

УДК 550.47:550.424

ІЗОТОПНИЙ ОБМІН ТРИТІЮ В ПРОЦЕСІ ВЕГЕТАЦІЇ ВЕРБИ**Бобков В. М., Долін В. В.**

Бобков В. М. к. х. н., ст. н. с, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», VBgeochim@i.ua

Долін В. В. д. геол. н., професор, завідувач відділу біогеохімії, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», vdolin@ukr.net.

*У модельному експерименті вивчено особливості міграції тритію з водної фази середовища існування до складу компонентів верби білої (*Salix alba* L.) та ізотопні ефекти водню в процесі її вегетації. Константа швидкості надходження тритію через кореневу систему до складу внутрішньоклітинного соку рослин становить $2.17 \pm 1.45 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$. Рівновага між вмістом тритію у воді зовнішнього середовища і внутрішньоклітинному соку рослин встановлюється протягом 1-2 тижнів. При цьому, коефіцієнт фракціонування (α) становить 0.88-0.94 і практично не залежить від концентрації надважкого ізотопу водню у воді середовища. Константа швидкості трансформації тритію в органічно зв'язану форму становить $8.6 \pm 3.0 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$. Рівновага встановлюється протягом 4-11 тижнів, $\alpha = 0.17-0.19$ незалежно від концентрації надважкого ізотопу водню у воді середовища. Водночас спостерігається вилучення радіоактивного ізотопу з системи, ймовірно, унаслідок транспірації, з константою швидкості $2.67 \pm 0.27 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$. Швидкість винесення тритію унаслідок транспірації пропорційна вихідній концентрації його у воді середовища. Коефіцієнт фракціонування тритію в процесі транспірації становить 1.2.*

Ключові слова: тритійована вода, верба біла, внутрішньоклітинний сік, органічно зв'язаний тритій, концентрація, константа швидкості.

Вступ

Численні дослідження проведені в зонах впливу сховищ радіоактивних відходів показали, що тритій здатний до істотного накопичення у тканинах дерев [1-6]. У живій деревині тритій, як відомо, концентрується у вільній воді, яка входить до складу внутрішньоклітинного соку рослин (у формі тритієвої води Н-О-Т) і в органічній фазі рослин (целюлозі, лігніні та ін.) шляхом заміщення в них протонів С-Н та С-О-Н груп на тритій. Проведені заміри лише констатують завищений вміст тритію в деревині, але отримані результати не дають змогу оцінити динаміку зазначених процесів. Відкриті території біля сховищ та атомних електростанцій, унаслідок сильного та неконтрольованого впливу атмосферних опадів, ґрунтових вод, сонячного випромінювання та вітрів, не дають змогу кількісно оцінити швидкість та особливості кінетики накопичення тритію у природних рослинах, що зростають в цих зонах.

Для вирішення поставлених задач, нами проведено модельні (*greenhouse*) експерименти, які дозволили в контрольованих умовах оцінити швидкість накопичення тритію в деревині. Як відомо, основними шляхами надходження води в рослини є засвоєння її парової фази через листя та водної фази через коріння. Тому для чистоти експерименту, вся тритійована вода була зібрана у відповідній ємності, де росли саджанці верби. Ємність закрили поліетиленовою плівкою таким чином, щоб тритійована вода лише через коріння могла потрапляти у рослини, а листя ізольовані плівкою, поглинали тільки фонову атмосферну вологу.

Метою даної роботи була оцінка швидкості та ступеня міграції тритію в системі: зовнішнє водне середовище – внутрішньоклітинний сік – органічно зв'язана форма тритію.

Об'єкти та методи досліджень

Об'єктами дослідження були тритійована вода вихідною активністю $C_{\text{вих}} \approx 5600$ Бк/л і 2800 Бк/л та саджанці верби білої (*Salix alba L.*) Верба є зручним об'єктом, оскільки вона невибаглива, швидко і добре укорінюється і росте у воді. При штучному освітленні верба добре почувається в умовах модельного експерименту тривалий час. В експериментальних умовах зростання було забезпечено значний надлишок тритієвої води порівняно з кількістю, необхідною для живлення рослин. Тому по відношенню до концентрації тритію у цій «зовнішній» воді визначали балансовий розподіл та кількість тритію, яка увійшла до складу біомаси верби білої.

Методика експерименту. Придатні живці верби (вагою 70 - 140 г та довжиною 50 – 65 см) були нарізані із здорових гілок верби білої в період вегетації. Живці були витримані в розчині гетероауксина, протягом доби для кращого росту коренів і висаджені в землю на вулиці. За три тижня живці проросли та вкрилися листям. Далі їх обережно викопали і перенесли у пластикові прямокутні місткості (№ 1 та 2), ємністю 70 л. (рис. 1).



Рис. 1. Постановка експерименту

Перед посадкою у місткостях розмістили, відповідно, 13.9 кг та 14.7 кг торфу (для кращого росту саджанців) і залили по 66 л води (майже до верху місткості). Через воду протягом всього експерименту пропускали слабкий струм повітря для запобігання гнилісних процесів. Кількість води, з активністю 7 Бк/л, у повітрі кімнати є невеликою (6-7 г/м³ за 15°C), тому її впливом на отримані результати можна знехтувати.

Обидві ємності накрили тонкою поліетиленовою плівкою для зменшення випаровування води, а над нею на відстані 0.5 м розташували дві люмінесцентні лампи потужністю 40 Вт, які світили цілодобово. Температуру води протягом зимово-весняного періоду підтримували на рівні 15 °С. За тиждень саджанці прижились на новому місці.

По тому в обидві ємності було додано невелику кількість концентрованої тритієвої води, таким чином, щоб після її розбавлення, активність води в місткості № 1 становила приблизно 5600 Бк/л, а у місткості № 2 – приблизно 2800 Бк/л. З цього моменту починали відлік часу модельного експерименту.

Один раз на тиждень з кожної ємності відбирали пробу зовнішньої води та по одному саджанцю. Корінці разом із землею видаляли, а стовбур протирали фільтрувальним папером до сухого стану. Після зважування, саджанець з молодими гілками та листям розрізали на невеликі шматки (5 - 6 см) і переносили в 1 л скляну місткість, куди приміщували стакан з 50 г прожареного хлористого кальцію. Місткість закривали чашкою Петрі і витримували у сушильній шафі при температурі 90 °С протягом 24 годин. По тому насичений водою хлорид

кальцію переносили до колби Вюрца і за допомогою газового пальника відганяли всмоктану воду для подальшого визначення її активності.

Напівсуху рослинність в 1 л банці досушували ще 1 добу при температурі 100°C до сталої ваги. Сухий залишок зважували, переносили у кварцову трубку та обережно спалювали його у струмі кисню. Пари води, на виході з трубки, конденсували за допомогою зворотного холодильника. Отриману воду, забруднену продуктами горіння, кілька разів переганяли з додаванням неорганічного безводневого окиснювача до повного окиснення органічних домішок.

Пробу зовнішньої води з кожної ємності також переганяли з додаванням окиснювача. На основі очищених зразків води готували лічильну форму: у спеціальну поліетиленову віалу, ємністю 20 мл наливали 8 г перегнаної досліджуваної води. Якщо кількості проби було недостатньо (< 8 г), то до наважки проби додавали необхідну кількість дистильованої води з відомим вмістом тритію, таким чином щоб загальна кількість води у віалі становила 8 г. До проби додавали 12 г сцинтиляційної рідини OPTIPHASE HiSafe 3 виробництва фірми «Perkin Elmer». Суміш ретельно перемішували і проводили вимірювання за допомогою ультранизькофонового рідинно-сцинтиляційного α - β -спектрометра Quantulus 1220-003 виробництва Фінляндії. Похибка вимірювання не перевищує 5 %.

У місткість № 1 було посаджено 16 саджанців верби, а в місткість № 2 – 25 саджанців. У ході експерименту виявилось, що через листя верба швидко випаровує тритієву воду в повітря. Додатково тритієвої води не додавали, щоб не впливати на балансові показники активності. Тому в першій місткості води було достатньо до завершення експерименту, а в другій – лише до 20 саджанця (земля була ще вогкою, а вільної води вже не стало).

Результати досліджень та їх обговорення

Дві ємності з різною вихідною концентрацією тритію були використані для того, щоб оцінити вплив різних концентрацій тритію на процеси, які вивчаються. У порівнянні з водяними рослинами, верба має істотні переваги. Вона добре росте у воді в лабораторних умовах, швидко набирає вагу, що дає змогу отримати достатню кількість лічильної форми після спалювання.

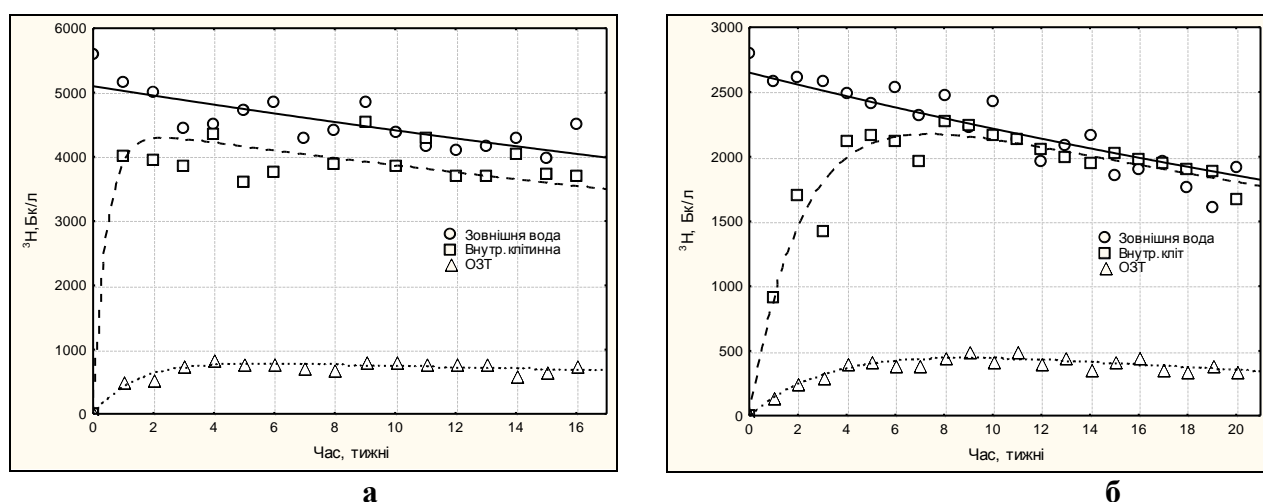


Рис. 2. Розподіл тритію між компонентами системи протягом експерименту: а – ємність № 1, б – ємність № 2.

Протягом 5 місяців спостерігається істотне зниження концентрації тритію у зовнішній воді системи (верхня крива на рис. 2 а, б). Цей ефект не може бути зумовлений випаровуванням, оскільки при звичайному випаровуванні, навпаки, відбувається концентрування важкого ізотопу [7]. Ймовірно, що ми спостерігаємо тут процес біогенного

винесення важкого ізотопу з системи унаслідок транспірації – випаровування води з поверхні рослин через продири та кутикулу.

Різниця маси тритію і протію є причиною їх фракціонування у хімічних і фізичних процесах. Це веде до збагачення важкими ізотопами однієї з фракцій порівняно з іншою. Найбільш відчутно цей ефект виявляється при фазових переходах хімічних сполук, у склад яких входять ізотопи водню та, передусім, при випаровуванні води.

Незважаючи на те, що різниця мас молекул H_2O і НТО невелика ($m_{H_2O}/m_{HTO} = 0.9$), між рідкою та газоподібною фазами води встановлюється рівноважний розподіл 3H , відмінний від рівномірного. Даний розподіл температуро залежний і визначається різницею тиску пари тритієвої і протієвої води.

Згідно [8, 9] коефіцієнт розподілу тритію між тритійвмісною водою та її паром можна розрахувати за формулою:

$$\alpha = \frac{P_H^0}{P_T^0}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт розподілення, P_H^0 – тиск пари протієвої води за даної температури, P_T^0 – тиск пари тритієвої води у чистому вигляді за тієї ж температури. Аналогічна закономірність справедлива також для дейтерієвої та важкокисневої води. Тому вочевидь у процесі транспірації може відбуватися збагачення води листя важкими ізотопами. Цей ефект було показано для співвідношення $^{18}O/^{16}O$, яке збільшується у воді листя або шпильок дерев у проміжку від 9 до 15 години доби [10]. У нічний час величина цього співвідношення зменшується, що свідчить про зв'язок фракціонування та інтенсивності транспірації. При цьому величина співвідношення ізотопів кисню не змінювалася у воді гілок, коренів, ґрунту та повітря.

Залежність вмісту ^{18}O в органічній речовині молодого листа деревинних рослин від транспіраційних витрат води описано в роботі [11]. В експериментальному дослідженні впливу процесів транспірації (у тритійвмісній атмосфері) на фракціонування тритію в рослинах (пшениця, кукурудза) було виявлено ефект ізотопного фракціонування у листі транспіруючих рослин [12].

Отже, спостережуваний нами стійкий тренд зниження активності тритію у воді середовища (протягом 4–5 місяців концентрація тритію зменшилася на 20–30 %) свідчить про надзвичайну потужність ізотопного евапотранспіраційного ефекту при вирощуванні верби білої в середовищі тритієвої води (рис. 2). Цей вид рослинності можна порівняти з потужною помпою, яка викачує тритій в атмосферу з водно-болотної системи. Швидкість цього процесу оцінюється за зниженням концентрації тритію у зовнішній воді:

$$C_t = A_1 \times e^{-k_1 t}, \quad (2)$$

де A_1 – початкова активність води, C_t – концентрація тритію у воді середовища на час t , k_1 – константа швидкості біогенного евапотранспіраційного потоку тритію. Розрахована з експериментальних даних величина k_1 становить $(2.4 - 2.94) \cdot 10^{-8} \text{ c}^{-1}$.

Протягом 5 місяців тривалості експерименту біогенним потоком винесено близько 62 л (94 %) води з системи. Питома швидкість транспіраційного винесення становить $3.8 \cdot 10^{-4} \text{ мл} \cdot \text{c}^{-1}$ (близько 10 л на місяць) на 1 кг біомаси верби. При цьому винесення тритію протягом тижня більш як учетверо перевищує його вміст у внутрішньоклітинній воді верби. Середня питома швидкість винесення тритію біогенним потоком змінюється пропорційно його вмісту в середовищі існування рослин і для вихідної концентрації води $2800 \text{ Бк} \cdot \text{дм}^{-3}$ становить $8.0 \cdot 10^{-6} \text{ Бк} \cdot \text{c}^{-1}$ (21 Бк на міс.), для концентрації $5600 \text{ Бк} \cdot \text{дм}^{-3}$ – $1.7 \cdot 10^{-5} \text{ Бк} \cdot \text{c}^{-1}$ (44 Бк на міс.) на 1 кг біомаси. У процесі транспіраційного винесення тритієвої води зі системи спостерігається фракціонування тритію з коефіцієнтами (α) 1.43 (за 20 тижнів) та 1.26 (за 16 тижнів) відповідно.

$$\alpha = \frac{C_{t_1}}{C_{t_2}}, \quad (3)$$

У попередніх дослідженнях [6] ми спостерігали ізотопні ефекти щодо накопичення надважкого ізотопу у внутрішньоклітинному сокові водних та водно-болотних рослин і в органічно зв'язаній формі. В експерименті з вирощування верби білої у середовищі НТО такого чіткого ефекту не спостерігається. Коефіцієнт фракціонування тритію між водою середовища і внутрішньоклітинною рідиною (α) становить 0.88-0.94 і практично не залежить від концентрації надважкого ізотопу водню у воді середовища. Коефіцієнт фракціонування в органічно зв'язану форму біомаси верби становить близько 0.17 - 0.19 і, також, практично не залежить від концентрації надважкого ізотопу водню у воді середовища.

Динаміка біогенної міграції тритію у водній формі та його трансформації в органічні сполуки з високою достовірністю описується з позицій формальної кінетики для незворотного процесу:

$$C = A_{2,3} \times e^{-k_1 t} \times (1 - e^{-k_{2,3} t}), \quad (3)$$

де $A_{2,3}$ – максимальна кількість тритію, яка бере участь у біогенній міграції в неорганічній (внутрішньоклітинній водній) (A_2) та органічно зв'язаній (A_3) формах, $k_{2,3}$ – константи швидкості відповідних міграційних процесів; k_1 – константа швидкості вилучення тритію з системи внаслідок транспірації, розрахована з експериментальних даних за рівнянням 2 (рис. 2).

Розраховані величини констант швидкості включення тритію у процеси біоміграції істотно відрізняються (до 2 разів) залежно від початкової концентрації ізотопу в системі (табл.) Спостерігається тенденція щодо збільшення швидкості біогенної міграції тритію з підвищенням його вмісту в системі.

Таблиця. Константи швидкості процесів біоміграції тритію при вирощуванні верби білої в середовищі НТО.

№ ємності	A_1 , Бк	k_1 , с^{-1}	A_2 , Бк	k_2 , с^{-1}	A_3 , Бк	k_3 , с^{-1}
1	5099	$2,40 \cdot 10^{-8}$	4473	$3,62 \cdot 10^{-6}$	864	$1,16 \cdot 10^{-6}$
2	2757	$2,94 \cdot 10^{-8}$	2581	$7,27 \cdot 10^{-7}$	535	$5,64 \cdot 10^{-7}$
Середнє		$2,67 \cdot 10^{-8}$		$2,17 \cdot 10^{-6}$		$8,61 \cdot 10^{-7}$

Висновки

- У процесі життєдіяльності верби білої, в умовах *greenhouse* експерименту, спостерігається потужний транспіраційний ефект, який супроводжується фракціонуванням надважкого ізотопу водню. Питома швидкість біогенного потоку води в системі становить $3,8 \cdot 10^{-4}$ мл·с⁻¹ на 1 кг біомаси рослин. Швидкість винесення тритію унаслідок транспірації пропорційна вихідній концентрації його у воді середовища. Протягом тижня зі середовища біогенним потоком в атмосферу виноситься вчетверо більше надважкого ізотопу, ніж міститься у внутрішньоклітинних соках рослин. Коефіцієнт фракціонування тритію в процесі транспірації становить 1.2.
- В експериментальних умовах не спостерігалось збагачення внутрішньоклітинних соків та органічної речовини рослин тритієм. Забруднена тритієм вода середовища досить швидко потрапляє у внутрішньоклітинний сік верби. При цьому, коефіцієнт фракціонування становить 0.87 - 0.94. Коефіцієнт фракціонування тритію в органічно зв'язану форму становить 0.17 - 0.19.
- Процеси формування тритієвого забруднення рослин в неорганічній та органічній формах підлягають кінетичним закономірностям. Константа швидкості

формування тритієвого забруднення внутрішньоклітинних соків рослин, в середньому, вдвічі більша, ніж константа швидкості його трансформації в органічно зв'язану форму.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Y. Belot, C. Caput, D. Gauthier* Distribution of the organically bound tritium in vegetation exposed to fall-out // *Radiat. Protect. Dosim.* – 1986.- **16**, № 1-2. – P. 111-113.
2. *S. Hisamatsu, Y. Takizawa, T. Abe, T. Katsumata* Fallout ^3H ingestion in Akita, Japan // *Health Phys.* – 1987.- **5**, № 6. – P. 287-293.
3. Tritium in some typical ecosystems // *Technical reports series.* – Vienna: IAEA, 1981.- № 207. – 118 p.
4. *De Vre Mathur, J. Binet* Molecular aspects of tritiated water and natural water in radiation biology // *Progr. Biophys. and Mol. Biol.* – 1984. - № 43. – P. 161-193.
5. *R.M. Brown* Environmental tritium in trees // *Proceedings of the Symposium on Behavior of Tritium in the Environment (16-20 Oct., 1978).* – San Francisco: Jointly organised by IAEA and NEA, 1979. – P. 405-417.
6. *Долін В.В., Пушкар'ов О.В., Шраменко І.Ф. та ін.* Тритій у біосфері.-Київ: Наукова думка, 2012.- 224 с.
7. *Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И.* Тритий. - М.: Энергоатомиздат, 1985.- 247 с.
8. *Бродский А.И.* Химия изотопов.- М.:изд-во АН СССР, 1957. - 602 с.
9. *Рабинович И.Б.* Влияние изотопии на физико-химические свойства жидкостей.- М.:Наука, 1968.- 308 с.
10. *H. Forstel* The enrichment of ^{18}O in leaf water under natural condition // *Radiat. and Environ. Biophys.* — 1978. — V.15, № 4. — P. 323 - 341.
11. *A. Ferhi, R. Lettolle* Transpiration and evaporation as the principle factors in oxygen isotope variation of organic matter in land plants. // *Physiol. Veget.* — 1977. — V.15, № 2. — P. 363 - 370.
12. *Сыроватко В. А.* Тритийсодержащая вода в процессах водообмена растений: Дис. ... канд. биолог. наук : 03.00.12 / Владимир Алексеевич Сыроватко. – К. 1984.- 149 с.

REFERENCES

1. *Y. Belot, C. Caput, D. Gauthier* Distribution of the organically bound tritium in vegetation exposed to fall-out // *Radiat. Protect. Dosim.* – 1986.- **16**, № 1-2. – P. 111-113.
2. *S. Hisamatsu, Y. Takizawa, T. Abe, T. Katsumata* Fallout ^3H ingestion in Akita, Japan // *Health Phys.* – 1987.- **5**, № 6. – P. 287-293.
3. Tritium in some typical ecosystems // *Technical reports series.* – Vienna: IAEA, 1981.- № 207. – 118 p.
4. *De Vre Mathur, J. Binet* Molecular aspects of tritiated water and natural water in radiation biology // *Progr. Biophys. and Mol. Biol.* – 1984. - № 43. – P. 161-193.
5. *R. Brown* Environmental tritium in trees // *Proceedings of the Symposium on Behavior of Tritium in the Environment (16-20 Oct., 1978).* – San Francisco: Jointly organised by IAEA and NEA, 1979. – P. 405-417.
6. *V. Dolin, O. Pushkar'ov, I. Shramenko et. al.* Tritiy u biosferi [Tritium in the biosphere].-Київ: Naukova dumka, 2012.- 224 s. [in Ukrainian]
7. *L. Belovodskiy, V. Gaevoy, V. Grishmanovskiy* Tritiy. [Tritium] - М.: Energoatomizdat, 1985.- 247 s. [in Russian]
8. *A. Brodskiy* Khimiya izotopov. [Chemistry of isotopes] - М.:изд-во АН СССР, 1957. - 602 s. [in Russian]
9. *I. Rabinovich* Vliyanie izotopii na fiziko-khimicheskie svoystva zhidkostey. [Influence of isotopy on the physicochemical properties of liquids] - М.:Наука, 1968.- 308 s. [in Russian]
10. *N. Forstel* The enrichment of ^{18}O in leaf water under natural condition. - *Radiat. and Environ. Biophys.*, 1978, v.15, № 4, p. 323 - 341.
11. *A. Ferhi, R. Lettolle* Transpiration and evaporation as the principle factors in oxygen isotope variation of organic matter in land plants. - *Physiol. Veget.*, 1977, v.15, № 2, p. 363 - 370.

12. V. Syrovatko Tritiysoderzhashchaya voda v protsessakh vodoobmena rasteniy [The water containing tritium in the processes of water exchange of plants]: Dis. kand. biolog. nauk : 03.00.12 / Vladimir Alekseevich Syrovatko. – K. 1984.- 149 s. . [in Ukrainian]

ИЗОТОПНЫЙ ОБМЕН ТРИТИЯ В ПРОЦЕССЕ ВЕГЕТАЦИИ ВЕРБЫ

Бобков В. Н., Долин В. В.

Бобков В. Н. к. х. н., ст.н.с, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», VBgeochim@i.ua.

Долин В.В. д. геол. н., профессор, заведующий отделом биогеохимии, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», vdolin@ukr.net.

В модельном эксперименте изучены особенности миграции трития из водной фазы среды обитания в состав компонентов вербы белой (Salix alba L.) и изотопные эффекты водорода в процессе их вегетации. Константа скорости поступления трития через корневую систему в состав внутриклеточного сока растений составляет $2.17 \pm 1.45 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$. Равновесие между содержанием трития в воде внешней среды и внутриклеточного сока растений устанавливается на протяжении 1-2 недель. При этом, коэффициент фракционирования (α) составляет 0.88 - 0.94 и практически не зависит от концентрации сверхтяжелого изотопа водорода в воде среды. Константа скорости трансформации трития в органически связанную форму составляет $8.6 \pm 3.0 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$. Равновесие устанавливается на протяжении 4 - 11 недель, $\alpha = 0.17 - 0.19$ и практически не зависит от концентрации сверхтяжелого изотопа водорода в воде среды. В тоже время наблюдается извлечение радиоактивного изотопа из системы, вероятно, вследствие транспирации с константой скорости $2.67 \pm 0.27 \cdot 10^{-8} \text{ c}^{-1}$. Скорость выведения трития вследствие транспирации пропорциональна исходной концентрации его в воде среды. Коэффициент фракционирования трития в процессе транспирации составляет 1.2.

Ключевые слова: тритиевая вода, верба белая, внутриклеточный сок, органически связанный тритий, концентрация, константа скорости.

ISOTOPIC EXCHANGE OF TRITIUM IN THE PROCESS OF WILLOW VEGETATION

V. Bobkov, V. Dolin

V. Bobkov Ph. D. (Chem.), Senior Researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NASU», VBgeochim@i.ua

V. Dolin D. Sc. (Geol.), Professor, Head of Department, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NASU» vdolin@ukr.net

In a model greenhouse experiment the peculiarities of tritium migration from the water phase of the habitat into components of white willow (Salix alba L.) and isotope effects of hydrogen during the vegetation have been studied. The rate constant of tritium transfer through the root system to the intracellular sap of plants is $2.17 \pm 1.45 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. The tritium balance between external water and intracellular sap has been come to the equilibrium during 1-2 weeks. Thus, the fractionation factor (α) is 0.88 - 0.94 and does not depend on the concentration of the superheavy isotope of hydrogen in external water. The rate constant of the transformation of tritium in organically bounded species is $8.6 \pm 3.0 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$. The equilibrium is set for 4 to 11 weeks, $\alpha = 0.17 - 0.19$ and does not depend on the concentration of the superheavy isotope of hydrogen in external water. At the same time, the extraction of the radioactive isotope from the system, probably owing to transpiration has been observed. The value of rate constant of Tritium transpiration calculated from experimental data is $2.67 \pm 0.27 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$. The rate of tritium transpiration is proportional to its concentration in external water. The coefficient of tritium fractionation during transpiration is 1.2.

Keywords: tritiated water, willow, intracellular sap, organically-bounded Tritium, concentration, rate constant.