, який становить 4,5—4,7 млрд років.

В.І. Вернадський вважав, що саме «... атомна радіоактивна енергія, а не залишкове тепло планети, що охолоджується, як це думали зовсім нещодавно, є основним джерелом того тепла, яке пояснює усі геологічні процеси, що йдуть на Землі... Раніше тепло пояснювалося космогонічними гіпотезами про розтоплену колись планету, чому досі, на жаль, вчать у наших школах» [56].

Детальний аналіз матеріалів щодо будови, хімічного та ізотопного складу, віку земної і космічної речовини, новітні досягнення астрофізики та космохімії лягли в основу побудови космогеохімічної моделі формування Землі [57]. Головна концепція цієї моделі полягає в тому, що речовина метеоритів – це сучасник речовини, з якої утворилася Земля. Ще у 1970-х рр. В.А. Рудник та Е.В. Соботович дійшли висновку, що Земля ніколи не проходила вогняно-рідкої стадії і що земна кора не є «накипом» на поверхні планети подібно до доменних шлаків [58]. У цій моделі час утворення Сонячної системи, Сонця, планет та деяких дрібніших тіл знаходиться в порівняно вузькому інтервалі – 4,6—4,8, а власне Землі – $4,6 \pm 0,1$ млрд років. Це підтверджується найсучаснішими оцінками віку Землі ізотопними методами – 4,54—4,55 млрд років [59], абсолютний вік Місяця оцінюється у 4,53 млрд років [60].

Механізм утворення Землі згідно цієї моделі полягає у поліхронно-гетерогенній акреції, котра встановлює послідовність «вичерпування» металічним зародком планети (внутрішнє ядро) протопланетного матеріалу відповідно до його щільності, питомого поширення та з урахуванням первинної гетерогенності космічної речовини. Периферичні частини первісної Землі були збагачені леткими елементами та їх сполуками, у т.ч. водою. Гідросфера та атмосфера утворилися у процесі наступної дегазації.

В останнє десятиліття свого життя В.І. Вернадський доходить висновку щодо неминучої еволюції біосфери Землі, зумовленої розумовою діяльністю людини, розвитком наукової думки, – у ноосферу. Цей термін, вперше застосований Е. Леруа у статті, написаній в 1927 р. під враженням лекцій В.І. Вернадського в Коледж де Франс (1922—1926), нині став символом майбутнього нашої цивілізації.

Природничо-філософські аспекти еволюції біосфери та формування ноосфери В.І. Вернадський виклав у роботі «Наукова думка як планетарне явище», написаній у

1937—1938 рр. «Завдяки еволюції видів, яка безперервно відбувається та ніколи не припиняється, змінюється різко відображення живої речовини у навколишнє середовище. Завдяки цьому процес еволюції – зміни – переноситься у природні біокосні та біогенні тіла, які відіграють основну роль у біосфері, – в ґрунти, в наземні і підземні води (в моря, озера, річки і т.д.), у вугілля, бітуми, вапняки, органогенні руди і т.п. Ґрунти і річки девону, наприклад, інші, ніж ґрунти третинного часу і нашої епохи. Це область нових явищ, яка заведве враховується науковою думкою. Еволюція видів переходить в еволюцію біосфери.

Еволюційний процес при цьому набуває особливого геологічного значення завдяки тому, що він створив нову геологічну силу – наукову думку соціального людства.

Ми якраз переживаємо її яскраве входження в геологічну історію планети. В останні тисячоліття спостерігається інтенсивне зростання впливу однієї видової живої речовини – цивілізованого людства – на зміни біосфери. Під впливом наукової думки та людської праці біосфера переходить до нового стану – ноосфери» [61].

Перебудова біосфери науковою думкою через організовану людську працю є сучасним результатом стихійного природного еволюційного процесу, що триває понад два мільярди років, а власне людина – неминучий закономірний прояв цього процесу. Водночас вчений застерігає щодо активізації глобальних геологічних процесів унаслідок перетворення довкілля: «...ми повинні відзначити та враховувати, що процес еволюції біосфери, перехід її в ноосферу, явно виявляє пришвидшення темпу геологічних процесів. Тих змін, які виявляються зараз у біосфері протягом небагатьох тисяч років у зв'язку зі зростанням наукової думки та соціальної діяльності людства, не було в історії біосфери раніше» [61]. Ці застереження як ніколи актуальні сьогодні, у час, коли науковою думкою створено зброю, якою практично можна знищити довкілля, технології, що ведуть до глобальних катастроф, коли ми тонемо у відходах, якими отруюємо власні продукти споживання, коли набувши «головної геологічної сили» людство неповною мірою усвідомлює наслідки її застосування.

Проте В.І. Вернадський був широ переконаний, що наукове знання – геологічна сила, що створює ноосферу, – не може призвести до результатів, які суперечать геологічному процесу, що її створив, що теорії краху цивілізації, самознищення людства – це лише наслідок «недостатньо глибокого проникнення у довкілля». Він напевно сподівався, що врешті-решт у нас вистачить свідомості й розуму не зруйнувати дім, в якому ми живемо. І дуже хотілося б, щоб ці переконання стали меморандумом для майбутніх поколінь науковців.

У червні 1917 р. у листі дружині В.І. Вернадський писав: «Дивно якось себе і весь хід людської історії з усіма її трагедіями та особистими переживаннями оглянути з позицій безпристрасного хімічного процесу природи». Не лише безпристрасний огляд, а й логічне поєднання усіх ланок Знання вирізняють непересічного вченого і мислителя з кола його сучасників та послідовників. Через призму наукової думки В.І. Вернадського усі матеріальні об'єкти навколишнього світу від атомів до космічних тіл, від найпростіших одноклітинних організмів до *Homo Sapiens Faber* поєднані у нову логічну систему біосферознавства, оспіваного й інтегрованого в його творах у цілісну неподільну систему знань. Роль цього видатного вченого, мислителя, філософа у становленні методологічної основи та ідеології природничих наук можна порівняти зі впливом Тараса Шевченка на становлення української культури. І так само, як і Великий Кобзар В.І. Вернадський лишив нам свій заповіт: «Життя святе – є життя за правдою. Це таке життя, щоб слово не розходилося з переконанням, щоб якомога більше, по силам, допомагав я своїм браттям, усім людям, щоб якомога більше хорошого, чесного, високого я зробив, щоб причинив якомога менше, зовсім, зовсім мало горя, страждань, хвороби, смерті. Це таке життя, щоб помираючи я міг сказати: я зробив усе, що міг зробити. Я не зробив нікого нещасним, я домігся, щоб після моєї смерті до тієї ж мети й ідеї на моє місце стало таких же, ні, кращих працівників, ніж яким був я» [62].

В.І. Вернадський, геній якого об'єднав науки про Землю, Життя, Суспільство і Космос, – одна з найвидатніших особистостей в історії науки ХХ ст. Його різностороння дія-

льність залишила глибокий слід в історії світової науки. Він є засновником кількох великих наукових напрямів у сучасному природознавстві. Вершина його наукової творчості – вчення про живу речовину, її планетарну і геохімічну роль та породжену нею унікальну оболонку Землі – біосферу. Його ідеї щодо еволюції біосфери під впливом розумової діяльності людини наразі набувають все більшої актуальності та успішно розвиваються світовою науковою спільнотою.

«Царство моїх ідей – попереду» – писав В.І. Вернадський у 1931 р. А в 1946 р. його учень і сподвижник О.Є. Ферсман писав: «Десятиліттями, цілими сторіччями, будуть вивчатися та поглиблюватися його геніальні ідеї, а в працях його – відкриватися нові сторінки, які слугуватимуть джерелом нових пошуків; багатьом дослідникам доведеться вчитися його гострої, наполегливої і відкарбованої, завжди геніальної, але важко зрозумілої творчої думки; молодим же поколінням він завжди буде слугувати вчителем у науці та яскравим зразком плідно прожитого життя» [6]. Творча спадщина В.І. Вернадського на довгі роки лишиться тим кристалево чистим джерелом, з якого черпатимуть знання та розвиватимуть ідеї науковці нинішнього і майбутніх поколінь.

1. *Бояринцев В.* Русские и нерусские ученые. – М.: Русская Правда, 2005. – 319 с.
2. *Назаров А.Г.* Космологический принцип единства жизни и природы в творчестве В.И. Вернадского // Материалы торжественного заседания Президиума РАН, посвященного 140-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского. – М.: Ноосфера, 2003. – С. 150—172.
3. *Саенко Г.Н.* Владимир Иванович Вернадский: Ученый и мыслитель. – М.: Наука, 2002. – 235 с.
4. *Титаева Н.А.* Ядерная геохимия. – М.: МГУ, 2000. – 336 с.
5. *Щербак Н.П.* Владимир Иванович Вернадский. – Киев: Наук. думка, 1988. – 106 с.
6. *Ферсман А.Е.* Жизненный путь академика Владимира Ивановича Вернадского (1863—1945) // Записки Всероссийского минералогического общества. – 1946. – Сер. 2, ч. 75, вып. 1. – С. 5—24.
7. *Вернадский и современность* / Под ред. Б.С. Соколова и А.Л. Яншина. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
8. *Докучаев В.В.* Преобразование природы степей: работы по исследованию почв и оценке земель, учение о зональности и классификация почв. 1888—1900 / Под ред. Л.И. Прасолова, И.В. Тюрина // Сочинения. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – Т. 6. – 596 с.
9. *Вернадский В.И.* Страница из истории почвоведения. Памяти В.В. Докучаева // Научное слово. – 1904. – № 6. – С. 5—26.
10. *Berzelius J.J. Larebok i Kemien.* – Stockholm, 1808—1818. – In 3 vol. Цитується за: *Ферсман А.Е.* Жизненный путь академика Владимира Ивановича Вернадского (1863—1945) // Записки Всероссийского минералогического общества. – 1946. – Сер. 2, ч. 75, вып. 1. – С. 5—24.
11. *Вернадский В.И.* Очерки геохимии. – 4-е (2-е рус.) изд. – М.: Гос. науч.-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1934. – 380 с.
12. *Ярошевский А.А.* Предисловие // Вернадский В.И. Труды по геохимии. – М.: Наука, 1994. – С. 5—6.
13. *Vernadsky W.* La Géochimie. – Paris: F. Alcan, 1924. – 404 p.
14. *Вернадский В.И.* Заметки о распространении химических элементов в земной коре // Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського. – Т. 7: Праці з геохімії та радіогеології. – Кн. 1 / За ред. Е.В. Собоновича, В.В. Доліна, Г.М. Бондаренка, Р.Я. Белевцева. – Київ, 2012. – С. 655—725.
15. *Бондаренко Г.Н.* Физико-химическая трансформация техногенных радионуклидов, рассеянных в верхней оболочке Земли // Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського. – Т. 7: Праці з геохімії та радіогеології. – Кн. 2 / За ред. Е.В. Собоновича, В.В. Доліна, Г.М. Бондаренка, Р.Я. Белевцева. – Київ, 2012. – С. 623—634.
16. *Вернадский В.И.* О группе силлиманита и роли глинозема в силикатах. – М.: Унив. тип., 1891. – 100 с.
17. *Вернадский В.И.* Об условиях появления жизни на Земле // Изв. АН СССР. – 1931. – С. 633—653.
18. *Nahn O.* // Naturwisench. – 1930. – V. 18, № 47/48/49. – P. 1013—1019.
19. *Nevesy J.* // Science. – 1930. – V. 72, № 4. – P. 154.
20. *Вернадский В.И.* Биосфера, очерки первый и второй. – Л.: Научно-техн. изд-во, 1926. – 146 с.
21. *Аксенов Г.П.* Закончилось ли научное одиночество В.И. Вернадского? // Знание – сила (Москва). – 26.12.2003. – № 12. – С. 30—37.
22. *Вернадский В.И.* Труды по геохимии / Под ред. А.А. Ярошевского. – М.: Наука, 1994. – 496 с.
23. *Вернадский В.И.* Биогеохимические очерки. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 241 с.
24. *Вернадский В.И.* Два синтеза космоса // Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – С. 12—20.

25. *Вернадский В.И.* Гете как натуралист // Бюл. Моск. Об-ва. Испыт. Природы: Нов. сер., Отд. геол. – 1946. – Т. XXI (I). – С. 1—37.
26. *Флоренский К.П.* В.И. Вернадский – натуралист, естествоиспытатель // Бюл. Моск. об-ва. испыт. природы: Отд. геол. – 1963. – Т. XXXVIII (3). – С. 111—119.
27. *Сидоренко А.В.* Задачи исследований природных ресурсов Земли космическими методами // Исследования Земли из Космоса. – 1980. – № 1. – С. 20—35.
28. *Казначеев В.П.* Учение В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 248 с.
29. *Вернадский В.И.* Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения // Изв. Рос. Акад. наук: Сер. 6. –1921. – Т. 15, № 1/18. – С. 120—123.
30. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: АН СССР, 1957. – 238 с.
31. *Ковалевский А.Л.* Биогеохимические поиски рудных месторождений: Изд. 2-е. – М.: Недра, 1984. – 172 с.
32. *Вернадский В.И.* Эволюция видов и живое вещество // Природа. – 1928. – № 3. – С. 227—250.
33. *Ферсман А.Е.* Избранные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – Т. IV. – 587 с.
34. *Вернадский В.И.* Задача дня в области радия // Известия Академии Наук. – 1911. – Т. 5, № 1. – С. 61—72.
35. *Вернадский В.И.* О некоторых очередных проблемах радиогеологии // Изв. АН СССР: Сер. 7. ОМОН. – 1935. – № 1. – С. 1—18.
36. *Вернадский В.И.* О значении радиогеологии для современной геологии // Тр. 17-й сессии Международного геологического конгресса: Москва, 21—29 июля 1937 г. – М., 1939. – Т. 1. – С. 215—239.
37. *Вернадский В.И.* Радиоактивность и новые проблемы геологии // Основные идеи геохимии. – Л., 1935. – Вып. 2. – С. 23—39.
38. *Погодин С.А., Либман Э.П.* Как добыли советский радий. – М.: Атомиздат, 1977. – 248 с.
39. *Соботович Э.В., Бартницкий Е.Н., Цьонь О.В., Кононенко Л.В.* Справочник по изотопной геохимии. – М.: Энергоиздат, 1982. – 240 с.
40. *Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н., Ветштейн В.Е. и др.* Изотопно-геохимические методы оценки степени взаимосвязи подземных и поверхностных вод / Под ред. Э.В. Соботовича. – Киев: Наук. думка, 1977. – 154 с.
41. *Старик И.Е.* Ядерная геохронология. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 630 с.
42. *Бурксер Е.С.* Развитие геохронологических исследований в Академии наук УССР с 1950 по 1964 г. // Геохронология докембрия Украины. – Киев: Наук. думка, 1965. – С. 189—193.
43. *Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 2005. – 243 с.
44. *Соботович Э.В.* Изотопы свинца в геохимии и космохимии. – М.: Атомиздат, 1970. – 349 с.
45. *Ковалюх Н.Н., Митропольский А.Ю., Соботович Э.В.* Радиоуглеродный метод в морской геологии. – Киев: Наук. думка, 1977. – 74 с.
46. *Письма Н.Е. Вернадской: 1886—1889* // Архив АН СССР / Сост. Н.В. Филиппова; Отв. ред. Б.В. Левшин. – М.: Наука, 1988. – 304 с.
47. *Schuchert C., Dunbar C.* A text book of Geology. – N.-Y., 1933. – P. 80.
48. *Павлов А.П.* Ледниковые и межледниковые эпохи Европы в связи с историей ископаемого человека // Академическая речь. – 1922. – № 2.
49. *В.И. Вернадский.* Избранные сочинения / Под ред. А.П. Виноградова. – М.: Изд-во АН СССР. – Т. II, 1955. – 615 с. – Т. III, 1959. – 507 с.
50. *Вернадский В.И.* История минералов земной коры. Том второй: история природных вод // Избранные сочинения / Под ред. А.П. Виноградова. – М.: Изд-во АН СССР. – Т. IV, кн. 2. – 651 с.
51. *Вернадский В.И.* Эволюция видов и живое вещество // Природа. – 1928. – № 3. – С. 227—250.
52. *Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н., Кононенко Л.В. и др.* Геохимия техногенных радионуклидов / Под ред. Э.В. Соботовича, Г.Н. Бондаренко. – Киев: Наук. думка, 2002. – 332 с.
53. *Долін В.В., Бондаренко Г.М., Орлов О.О.* Самоочищення природного середовища після Чорнобильської катастрофи // За ред. Е.В. Соботовича. – Київ: Наук. думка, 2004. – 221 с.
54. *Орлов О.О., Долін В.В.* Біогеохімія цезію-137 у лісоболотних екосистемах Українського Полісся / За ред. Е.В. Соботовича. – Київ: Наук. думка, 2010. – 198 с.
55. *Соботович Э.В., Долін В.В.* Эколого-геохимические проблемы техногенной эволюции биосферы // Научное наследие В.И. Вернадского и современность / Под ред. Н.В. Багрова, Л.Г. Руденко, Е.А. Позаченюка и др. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2013. – С. 29—58.
56. *Вернадский В.И.* О геологических оболочках Земли как планеты // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. – 1942. – № 6. – С. 251—262.
57. *Соботович Э.В.* Изотопная космохимия. – М.: Атомиздат, 1974. – 205 с.
58. *Рудник В.А., Соботович Э.В.* Ранняя история Земли. – Л.: Недра, 1973. – 21 с.
59. *Dalrymple G.V.* The Age of the Earth. – Stanford University Press, 1991. – 492 p.

60. *Touboul M., Kleine T., Bourdon B. et al.* Tungsten isotopes in ferroan anorthosites: implications for the age of the Moon and lifetime of its magma ocean // *Icarus*. – 2009. – V. 199. – P. 245—249.
61. *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетарное явление // Отв. ред. А.Л. Яншин. – М.: Наука, 1991. – 270 с.
62. *Вернадский В.И.* Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1988. – 520 с.

Долін В.В. «ЦАРСТВО ІДЕЙ» АКАДЕМІКА В.І. ВЕРНАДСЬКОГО В СОВРЕМЕННОМ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ (*Вместо предисловия*)

Эволюция взглядов В.И. Вернадского о мироздании привела к объединению наук о Земле, Жизни и Космосе в единую естественно-философскую парадигму биосфероведения. Генетическая минералогия, геохимия, радиогеология, учение о живом веществе и биосфере и ее эволюции в ноосферу являются гранями целостного научного мировоззрения академика В.И. Вернадского, которое развивается в современном естествознании и есть источником идей для ученых нынешнего и будущих поколений.

Dolin V.V. “THE WORLD OF IDEAS” FROM ACADEMICIAN V.I. VERNADSKY IN MODERN NATURAL SCIENCE (*In lieu of the Preface*)

The evolution of V.I. Vernadsky’s views on the universe leads to unification of Sciences on Earth, Life and Space forward to indivisible natural & philosophical paradigm biospherology. Genetically mineralogy, geochemistry, radiogeology, doctrine on living matter and biosphere, and its evolution to noosphere are crystal faces of integrated scientific ideology of academician V.I. Vernadsky that is developing in modern natural science and to be a source of ideas for researchers of modern and future generations.