DOI: 10.21870/0131-3878-2020-29-1-79-89

УДК 614.73:546.11.02.3:614.778

Оценка аэрального поглощения НТО культурой *Helianthus Annuus* в условиях Семипалатинского испытательного полигона

Поливкина Е.Н., Ларионова Н.В., Ляхова О.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Дана количественная оценка аэрального поглощения трития в форме НТО (трیتیєвая вода) растениями в естественных условиях Семипалатинского испытательного полигона – бывшая испытательная площадка «Дегелен», на примере культуры подсолнечника (*Helianthus Annuus*). В ходе длительной экспозиции *Helianthus Annuus* установлена тесная положительная корреляционная зависимость между значениями удельной активности трития в свободной воде растений (ТСВ) и объёмной активностью НТО в воздухе, а также между значениями удельной активности органически связанного трития (ОСТ) и ТСВ (значения коэффициентов корреляции Спирмена составили 0,77 и 0,79 соответственно). Установлено, что при хроническом тритиевом загрязнении воздуха значения фактора R в ходе вегетации *Helianthus Annuus* варьируют от 0,67 до 0,15 при среднем значении 0,19. Получены значения скорости образования ОСТ в листьях *Helianthus Annuus* в течение экспозиции. Скорость формирования тритированного органического вещества изменялась в пределах от 0,21 до 0,68 % ч⁻¹. Индекс транслокации (translocation index – TLI) для культуры *Helianthus Annuus* в конце экспозиции составил 27,4%. Отмечен неравномерный характер распределения ТСВ и ОСТ по органам *Helianthus Annuus* при длительном аэральном поглощении НТО. Так, максимальные значения удельной активности ТСВ и ОСТ установлены в надземной части, особенно в листьях. Полученные количественные параметры и зависимости можно применять в качестве индикаторов для проведения биологического мониторинга аэрального тритиевого загрязнения.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон, оксид трития, *Helianthus Annuus*, тритий в свободной воде растений (ТСВ), органически связанный тритий (ОСТ), аэральное поглощение, инкорпорирование, скорость образования ОСТ, транслокация, распределение.

Введение

На Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) выявлено множество участков, где тритий фиксируется в значимых количествах в различных компонентах окружающей среды [1]. Наиболее распространённой формой нахождения трития на СИП является его окисленная форма (НТО), которая характеризуется высокой миграционной способностью. Кроме того, радиотоксичность НТО для человека на несколько порядков выше по сравнению с НТ [2]. Особый интерес с точки зрения тритиевого загрязнения СИП представляет испытательная площадка «Дегелен», где проводились подземные ядерные взрывы в горизонтальных горных выработках – штольнях, что привело к существенной деформации как горных пород, так и гидрологического режима. В результате, загрязнённые радионуклидами (³H, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu др.) воды выходят на земную поверхность в районе порталов штолен (штольневые воды). Такие штольни с водотоками характеризуются высоким содержанием НТО в воде и, соответственно, в атмосферном воздухе на припортальных участках [3]. Следующим этапом миграции трития является растительный покров, так как растения в процессе своей жизнедеятельности способны активно поглощать воду, а, значит, и НТО, не только корневым, но и аэральным путём [4, 5]. Необходимо отметить ещё один важный аспект участия растений в процессах миграции трития. В результа-

Поливкина Е.Н.* – начальник группы, к.б.н.; Ларионова Н.В. – учёный секретарь, к.б.н.; Ляхова О.Н. – начальник отдела, к.б.н. ИРБЭ НЯЦ РК.

*Контакты: 071100, Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., Курчатов, ул. Бейбит-Атом, 26. Тел.: +7(72251)32720(162); e-mail: polivkina@nnc.kz.

те идентичности химических свойств молекул H_2O и НТО тритий достаточно легко вовлекается в процессы фотосинтеза и, как следствие, инкорпорируется в органическое вещество [6, 7]. Известно, что органически связанный тритий, по сравнению с НТО, способен на длительное время задерживаться в составе клеточных структур, поэтому с точки зрения дозовых нагрузок он представляет особый интерес [8, 9].

В настоящее время разработано несколько различных моделей, которые могут быть использованы для прогнозирования дозовых нагрузок при длительном и краткосрочном поступлении трития в окружающую среду [5, 10-12]. Однако, основная проблема всех современных моделей заключается в недостатке количественных данных, полученных в условиях естественной динамики активности трития в воздухе [5]. В основном при моделировании для количественной оценки процессов поглощения и инкорпорирования НТО используют такие параметры как скорость превращения ТСВ в ОСТ [13], индекс транслокации [6, 10]. Для количественной оценки способности биологической системы к накоплению трития в органическом веществе используют коэффициент R (specific activity ratio – SAR), который определяется как отношение удельных активностей ОСТ и ТСВ [14, 15], данный параметр также является маркером тритиевого загрязнения [15].

В связи с этим, цель работы заключалась в количественной оценке процесса хронического аэрального поглощения НТО растениями в естественных условиях СИП на примере культуры *Helianthus Annuus*.

Материалы и методы

В качестве экспериментальных растений использовали культуру подсолнечника (*Helianthus Annuus*). Выбор культуры обусловлен тем, что подсолнечник является растением степного климата, хорошо приспособлен к воздушной и почвенной засухе, перепадам температуры. Данные экологические характеристики имеют немаловажное значение при выращивании растений в климатических условиях СИП.

Исследование количественных показателей поглощения и инкорпорирования НТО растениями при хроническом аэральном тритиевом загрязнении проводили в естественных условиях. Для эксперимента был выбран припортовый участок одной из штолен с водотоком на испытательной площадке «Дегелен», который характеризуется высокой концентрацией НТО как в воде, так и, соответственно, в приземном воздухе [1].

Для постановки натурных экспериментов использовали фоновую светло-каштановую суглинистую почву. Согласно предварительному анализу, удельная активность трития (НТО) в дистилляте почвы, взятой для эксперимента, находилась ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения.

В пластиковые вегетационные сосуды ($V = 35$ л) помещали дренаж, затем почву, на которой в лабораторных условиях проращивали подсолнечник в течение 10 дней. Всего подготовлено 10 сосудов. Для посадки использовали семена, схожие по размеру и массе. В одном сосуде проращивали не более 3 проростков. В среднем каждый 10-дневный проросток имел массу 50-60 г. Вегетационные сосуды с 10-дневными проростками подсолнечника устанавливались на экспериментальном участке СИП. Экспозиция растений длилась до начала созревания подсолнечника – фазы роста семян. Полив экспериментальных растений осуществляли 1 раз в неделю дистиллированной водой. Температура окружающей среды и относительная влажность воз-

духа на экспериментальном участке измерялись во время каждого отбора проб растений и воздушных паров с использованием термогигрометра ИВА-6 (Россия).

В течение всего эксперимента каждые 10 дней производили отбор 3 проб листьев подсолнечника. Для установления характера распределения ТСВ и ОСТ в конце вегетационного периода на стадии созревания дополнительно производили отбор проб органов подсолнечника (стебли, листья, соцветия, корни). Масса каждого растительного образца в среднем составляла 100-150 г. Измерение удельной активности трития производили в свободной воде тканей и органической составляющей растений. Выделение свободной воды растений производили посредством специальной установки [16]. Установка представляет собой герметичную прозрачную ёмкость для загрузки растительного образца, соединённую с охлаждаемой металлической поверхностью и приёмником для конденсата, извлекаемого из пробы. Отобранный конденсат объёмом 10-15 мл подготавливали для проведения β -спектрометрического измерения удельной активности трития на жидко-сцинтилляционном спектрометре.

Подготовку проб растений для измерения удельной активности ОСТ производили методом сжигания сухого растительного образца на установке «Sample Oxidizer model 307» (PerkinElmer, США) с последующей подготовкой полученной воды для проведения β -спектрометрического измерения удельной активности ^3H на жидкостно-сцинтилляционном спектрометре.

Одновременно с отбором растительных образцов каждые 10 дней производили отбор проб водяных паров приземного воздуха экспериментальной площадки. Отбор проб водяных паров воздуха проводился открытым способом: на выбранном участке устанавливалась криогенная установка, и производилось вымораживание на высоте 50 см от поверхности земли. Криогенная установка состояла из сосуда Дьюара, наполненного жидким азотом, в который опускался медный хладовод с радиатором. Длительность вымораживания одной пробы атмосферной влаги составляла 1,5-2 ч. Пробу собирали в пластиковый флакон (виалу). Объём каждой пробы составлял 20 мл. Вымороженные пары воды объёмом 20 мл предварительно фильтровали для избавления от примесей. Из отфильтрованной пробы отбирали образец объёмом 3 мл и подготавливали для проведения β -спектрометрического измерения удельной активности трития на жидко-сцинтилляционном спектрометре.

В естественных условиях при непрерывной длительной экспозиции невозможно полностью исключить корневое поглощение трития, диффундирующего из атмосферной влаги в почву, а также поглощение трития из атмосферных осадков. В связи с этим, для контроля удельной активности НТО в почвенном растворе предварительно производили отбор средней пробы почвы массой 300 г до и после экспозиции растений. Навеску почвы помещали в трёхгорлую колбу. В одно горло колбы устанавливали термометр для контроля температуры, а в другое – систему подачи осушенного воздуха. Осушенный воздух подавался с целью полного извлечения почвенного конденсата из камеры колбы. Далее колбу соединяли с обратным холодильником. В собранной установке производили дистилляцию почвенного образца при температуре 110 °С. Нагревание продолжали до прекращения образования дистиллята. Далее дистиллят, отобранный при данной температуре, подготавливали для проведения β -спектрометрического измерения удельной активности трития.

Определение удельной активности трития в исследуемых образцах проводилось методом жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии с использованием спектрометра «QUANTULUS 1220» (PerkinElmer, США) [17]. Непосредственно перед проведением анализа

все пробы проходили стадию фильтрации для удаления механических примесей, затем из измеряемого образца отбиралась аликвота объемом 3 мл и помещалась в пластиковую вialу объемом 20 мл с добавлением сцинтилляционного коктейля в пропорции 1:4 (отношение «образец-сцинтиллятор»). Для анализа проб использовался сцинтилляционный коктейль Ultima Gold LLT, разработанный специально для измерения трития в природных образцах (эффективность регистрации для трития в диапазоне 0-18 КэВ порядка 60%). Время измерения для каждого образца составляло около 120 мин. Обработка бета-спектра и расчёт концентрации активности трития проводились с помощью программы «Quanta Smart». Минимально-детектируемая активность трития используемой радиометрической аппаратуры составила – 0,07 Бк/л.

Скорость образования ОСТ рассчитывали согласно формуле [13]:

$$\frac{dC_{ост}}{dt} = vC_{тсв} * 100,$$

где **C_{ост}** – активность ОСТ в листьях подсолнечника, Бк/л; **C_{тсв}** – активность ТСВ в листьях подсолнечника, Бк/л; **t** – время наблюдений (экспозиции), ч; **v** – скорость превращения ТСВ в ОСТ, % ч⁻¹.

Для количественной оценки переноса ОСТ в растении использовали индекс транслокации (translocation index), который определяется следующим соотношением [10]:

$$TLI = \frac{C_{ост\ плод}}{C_{тсв\ лист}} 100\%,$$

где **C_{ост}** – удельная активность ОСТ в органах, Бк/л; **C_{тсв}** – удельная активность ТСВ в листьях, Бк/л.

Результаты и обсуждение

В период проведения экспозиции *Helianthus Annuus* производили измерение климатических показателей, оказывающих влияние на степень открытости устьиц листьев (температура и относительная влажность), а также объемной активности НТО в воздухе экспериментальной площадки. Так, в период экспозиции подсолнечника объемная активность НТО воздуха варьировала в пределах от $n \cdot 10^2$ до $n \cdot 10^3$ Бк/м³ (рис. 1). Температура воздуха изменялась в пределах от 24,6 до 35,5 °С, относительная влажность воздуха – от 25,7 до 75%. Таким образом, в течение экспозиции растений значения удельной активности трития в воздухе и климатические показатели имели достаточно динамичный характер.

Рис. 1. Динамика содержания НТО в водяных парах воздуха при отборе проб растений.

На рис. 2 представлены результаты измерения удельной активности радионуклида трития в течение экспозиции в свободной воде и органической составляющей листьев *Helianthus Annuus*. В табл. 2 представлены стадии вегетационного развития *Helianthus Annuus* в ходе экспозиции. Согласно полученным данным максимальная активность ТСВ и ОСТ в листьях отмечена в фазе цветения. На стадии роста семян, которую можно считать началом созревания, наоборот, наблюдалось снижение активности ТСВ в листьях на 30%, а ОСТ – на 10%.

Рис. 2. Удельная активность ТСВ и ОСТ в листьях *Helianthus Annuus* при хроническом аэральном поглощении НТО.

В целом, удельная активность ТСВ в листьях *Helianthus Annuus* на протяжении всего периода экспозиции имела значения на порядок выше по сравнению с ОСТ. На основе полученных данных рассчитана скорость образования ОСТ в течение экспозиции в листьях *Helianthus Annuus* (рис. 3).

Рис. 3. Скорость образования ОСТ в листьях *Helianthus Annuus* во время экспозиции.

Из рис. 3 видно, что скорость образования ОСТ в листьях *Helianthus Annuus* в течение экспозиции изменялась в пределах от 0,68 до 0,21 % ч⁻¹. При этом максимальные значения скорости образования ОСТ наблюдались только в фазе активного роста *Helianthus Annuus*, которая характеризуется интенсивным формированием вегетативной массы за счёт активного био-

синтеза, в том числе и фотосинтеза, в ходе которого в основном инкорпорируется НТО [5]. В конце экспозиции (стадия роста семян) показатель скорости образования ОСТ снизился почти в 3 раза. Полученные результаты можно объяснить тем, что в листьях, достигших предельных размеров, начинаются процессы их изнашивания, ведущие к старению [18]. По мере старения листа постепенно снижается интенсивность фотосинтеза и дыхания и, соответственно, скорость образования ОСТ.

Для обработки полученных количественных данных применён метод рангового корреляционного анализа (табл. 1).

Таблица 1

Результаты рангового корреляционного анализа

Параметры		Значения коэффициента корреляции Спирмена
Температура	TCB, ОСТ	-
Относительная влажность воздуха	TCB, ОСТ	-
Объёмная активность НТО в водяных парах воздуха	TCB	0,77
Объёмная активность НТО в водяных парах воздуха	ОСТ	0,86
ТСВ	ОСТ	0,79
ТСВ	скорость образования ОСТ	-

Примечание: «-» – отсутствует достоверная корреляционная зависимость.

Согласно результатам статистической обработки данных достоверная зависимость между удельной активностью ТСВ, ОСТ и климатическими показателями (температура и относительная влажность воздуха) отсутствует. Вероятно, это обусловлено тем, что объём аэрационно поступающих водяных паров в строму листьев в большей степени обусловлен физиологическим состоянием растений (интенсивность транспирации, степень насыщенности растительных клеток водой и т.д.), а климатические факторы оказывают опосредованное влияние на степень открытости устьиц листовой пластины [18].

Из табл. 1 видно, что удельная активность ТСВ, ОСТ в листьях и НТО в атмосферной влаге тесно коррелируют между собой, что вполне очевидно, так как НТО является источником формирования ТСВ, который, в свою очередь, является источником формирования ОСТ.

Значения коэффициента R для культуры *Helianthus Annuus* изменялись в течение экспозиции в пределах от 0,67 до 0,15 (табл. 2) при среднем значении 0,19.

Таблица 2

Значения коэффициента R для *Helianthus Annuus* при хроническом аэральном поглощении НТО

Время экспозиции, сут	Фаза вегетации	Коэффициент R
10	Интенсивный рост	0,67
29		0,23
37		0,17
45		0,15
55	Бутонизация	0,15
63	Цветение	0,20
77	Начало созревания (рост семян)	0,26

Установлен характер распределения ТСВ и ОСТ по органам *Helianthus Annuus* в фазе роста семян (рис. 4). Согласно представленным данным при аэральном поглощении НТО удельная активность ТСВ и ОСТ в надземной части подсолнечника выше в 1,5-2 и в 3,5-5 раз соответственно по сравнению с корнями. Согласно ранее проведённым исследованиям [19] при корневом поглощении НТО распределение трития носит противоположный характер, и максимальная удельная активность ТСВ и ОСТ отмечается в корнях, а не в надземных органах растений. Вероятно, на распределение ТСВ и ОСТ по органам наряду с другими факторами может оказывать влияние путь поступления трития в растение.

Рис. 4. Распределение ТСВ и ОСТ по органам *Helianthus Annuus* в конце экспозиции.

Для количественной оценки переноса ОСТ в растении использовали индекс транслокации (TLI – translocation index) [10]. Значения TLI представлены на рис. 5.

Рис. 5. Транслокация ОСТ в органы *Helianthus Annuus*, %.

Согласно полученным данным (рис. 5) максимальное значение индекса транслокации ОСТ отмечено для соцветий *Helianthus Annuus*, что, вероятно, обусловлено интенсивным поступлением продуктов фотосинтеза, а значит, и органически связанного трития из листьев в генеративные органы в фазе созревания.

Следует отметить, что эксперимент проводился в естественных условиях длительное время (большую часть вегетационного периода), поэтому невозможно было исключить диффузию НТО из атмосферы в почву вегетационных сосудов. В связи с этим для контроля удельной активности НТО в почвенном растворе были отобраны образцы почвы до начала и в конце экспозиции. Установлено, что до начала экспозиции активность НТО в почвенном дистилляте была

ниже пределов обнаружения используемой аппаратуры (0,07 Бк/л), а в конце составила всего 450 Бк/л, что существенно мало в сравнении с активностью НТО в атмосферной влаге (рис. 1). Таким образом, корневым поступлением радионуклида из почвенного раствора можно пренебречь, так как основным источником трития для *Helianthus Annuus* в данном случае являлась атмосферная влага.

Заключение

На основании проведённых исследований аэрального поглощения трития на примере культуры *Helianthus Annuus* в естественных условиях СИП можно сделать вывод о том, что удельная активность ТСВ и ОСТ тесно связана с объёмной активностью НТО в воздухе.

Количественная оценка полученных результатов показала, что скорость образования ОСТ в листьях при аэральном поглощении НТО, вероятно, связана с возрастом листовой пластины, который влияет на интенсивность процессов фотосинтеза и дыхания, определяющих, в свою очередь, инкорпорирование трития. Установлено, что на характер распределения ТСВ и ОСТ в растении может оказывать влияние путь поступления НТО.

Полученные результаты можно использовать при проведении биологического мониторинга тритиевого загрязнения. В качестве индикатора воздушного загрязнения растительного покрова будет являться характер распределения трития в растениях, а также значения коэффициента R.

Литература

1. **Ляхова О.Н.** Исследование уровня и характера распределения трития в воздушной среде на территории СИП: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Обнинск, 2013. 25 с.
2. **Okada S., Momoshima N.** Overview of tritium: characteristics, sources and problems //Health Phys. 1993. V. 65, N 6. P. 595-609.
3. **Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.** Выявление основных источников поступления трития в атмосферный воздух и оценка уровня загрязнения тритием воздушной среды горного массива Дегелен //Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2010. Т. 3, № 14. С. 73-82.
4. **Murphy C.E.Jr.** The transport, dispersion and cycling of tritium in the environment. Aiken: Savannah River Laboratory, 1990. 70 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1212904/m1/5/> (дата обращения 09.01.2020).
5. **Boyer C., Vichot L., Fromm M., Losset Y., Tatin-Froux F., Guetat P., Badot P.M.** Tritium in plants: a review of current knowledge //Environ. Exp. Bot. 2009. V. 67, N 1. P. 34-51. DOI: 10.1016/j.envexbot.2009.06.008.
6. **Garland J.A., Ameen M.** Incorporation of tritium in grain plants //Health Phys. 1979. V 36, N 1. P. 35-38.
7. **Diabate S., Strack S.** Organically bound tritium //Health Phys. 1993. V. 65, N 6. P. 698-712.
8. UNSCEAR 2016 Report. Annex C. Biological effects of selected internal emitters – Tritium. New York, USA: United Nations, 2017. P. 241-359.
9. **Synzynys B.I., Momot O.A., Mirzeabasov O.A., Zemnova A.V., Lyapunova E.R., Glushkov Yu.M., Oudalova A.A.** Radiological problems of tritium //XIII International Youth Scientific and Practical Conference "FUTURE OF ATOMIC ENERGY – AtomFuture 2017". Obninsk, 2018, pp. 249-260. DOI: 10.18502/keg.v3i3.1624.
10. **Strack S., Diabat S., Muller J., Raskob W.** Organically bound tritium formation and translocation in crop plants, modelling and experimental results //Fusion Techn. 1995. V. 28. P. 951-956.
11. **Barry P.J., Watkins B.M., Belot Y.** Intercomparison of model predictions of tritium concentrations in soil and foods following acute airborne HTO exposure //J. Environ. Radioactivity. 1999. V. 42. P. 191-207.
12. **Hamby D.M., Bauer L.R.** The vegetation-to-air concentration ratio in a specific activity atmospheric tritium model //Health Phys. 1994. V. 66, N 3. P. 339-342.
13. **Atarashi-Andoh M., Amano H., Ichimasa M., Ichimasa Y.** Conversion rate of HTO to OBT in plants //Fusion Sci. Techn. 2002. V. 41, N 3. P. 427-431.
14. **Shen H., Yao R.** Study of ratio of tritium concentration in plants water to tritium concentration in air moisture for chronic atmospheric release of tritium //Energy Procedia. 2011. V. 5. P. 2421-2425. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.03.416.
15. **Kim S.B., Lee M.H., Choi G.S.** Investigation into tritium behavior in Chinese cabbage and rice after a short-term exposure of HTO //J. Korean Ass. Radiat. Prot. 1998. V. 23, N 2. P. 75-82.
16. **Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В., Зарембо В.П.** Инновационный патент РК № 29721. Установка для извлечения воды из образцов //Электронный бюллетень. Астана, 2015. бюл. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://kzpatents.com/4-ip29721-ustrojstvo-dlya-izvlecheniya-vody-iz-obrazcov.html> (дата обращения 25.12.2019).
17. Качество воды. Определение объёмной активности трития. Метод подсчёта сцинтилляций в жидкой среде. Международный стандарт ISO 9698:2010. Астана: «КазИнСт», 2010. 32 с.
18. **Якушкина Н.И., Бахтина Е.Ю.** Физиология растений: Учебник. М.: ВЛАДОС, 2004. 484 с.
19. **Polivkina Y.N., Larionova N.V., Lyakhova O.N., Lukashenko S.N.** Experimental studies of specifics of ³H transport in plant by root uptake //Book of abstracts and program of 4th International Conference on Environmental Radioactivity: Radionuclides as Tracers of Environmental Processes. 29 May – 2 June 2017. Vilnius, 2017. P. 237.

Assessment of tritium uptake by *Helianthus Annuus* culture continuously exposed to HTO at the Semipalatinsk test site

Polivkina Ye.N., Larionova N.V., Lyahova O.N.

Institute of Radiation Safety and Ecology of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

A quantitative assessment of chronic aerial uptake of tritium in the form of HTO by plants under natural conditions of Semipalatinsk test site (former «Degelen» test site) on the example of sunflower culture (*Helianthus Annuus*) is given. During the long-term exposure of *Helianthus Annuus*, a close positive correlation was established between the values of the specific activity of tissue free water tritium (TFWT) and the volumetric activity of HTO in the air, as well as between the values of the specific activity of organically bound tritium (OBT) and TFWT (the values of Spearman's correlation coefficients were 0.77 and 0.79 respectively). It was found that in chronic tritium air pollution, the values of factor R during the *Helianthus Annuus* vegetation range from 0.67 to 0.15 with an average value of 0.19. The values of the rate of OBT formation in the leaves of *Helianthus Annuus* during the exposure were obtained. The rate of formation of tritiated organic matter varied in the range from 0.21 to 0.68 % h⁻¹. The translocation index (TLI) for *Helianthus Annuus* culture at the end of the exposition was 27.4%. Uneven distribution of TFWT and OBT in the organs of *Helianthus Annuus* during prolonged aerial absorption of HTO was noted. So, the maximum values of specific activity of TFWT and OBT are established in the above-ground part, especially in leaves. The obtained quantitative parameters and dependences can be used as indicators for biological monitoring of aerial tritium pollution.

Key words: Semipalatinsk test site, tritium oxide, *Helianthus Annuus*, tissue free water tritium (TFWT), organically bound tritium (OBT), air uptake, incorporation, conversion rate of OBT formation, translocation, distribution.

References

1. **Lyahova O.N.** Investigation of the level and nature of tritium distribution in the air on the territory of the STS. Cand. biol. ref. diss. Obninsk, 2013. 25 p. (In Russian).
2. **Okada S., Momoshima N.** Overview of tritium: characteristics, sources, and problems. *Health Phys.*, 1993, vol. 65, no. 6, pp. 595-609.
3. **Lyahova O.N., Lukashenko S.N., Aydarkhanov A.O.** Identification of the main sources of tritium entering the air and assessment of the level of tritium pollution in the Degelen mountain range. *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii – Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology*, 2010, vol. 3, no. 14, pp. 73-82. (In Russian).
4. **Murphy C.E.Jr.** The transport, dispersion, and cycling of tritium in the environment. Aiken, Savannah River Laboratory, 1990. 70 p. Available at: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1212904/m1/5/> (Accessed 09.01.2020).
5. **Boyer C., Vichot L., Fromm M., Losset Y., Tatin-Froux F., Guetat P., Badot P.M.** Tritium in plants: a review of current knowledge. *Environ. Exp. Bot.*, 2009, vol. 67, no. 1, pp. 34-51. DOI: 10.1016/j.envexbot.2009.06.008.
6. **Garland J.A., Ameen M.** Incorporation of tritium in grain plants. *Health Phys.*, 1979, vol. 36, no. 1, pp. 35-38.
7. **Diabate S., Strack S.** Organically bound tritium. *Health Phys.*, 1993, vol. 65, no. 6, pp. 698-712.
8. **UNSCEAR 2016 Report. Annex C. Biological effects of selected internal emitters – Tritium.** New York, USA, United Nations, 2017, pp. 241-359.

Polivkina Ye.N.* – Head of Group, C. Sc., Biol.; **Larionova N.V.** – Scientific Secretary, C. Sc., Biol.; **Lyahova O.N.** – Head of Dep., C. Sc., Biol. IRSE NNC RK.

*Contacts: 2b Beibit-Atom Str., Kurchatov, East Kazakhstan Region, Kazakhstan, 071100. Tel.: +7(72251)32720(162); e-mail: polivkina@nnc.kz.

9. **Synzynys B.I., Momot O.A., Mirzeabasov O.A., Zemnova A.V., Lyapunova E.R., Glushkov Yu.M., Oudalova A.A.** Radiological problems of tritium. XIII International Youth Scientific and Practical Conference "FUTURE OF ATOMIC ENERGY – AtomFuture 2017", Obninsk, 2018, pp. 249-260. DOI: 10.18502/keg.v3i3.1624.
10. **Strack S., Diabat S., Muller J., Raskob W.** Organically bound tritium formation and translocation in crop plants, modelling and experimental results. *Fusion Techn.*, 1995, vol. 28, pp. 951-956.
11. **Barry P.J., Watkins B.M., Belot Y.** Intercomparison of model predictions of tritium concentrations in soil and foods following acute airborne HTO exposure. *J. Environ. Radioactivity*, 1999, vol. 42, pp. 191-207.
12. **Hamby D.M., Bauer L.R.** The vegetation-to-air concentration ratio in a specific activity atmospheric tritium model. *Health Phys.*, 1994, vol. 66, no. 3, pp. 339-342.
13. **Atarashi-Andoh M., Amano H., Ichimasa M., Ichimasa Y.** Conversion rate of HTO to OBT in plants. *Fusion Sci. Techn.*, 2002, vol. 41, no. 3, pp. 427-431.
14. **Shen H., Yao R.** Study of ratio of tritium concentration in plants water to tritium concentration in air moisture for chronic atmospheric release of tritium. *Energy Procedia*, 2011, vol. 5, pp. 2421-2425. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.03.416.
15. **Kim S.-B., Lee M.-H., Choi G.-S.** Investigation into tritium behavior in Chinese cabbage and rice after a short-term exposure of HTO. *J. Korean Ass. Radiat. Prot.*, 1998, vol. 23, no. 2, pp. 75-82.
16. **Lukashenko S.N., Larionova N.V., Zarembo V.P.** Innovative patent of RK N 29721. Installation for extracting water from the sample. *Elektronnyy byulleten' – Electronic Resource*, Astana, 2015, no. 4. Available at: <http://kzpatents.com/4-ip29721-ustrojjstvo-dlya-izvlecheniya-vody-iz-obrazcov.html> (Accessed 25.12.2019). (In Russian).
17. Kachestvo vody. Opredeleniye ob"yemnoy aktivnosti tritiya. Metod podscheta stsintillyatsiy v zhidkoy srede [Water quality. Determination of tritium activity concentration. Liquid scintillations counting method]. Mezhdunarodnyy standart ISO 9698:2010 – International standard ISO 9698: 2010. Astana, "KazInSt" Publ., 2010. 32 p.
18. **Yakushkina N.I., Bakhtina E.Yu.** *Fiziologiya rasteniy – Plant physiology*. Moscow, VLADOS Publ., 2004. 484 p.
19. **Polivkina Y.N., Larionova N.V., Lyakhova O.N., Lukashenko S.N.** Experimental studies of specifics of ^3H transport in plant by root uptake. *Book of abstracts and program of 4th International Conference on Environmental Radioactivity: Radionuclides as Tracers of Environmental Processes*. 29 May – 2 June 2017. Vilnius, 2017, pp. 237.