

П.І. ДІДЕНКО*Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України та МНС України, м. Київ***РАДОН ПІДЗЕМНИХ ВОД УКРАЇНИ**

Вміст радону сеноманських водоносних горизонтів більший за вміст радону юрських водоносних горизонтів Українського щита. Вміст радону підземних вод м. Києва, м. Миронівки Київської області і м. Хмільник Вінницької області обумовлений тектонічною будовою їх території. Радон підземних вод формує радонові ореоли, що дозволяє підвищити ефективність пошуку родовищ урану. Встановлено залежність радону від фтору в підземній воді. Встановлено залежність між концентрацією радону води ванних відділень водоликарні м. Хмільник і концентрацією радону в цих приміщеннях. Моніторинг радону підземних вод показав, що радон дає суттєвий вклад в дозу опромінення людей.

Вступ

Опромінення населення від природних джерел іонізуючого випромінювання формує основну дозу. Дослідження, проведені Комітетом по оцінці ризику для здоров'я при опромінюванні людей радоном Національної Академії наук США (BEIR VI) [1-6], показали, що радон є причиною від 10 до 14 % раку легень. Цей газ істотно підвищує ризик неракових захворювань верхніх дихальних шляхів і серцево-судинних захворювань. Проблема радону займає важливе місце в радіоекологічних програмах США, Японії, Західної Європи і ін. Міжнародним агентством по дослідженню раку радон віднесено до канцерогенів I класу [7].

Величина дози опромінення населення залежить також від вмісту радону у воді. За оцінками Наукового комітету з дії атомної радіації Організації Об'єднаних націй 10 % населення Землі п'є воду з активністю радону 0,1 МБк/кг і 1 % - 1 МБк/кг. На Землі вміст радону води змінюється від 100 рКи до 100 МБк/кг. Такі території виявлено в Бразилії, Індії, Канаді, Ірані. Більше 60000 шведів щодня споживають воду із вмістом радону вище 1000 Бк/кг, що призводить до 50 випадків захворювань раком легень на рік. В США концентрація радону підземної води змінюється від 10 до 100 Бк/кг; в окремих районах вона доходить до сотень і навіть тисяч Бк/кг. В Росії концентрація радону підземної води досягає 200×10^{-12} кюри/л.

Підземні води - води, які знаходяться в товщах гірських порід верхньої частини земної кори. Залежно від характеру порожнеч водовміщуючих порід підземні води діляться на: порові - в пісках, галечниках і ін.; тріщинні (жильні) - в скельних породах (граніти, піщаники); карстові (тріщинно-карстові) - в розчинних породах (вапняки, доломіт, гіпс і ін.). Обводнення ґрунтів супроводжується обвалами, карстоутворенням, засоленням або розсоленням і ін. В результаті інтенсивних відкачувань води відбувається осідання територій міст: Мехіко - 9 м, Тайбей - 8,6 м, Токіо - 4,3 м, Осака - 3,1 м.

Для України суттєвим є ризик виникнення надзвичайної ситуації, пов'язаної з вживанням радонової води. З введенням в дію НРБУ-97 [8] і ухваленням рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) в Україні здійснюється така стратегія забезпечення радіаційної безпеки людей при споживанні ними води: ^{226}Ra - 1 Бк/кг, ^{228}Ra - 1 Бк/кг і ^{222}Rn - 100 Бк/кг. Прийнята на основі рекомендацій ВООЗ концепція ефективної дози передбачає одночасне регулювання вмісту в воді як природних (радон, полоній і свинець), так і техногенних радіонуклідів. Рекомендації ВООЗ відображають сучасні успіхи нормування використання води для питних цілей, які

пов'язані з виявленням тенденцій не тільки в умовах формування ресурсів природних вод певного складу, але і в процесах антропогенної дії на них.

Велику небезпеку представляє попадання пари води з високим вмістом радону в легені людини разом з повітрям, що найчастіше відбувається у ванній кімнаті. При обстеженні будинків у Фінляндії виявилось, що в середньому концентрація радону у ванній кімнаті приблизно в три рази вище, ніж на кухні, і приблизно в 40 разів вище, ніж в житлових кімнатах. А дослідження, проведені в Канаді, показали, що всі сім хвилин, протягом яких був включений теплий душ, концентрація радону і його дочірніх продуктів у ванній кімнаті швидко зростала, і пройшло більше півтори годин з моменту відключення душу, перш ніж вміст радону знову зменшився до початкового рівня (рис. 1) [3].

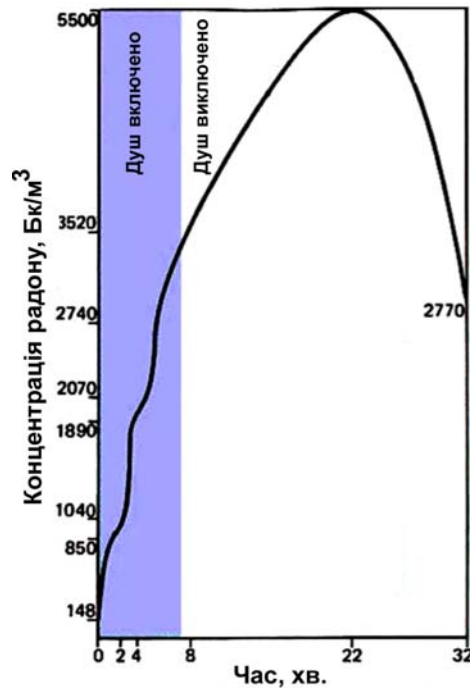


Рис. 1. Залежність концентрації радону від часу користування душем [3]

Примітка. Питома радіоактивність повітря, яка обумовлена присутністю радону і його дочірніх продуктів, у ванній кімнаті одного з будинків в Канаді протягом семи хвилин роботи теплої душі і після його відключення (концентрація радону води складала 4400 Бк/м³).

Умови формування радіоактивних вод

В центральній частині України з північного заходу на південний схід простягається Придніпровська височина, яка структурно співпадає з Українським щитом. Рельєф височини відбиває поверхню кристалічного фундаменту. Поверхня височини горбиста, розчленована густою сіткою долин, ярів і балок. Розчленування поверхні збільшується на схід і південний схід. Глибина ерозійного зрізу становить від 50–60 м на північному заході до 100–150 м біля правого берега Дніпра. Кристалічні породи на схилах Українського щита збагачені торієм і радієм [9].

На території Вінницької області тріщини у верхній частині масиву кристалічних порід заповнені підземними водами. Тріщинуватість і обводненість зростає з глибиною. Ці показники значні до глибини 250–350 м; на більшій глибині тріщинуватість і обводненість поступово зменшуються. В межах рівнинної частини України виділяють три великі артезіанські басейни: Волино-Подільський, Дніпровсько-Донецький і Причорноморський [10–13]. На Українському щиті, Донецькому кряжі, в Криму і Карпатах існують артезіанські басейни. Найбільший – Дніпровсько-Донецький басейн, який займає частину правобережної України і майже всю лівобережну Україну. Горизонти підземних вод

зв'язані з піщаними і осадовими породами. Вода в цьому басейні знаходиться на глибині 200–500 м головним чином у відкладах, які сформувалися в юрський і сеноманський періоди мезозойської ери. Відклади юрського періоду в Україні поширені на північно-західній окраїні Донбасу, в Дніпровсько-Донецькій западині, Карпатах і Криму. Ранньо- і середньоярські відклади представлені піскуватоглинистими відкладами (мергелі, сланці, пісковики), пізньоярські – товщею вапняків. Сеноманський період представлений глауконітовими пісками і пісковиками з фосфоритами, глауконітовою крейдою, мергелями і монацитами. Потужність сеноманських відкладів досягає кількох десятків метрів. Високі концентрації радону води сеноманського горизонту обумовлені наявністю в полтавських відкладах лінз монацитових пісків, які містять підвищені концентрації урану, торію і радію: ^{232}Th – 830, ^{226}Ra – 25, ^{235}U – 1 та ^{40}K – 120 Бк/кг. Хмільницьке родовище води (четвертинний, неогеновий і архей-протерозойський горизонти) в основному розташоване на стійкому і малорухливому фундаменті Українського щита. На його території кристалічний фундамент, до верхньої тріщинуватої зони якого приурочено основний водоносний горизонт, перекритий тонким чохлом піскуватих наносів. Концентрація радону води родовища – 30–7400 Бк/кг.

Особлива роль у формуванні радонових вод належить гідрогеологічним умовам. Вони зустрічаються серед різних груп природних вод; їх типи характеризуються різними умовами живлення, циркуляції, виходу на поверхню і утворюють родовища різної величини і форми. Збагачення води радіоактивними елементами відбувається в певних кліматичних зонах, певних гідрогеологічних структурах, за певних гідродинамічних умов циркуляції підземних вод. Характер водообміну, інтенсивність циркуляції підземних вод, тривалість проходження вод через породи – все це визначає умови переходу радіоактивних елементів з порід у воду. Циркуляція підземних вод в земній корі відбувається в наступних зонах:

- зона аерації (зона поверхневого вивітрювання) характеризується тимчасовим просочуванням поверхневих вод і формуванням обстановки інтенсивного розчинення і вилуговування урану і радію;
- зона коливань рівня ґрунтових вод характеризується інтенсивним окисленням, розчиненням і вилуговуванням уранових мінералів;
- зона вільного обміну підземних вод із землею поверхнею відрізняється інтенсивною циркуляцією низхідних і висхідних підземних вод і формуванням окислювальної обстановки в дуже промитих комплексах порід і комплексах порід, які промиваються;
- зона утрудненого водообміну характеризується присутністю води порівняно сповільненої циркуляції і окислювально-відновною обстановкою;
- зона вельми утрудненого водообміну відрізняється від інших зон: а) вельми сповільненим рухом води; б) відновною геохімічною обстановкою; б) відносною стабільністю хімічного і газового складу води.

Україна – одна з країн, яка володіє гідромінеральними, в тому числі радоновими ресурсами, на базі яких функціонує близько 500 санаторно-курортних установ. Родовища радонових вод знаходяться в основному на Українському щиті. Походження радонових вод зв'язане з радіоактивними елементами в породах – докембрійських гранітоїдах. За вмістом урану вода ділиться на п'ять груп: 1) низький – до 1×10^{-7} г/л; 2) помірний – до 4×10^{-6} г/л; 3) підвищений – до 1×10^{-5} г/л; 4) високий – до 3×10^{-4} г/л; 5) дуже високий – більше 3×10^{-4} г/л. За вмістом радону вода ділиться на чотири групи: 1) дуже слаборадонові води – 185–740 Бк/кг; 2) слаборадонові води – 740–1480 Бк/кг; 3) радонові води середньої концентрації – 1480–7400 Бк/кг; 4) високорадонові води – більше 7400 Бк/кг. Водоносні горизонти в основному знаходяться на глибинах від десятків до сотень метрів.

Радонові води в Україні поширені на правобережжі р. Дніпра, на Побужжі і Приазов'ї. Їх використовують у водолікарнях м. Житомира, Київської області (м.

Миронівка і м. Біла Церква), Вінницької області (м. Хмільник) і Хмельницької області (м. Полонне).

Результати і їх обговорення

Вміст радону підземних вод зв'язаний з тектонічною будовою водоносних горизонтів в докембрійських комплексах Українського щита. В підземній воді регіонів України, розташованих в межах Українського щита, концентрація радону змінюється від 30 до 7400 Бк/кг; в підземній воді регіонів України, розташованих за межами Українського щита, концентрація радону становить 37 Бк/кг [14-17]. Концентрація радону підземної води: м. Київ – 70–1657 Бк/кг, м. Миронівка Київської області – 500–2000 Бк/кг, м. Хмільник (Вінницька обл.) – 30–7400 Бк/кг. Концентрація радону в приміщеннях будівель водолікарні м. Хмільник – 7–711 Бк/м³. Концентрація радію-226 підземної води на Українському щиті становить 0,30 Бк/кг.

Результати вимірювань радону підземної води м. Києва показано на рис. 2 і 3.

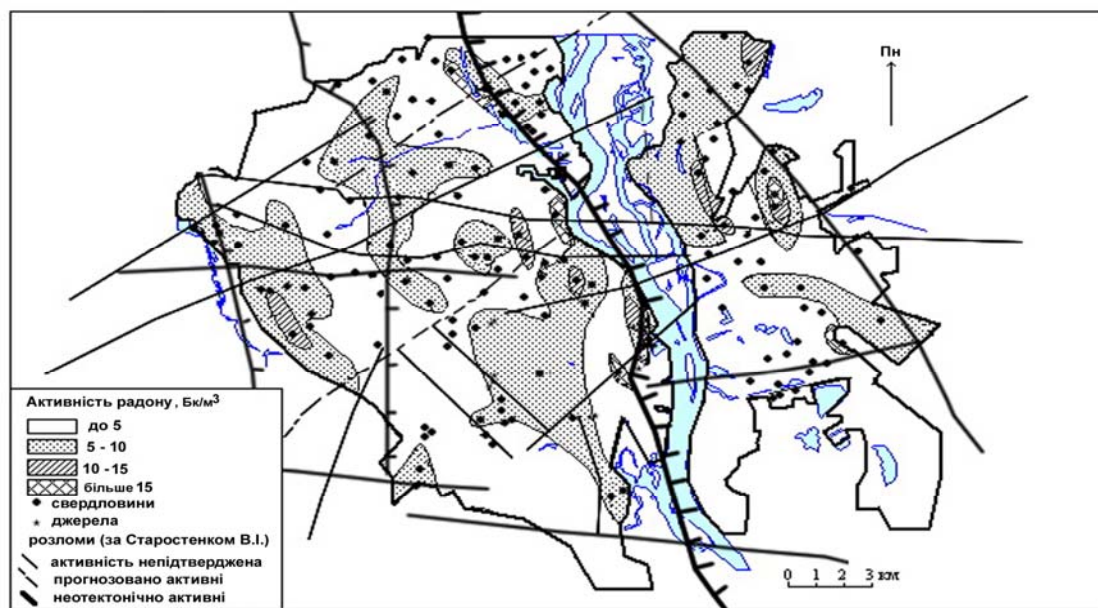


Рис. 2. Активність радону підземної води м. Києва

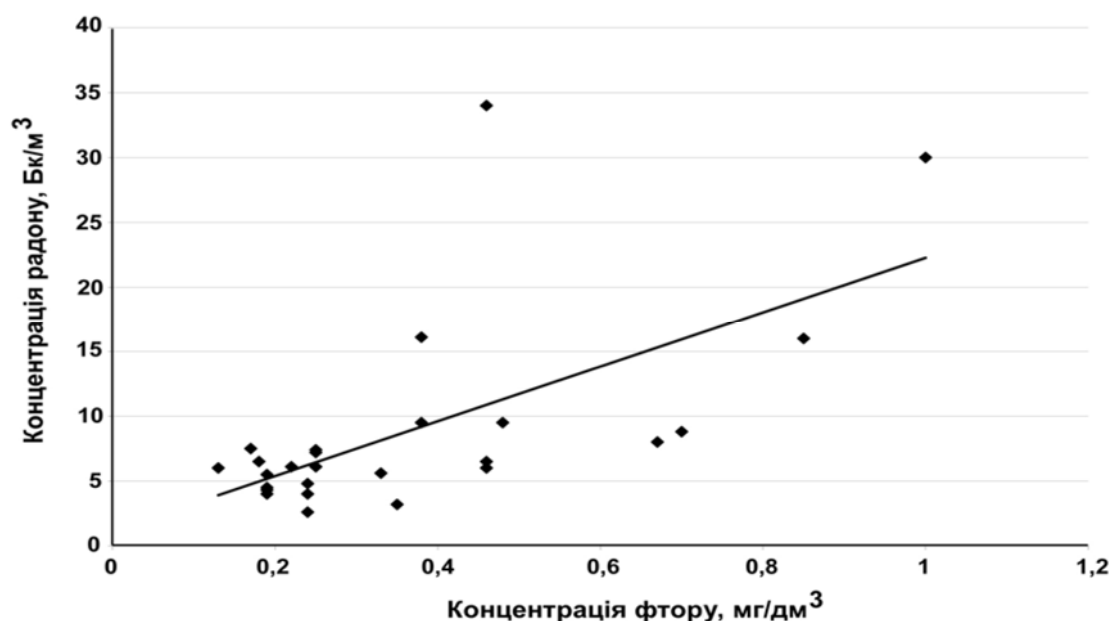


Рис. 3. Залежність між радоном і фтором підземної води м. Києва [16, 17]

Формування підвищеного вмісту радону підземних вод водоносних горизонтів зв'язано з тектонічною будовою Українського щита. Радон підземних вод формує радонові ореоли, що дозволяє підвищити ефективність пошуку родовищ урану. Моніторинг радону підземних вод України показав, що радон дає суттєвий вклад в дозу опромінення людей.

Висновки.

1. Вміст радону сеноманських водоносних горизонтів вище вмісту радону юрських водоносних горизонтів Українського щита.
2. Вміст радону підземних вод м. Києва, м. Миронівка Київської області і м. Хмільник Вінницької області обумовлений тектонічною будовою їх території.
3. Встановлено залежність між концентрацією радону води ванних відділень водолікарні м. Хмільник і концентрацією радону цих приміщень.
4. Встановлено залежність радону від фтору підземної води.
5. Радон підземних вод формує радонові ореоли, що дозволяє підвищити ефективність пошуку родовищ урану.
6. Моніторинг радону підземних вод показує, що радон води дає суттєвий вклад в дозу опромінення людей.

1. НКДАР, 1982. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Доклад НКДАР за 1982 г. ООН. – Нью Йорк, 1982. – Т. 1. – 881 с.
2. Батмангхелидж Ф. Вода для здоровья. Минск: Попурри, 2008. – 544 с.
3. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – М.: Мир, 1990. – 79 с.
4. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации. Докл. НКДАР ООН за 1988 г. М.: Мир, 1992. – Т. 1.
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1993. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. UN. N.Y., 1993.
6. Health effects of exposure to radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR). National Academy Press. Washington, 1999.
7. Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. ICRP Publication 50. // Annals of the ICRP. 17 (1).
8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К.: МОЗ України, 1997. – 121 с.
9. Цымбал С.Н., Полканов Ю.А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наукова думка, 1975. – 248 с.
10. Руденко Ф.А. Гідрогеологія Української РСР. – К.: Вища школа, 1972. – 174 с.
11. Гончарук В.В. Бювети Києва. Якість артезіанської води. К.: «Геопринт», 2003. – 110 с.
12. Гудзенко В.В., Голікова Т.О., Гудзенко Г.І., Шевченко О.Л. Радон у підземних водах Києва // Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Серія «Геологія». – 2004. – № 29–30. – С. 56–64.
13. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Киев: Наукова думка, 1995. – 397 с.

14. Zelensky A.V., Buzinny M.G., Los I.P. Measurements of ^{226}Ra , ^{222}Rn and uranium in Ukrainian groundwater using ultra-low-level liquid scintillation counting. Liquid Scintillation 1992. // Radiocarbon. – 1993. – P. 405-411.
15. Лисиченко Г.В., Мельник Ю.П., Лисенко О.Ю., Дудар Т.В., Нікітіна Т.В. Уранові руди України. К.: Наукова думка. 2010. – 221 с.
16. Жовинський Е.Я., Комов І.Л., Діденко П.І., Макаренко М.М., Шраменко І.Ф., Крюченко Н.О. Закономірності розподілу радону і фтору у підземних водах міста Київ // Мінералогічний журнал. – 2004. – Т. 26. – № 2. – С. 90-93.
17. Жовинский Э.Я., Комов И.Л., Диденко П.И., Макаренко Н.Н., Крюченко Н.О. Связь гидрогеохимических аномалий радона и фтора с участками тектонических нарушений (на примере г. Киев). // Пошукова геохімія. – 2004. – № 4. – С. 56-60.

П.И. Диденко

РАДОН ПОДЗЕМНЫХ ВОД УКРАИНЫ

Содержание радона сеноманских водоносных горизонтов больше содержания радона юрских водоносных горизонтов Украинского щита. Содержание радона подземных вод г. Киева, г. Мироновки Киевской области и г. Хмельник Винницкой области обусловлено тектоническим строением их территории. Радон подземных вод формирует радоновые ореолы, что позволяет повысить эффективность поиска месторождений урана. Установлена зависимость радона от фтора подземной воды. Установлена зависимость между концентрацией радона воды ванн отделений водолечебницы г. Хмельник и концентрацией радона этих помещений. Мониторинг радона подземных вод показал, что радон дает существенный вклад в дозу облучения людей.

P.I. Didenko

RADON OF GROUND WATERS OF UKRAINE

The content of the radon of Cenomanian water-bearing horizons is higher than that of Jurassic water-bearing horizons of Ukrainian Shield. Concentration of radon of the ground waters in the cities of Kyiv, Myronivka (Kyiv oblast) and Khmilnyk (Vinnytsia oblast) is caused by the tectonic structure of their territory. Ground water radon forms radon aureoles, which increases the efficiency of search for uranium deposits. The dependence of radon on fluorine of the ground water was established. It is established that the concentration of radon in the air of the bathrooms of the hydropathic establishment of the city of Khmilnyk depends on that of the water. Monitoring of ground water radon has shown that radon makes a considerable input into the radiation dose of population.