

СИНТЕЗ И ТРАНСМУТАЦИЯ СТАБИЛЬНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

¹Корнилова А.А., ²Высоцкий В.И.

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, <http://msu.ru>
Москва 119991, Российская Федерация

²Киевский национальный университет им. Т. Шевченко, <http://www.univ.kiev.ua>
Киев 01601, Украина

Поступила 13.06.2017

В работе рассмотрена предыстория, теоретические предпосылки и результаты экспериментов по ядерной трансмутации стабильных и радиоактивных изотопов в растущих биологических объектах. Показано, что такие фундаментальные преобразования основаны на ядерно-физических процессах, протекание которых стимулировано каталитическим влиянием нестационарных пространственных неоднородностей в объеме растущих живых объектов. Данный процесс может быть использован как для ускоренной утилизации стабильных и радиоактивных ядер, так и для производства редких изотопов. Исследованы условия оптимизации процесса деактивации. Обнаружено, что в наиболее оптимальном случае темп уменьшения активности в водных растворах радионуклидов ускоряется в 35...200 раз по отношению к естественному распаду. Рассмотрены физические и биологические причины этого процесса.

Ключевые слова: изотопы, микробиологические системы, низкоэнергетические ядерные реакции, деактивация радионуклидов

PACS: 25.60.PJ; 25.70.-Z; 28.41.KW; 28.52.-S; 28.60.+S; 82.90.+J; 87.17.-D; 87.17.EE; 87.80.-Y; 89.60.-K

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ (52)
 2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ТРАНСМУТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ (53)
 3. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СИНТЕЗУ ИЗОТОПОВ В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (54)
 4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ТРАНСМУТАЦИИ И ДЕАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (56)
 - 4.1. Эксперименты по утилизации реакторного изотопа ¹⁴⁰Ba (58)
 - 4.2. Эксперименты по утилизации долгоживущего реакторного изотопа ¹³⁷Cs в растущих ассоциациях микробиологических структур (60)
 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (62)
- ЛИТЕРАТУРА (63)

1. ВВЕДЕНИЕ

Гипотеза о возможности ядерной трансмутации химических элементов и их изотопов в биологических системах является одной из самых загадочных в истории науки, она часто

обсуждалась в последние десятилетия и имеет свою историю и мифологию, собственных сторонников и критиков. Эта проблема возникла еще в «доядерный период» и начальные этапы ее возникновения тесно связано с алхимией. Краткая предыстория этого феномена представлена в [1, 2].

Среди множества предшественников серия работ Л. Керврана [3-6] занимает особое место в хронологии исследований по трансмутации химических элементов и изотопов в биологических объектах. Фактически он был первым ученым «ядерной эпохи», который проводил систематизированное исследование процессов трансмутации химических элементов в биологических объектах. В частности, Кервран исследовал реакцию трансмутации калия в кальций $^{39}\text{K} + ^1\text{p} \rightarrow ^{40}\text{Ca}$ в биологической системе, содержащей водород. Он также исследовал многие другие реакции трансмутации изотопов, среди которых следует особо отметить те, которые приводят к образованию жизненно необходимых микро- и макроэлементов Ca, K,

Mg, P. Многие эксперименты Керврана являются очень убедительными, если рассматривать их без анализа на микроуровне.

В то же время научные представления Керврана были достаточно далеки от требований ядерной физики. Например, он допускал обратимость ядерной реакции $^{39}K + ^1p \leftrightarrow ^{40}Ca$ и возможность протекания реакций распада $Cl - O \rightarrow F, P - Li \rightarrow Mg, Ca - O \rightarrow Mg, Fe - H \rightarrow Mn$, которые несовместимы с законами сохранения энергии, поскольку для их реализации необходима гигантская энергия $Q \approx 5...20$ МэВ, источники которой отсутствуют в биологической среде. Кервран в своих работах трактовал подобные процессы, как специфическую «биологическую трансмутацию», утверждая, что это совершенно особый процесс, стимулированный неизвестным ферментом. Такая трактовка (связать непонятные процессы с еще одним неизвестным ферментом) достаточно распространена в биологии, но мало что дает для понимания и использования этих процессов. По нашему мнению, нет оснований рассматривать процесс превращения изотопов в растущих биологических системах как «биологическую трансмутацию» и отделять его от общей физической концепции трансмутации, как процесса превращения изотопов, полностью «управляемого» законами физики и стимулированного некоторыми структурными особенностями биологической системы. К сожалению, Кервран не проводил ни в одной из своих экспериментальных работ анализ соотношения изотопов в начальном и конечном состояниях. Это основная ошибка экспериментов Керврана, потому что ядерная физика – это наука об изотопных (не элементных!) трансмутациях – иначе говоря, «ядерная физика это химия изотопов»!

2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ТРАНСМУТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ

Конкретные биофизические аспекты процесса трансмутации изотопов в биологических системах были подробно рассмотрены в монографиях [7, 8]. Можно отметить только некоторые из них. Эксперименты по изучению трансмутации изотопов в растущих биологических системах должны проводиться с учетом специфики проблемы и следующих требований:

- синтезируемый изотоп должен входить в число жизненно необходимых биосистеме микро- и макроэлементов или их биохимических аналогов, а среда, в которой происходит рост, не должна содержать этих элементов, но должна содержать те изотопы, из которых данные элементы могут образоваться без необратимого получения дополнительной энергии;
- для того, чтобы эксперименты проводились за достаточно короткое время, скорость роста исследуемого биологического объекта должна быть большой, а образуемый изотоп должен быть адаптирован к этому объекту и должен накапливаться в количестве, достаточном для надежной регистрации;
- живой объект должен быть достаточно устойчивым к действию продуктов жизнедеятельности, чтобы избежать явления самоинтоксикации;
- при работе с радиоактивными изотопами живой объект должен быть достаточно устойчив к действию сильных радиационных полей, образованных утилизируемыми изотопами;
- желательна (а для стабильных изотопов – обязательна) возможность проведения анализа изотопного состава биологического объекта до и после процесса трансмутации;
- должны быть выполнены требования, связанные с экологией и с проблемами гуманизма (речь идет о живых объектах).

Лучшим объектом для таких экспериментов являются микробиологические культуры, характеристики которых с максимальной степенью удовлетворяют перечисленным требованиям. Как правило, «чистые» микробиологические культуры могут эффективно расти только при определенных условиях окружающей среды (кислотность, температура, наличие токсинов, радиационный фон и др.), а при нарушении этих условий рост резко тормозится или становится невозможным. Типичная доза, которую выдерживают обычные микробиологические культуры, соответствует уровню около 30 Крад, а параметр рН не ниже 3.

Более эффективными являются синтрофные микробиологические ассоциации, включающие множества разных штаммов, которые находятся в

симбиотическом состоянии. Эти микроорганизмы не находятся в виде простой механической смеси. Они сосуществуют в синтрофной ассоциации в таком состоянии совместного симбиоза, когда, фактически, образуют единый макроорганизм (хотя и с отдельными системами внутреннего метаболизма). В его объеме каждый член и каждая физиологическая группа сообщества максимально адаптированы к совместной жизнедеятельности и находятся в состоянии коллективной взаимопомощи и взаимозащиты. Эта система обладает высокой степенью адаптации к разным вариациям и "агрессивным" проявлениям внешней среды.

Очевидно, что такая система оказывается максимально адаптированной к изменяющимся агрессивным условиям, что соответствует их росту, в том числе, в условиях действия радиации. Эффективность такой "коллективной защиты" исключительно высока. Например, в кислой среде с $\text{pH} = 2$ (достаточно концентрированная соляная кислота) никакие "чистые" штаммы не могут развиваться. В то же время синтрофная ассоциация после некоторого переходного периода прекрасно растет и развивается в такой среде. То же относится к большим дозам радиации. Приблизительно можно считать, что временной интервал адаптации соответствует смене 5-10 поколений, что позволяет оценить этот интервал периодом от 10 часов до нескольких дней.

3. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СИНТЕЗУ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Мы начали изучение ядерных процессов в биологических системах в начале 90-х годов. В основу предполагаемых экспериментов был положен принцип «искать потерянное под фонарем» – что соответствует правилу: если вы что-то потеряли в темноте, то искать его следует под фонарем, поскольку в других (темных) местах вы точно ничего не найдете. Этот принцип давал приоритет надежному методу регистрации продуктов потенциальных ядерных реакций, дополненный возможностью накопления этих продуктов. Исходя из нашего понимания этих процессов, мы исследовали реальность трансмутации стабильных изотопов на основе базовой реакции $^{55}\text{Mn} + d = ^{57}\text{Fe}$ (см. патент [9] и

статьи [10-11]), ведущей к образованию редкого мессбауэровского изотопа железа ^{57}Fe в среде на основе тяжелой воды, где наряду с необходимыми для роста микробиологических культур микро- и макроэлементами присутствовала соль марганца, но полностью (или при минимальной примеси) отсутствовало железо. Преимущество такой реакции состоит в том, что итоговый продукт можно идентифицировать как «стандартной», так и мессбауэровской масс-спектрометрией. Состав питательной среды представлен в **Таблице 1**.

Начальные эксперименты проводились на основе чистых микробиологических культур *E.Coli* и *Saccharomyces cerevisiae T-8*. Эта реакция была успешно реализована и идентифицирована с помощью мессбауэровского и время-пролетного спектрометров (**Рис. 1**).

Типичная длительность этих экспериментов равнялась 2...3 суток, после чего рост прекращался из-за изменения кислотности и самоотравления культур продуктами метаболизма.

Экспериментальная эффективность этих реакций соответствовала величине $\lambda = \Delta N(^{57}\text{Fe}) / N(^{55}\text{Mn})\Delta t \approx 10^{-8}$ синтезируемых ядер ^{57}Fe в расчете на одно ядро ^{55}Mn за одну секунду.

Далее была реализована и исследована еще одна реакция $^{23}\text{Na} + ^{31}\text{P} = ^{54}\text{Fe}$ с образованием другого редкого изотопа железа ^{54}Fe . В экспериментах по трансмутации присутствовала соль K_2HPO_4 , а в контрольных экспериментах она отсутствовала. Соответствующие результаты масс-спектрометрического анализа представлены на Рис.1. Эффективность этой реакции была примерно такой же, как в случае синтеза изотопа ^{57}Fe .

Таблица 1.

Питательная среда для трансмутации марганца в железо.

Компоненты	Концентрация в среде (%)	Относительная примесь железа (не более), %	Абсолютная примесь железа (не более), г
Сахароза	3	10^{-4}	$3 \cdot 10^{-7}$
$(\text{NH}_4)_2$ тартрат	1	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-7}$
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.25	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-8}$
$\text{CaHPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.008	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-8}$
K_3PO_4	0.5	$5 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-7}$
$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.01	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-9}$
D_2O (эксперимент) H_2O (контроль)	100 (10мл)	10^{-7}	10^{-8}

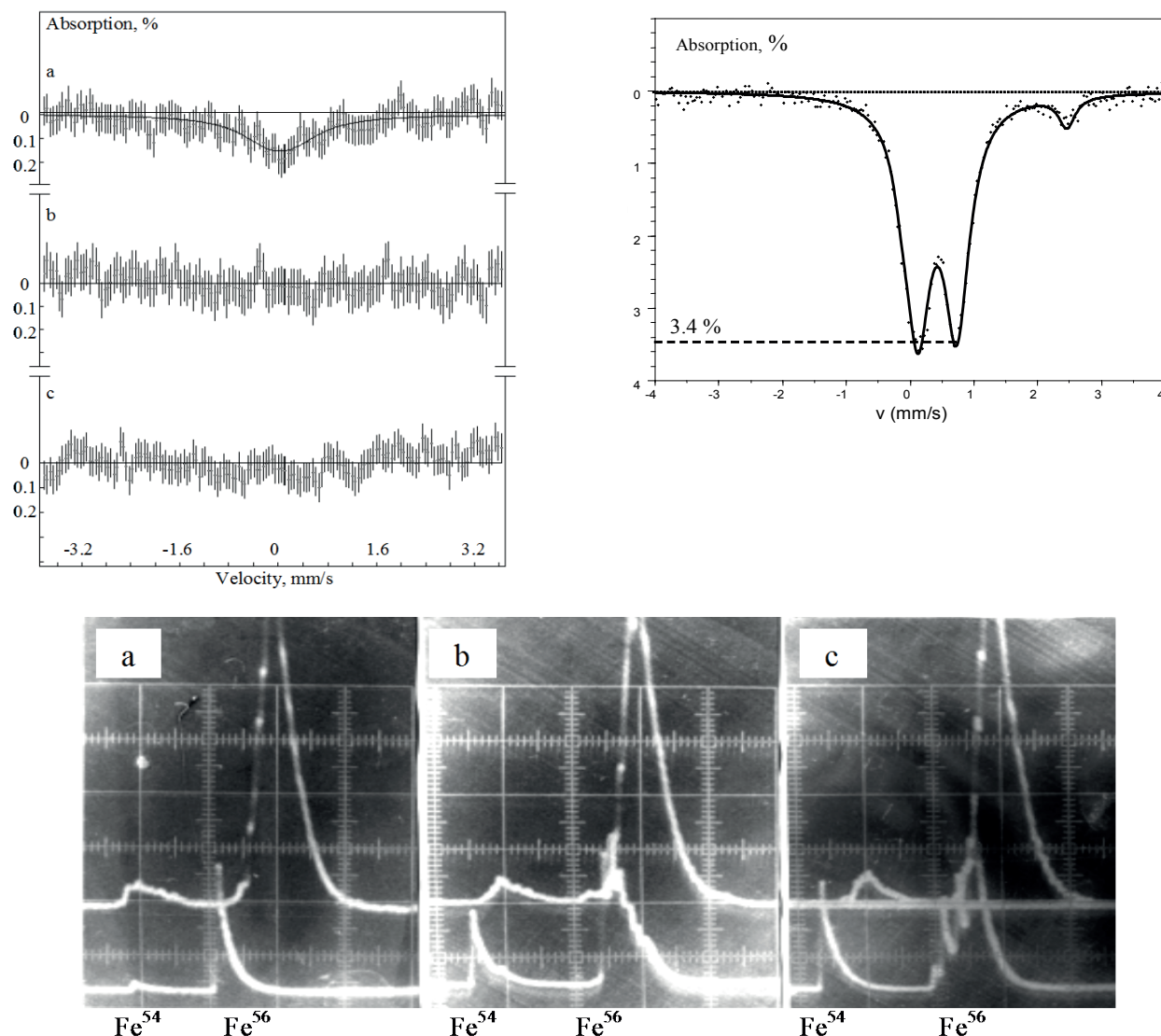


Рис. 1. Вверху слева - мессбауэровский спектр высушенной микробиологической культуры *Saccharomyces cerevisiae* T-8, выросшей в жидкой питательной среде на основе: а) тяжелой воды D₂O при наличии изотопа ⁵⁵Mn; б) легкой воды H₂O при наличии ⁵⁵Mn; в) тяжелой воды D₂O в отсутствие изотопа ⁵⁵Mn. Вверху справа - мессбауэровский спектр МСТ гранул, выросших в питательной среде на основе тяжелой воды D₂O при наличии изотопа ⁵⁵Mn и отсутствии железа (или минимальном его количестве в качестве примеси).

Внизу – фрагмент спектра масс той же культуры, выросшей в питательной среде на основе H₂O при наличии ²³Na и ³¹P (b), (c) и отсутствии ³¹P (a). Верхние графики на каждом из фото внизу соответствуют контрольному спектру масс природного железа, полученному в той же серии, что соответствующие нижние графики.

Эти эксперименты были далее оптимизированы за счет использования микробиологических синтрофных ассоциаций МСТ ("microbial catalyst-transmutator"). Основой МСТ гранул является синтрофная ассоциация (сверхассоциация) многих тысяч различных типов микроорганизмов, принадлежащих к разным физиологическим группам, которые представляют разные группы микробного метаболизма и характеризуются различными механизмами микробной аккумуляции.

На том же Рис. 1 представлен мессбауэровский спектр высушенных гранул МСТ, которые росли в течение 30-50 суток в среде, аналогичной случаю чистых культур. Видно, что эффективность трансмутации в такой системе намного выше.

Оценки, проведенные на основе анализа этих образцов показывают, что в случае использования синтрофных ассоциаций эффективность трансмутации достигает величины $\lambda = \Delta N(^{57}\text{Fe}) / N(^{55}\text{Mn})\Delta t \approx 10^{-6}$ синтезируемых ядер ⁵⁷Fe в расчете на одно ядро ⁵⁵Mn за одну секунду.

Последующие эксперименты были направлены на изучение возможности трансмутации не только легких и средних по массе изотопов, но и тяжелых ядер. В качестве объекта исследований была выбрана реакция трансмутации стабильного изотопа цезия в изотоп бария $^{133}\text{Cs} + p = ^{134}\text{Ba}$ [12]. Целесообразность таких исследований была обусловлена последующей возможностью трансмутации и деактивации радиоактивного изотопа цезия ^{137}Cs .

В процессе исследований использовались разные типы синтрофных ассоциаций, адаптированные к аэробным или анаэробным условиям. Питательная среда на основе легкой воды содержала глюкозу, растворенные базовые соли основных макро- и микроэлементов (в том числе NH_4NO_3 , CaSO_4 , MgSO_4), а также стабильный цезий в виде соли Cs_2CO_3 , но не содержала калия, жизненно необходимого для роста культур, входящих в эти ассоциации. Барий является биохимическим аналогом калия и в его отсутствие он может быть использован для роста микробиологических культур. В процессе роста из экспериментальных кювет периодически брались пробы, которые использовались для изучения динамики процесса трансмутации. Результаты этих исследований представлены на **рис. 2**.

Из полученных данных следует, что средняя эффективность трансмутации достигала величины $\lambda = N(^{134}\text{Ba})/N(^{133}\text{Cs})\Delta t \approx 10^{-6}$ синтезируемых ядер ^{134}Ba в расчете на одно ядро ^{133}Cs за секунду.

При этом общее количество изотопа ^{133}Cs уменьшилось от $M_{\text{Cs-133}} \approx 13$ мг/на ячейку до $M_{\text{Cs-133}} \approx 6.5$ мг/на ячейку за 192 часа.

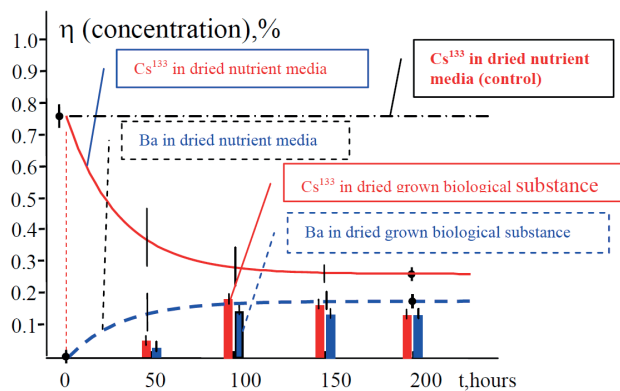


Рис. 2. Зависимость от времени трансмутации стабильного изотопа ^{133}Cs в изотоп ^{134}Ba в растущей синтрофной ассоциации и в составе питательной среды.

4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ТРАНСМУТАЦИИ И ДЕАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В настоящее время задача безопасного хранения, утилизации и деактивации радиоактивных отходов АЭС является одним из основных факторов всей ядерной энергетики. Актуальность этой проблемы следует из простых цифр. В мире в настоящее время накоплено около 400 тыс. тонн отработанных тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), более 1 млн. тонн отходов средней активности, такое же количество высокоактивной воды и более 10 млн. тонн отходов низкой активности. Для примера – на территории ядерного хранилища Хэнфорд в США имеется 177 могильников для жидких высокоактивных отходов общим объёмом 204 тыс. м³. Согласно оценкам, проведенным в 2013 году, около 2% этих жидких отходов уже попали в окружающую среду вследствие неконтролируемых утечек из могильников.

Каждый год эти цифры увеличивались на 5-7%, а после аварии на АЭС в Фокусиме «запасы» высокоактивной воды возрастают еще быстрее.

По большому счету проблема утилизации пока никем не решена, а для отработанных ТВЭЛов безальтернативным является решение о их складировании на неопределенно длительный срок хранения после первичной переработки.

Все новейшие программы по созданию систем утилизации на основе метода «выжигания» отработанного топлива интенсивными потоками нейтронов являются предельно затратными (каждая по несколько десятков миллиардов долларов) [13-17]. Анализ показывает, что при этом будет образовываться большое количество новых радионуклидов. Эта проблема хорошо известна в задаче об управляемом термоядерном синтезе как «проблема первой стенки».

Существует еще одно направление исследований, связанное с возможностью протекания ядерных превращений при нормальных (не экстремальных) условиях в веществе, находящемся при, например, комнатной температуре. В 90-х годах 20 столетия это направление называлось "холодный ядерный синтез". В настоящее время более употребляемым и более близким к сути процессов является термин

LENR ("ядерные реакции при низкой энергии"). Необходимо отметить крайне неоднозначное отношение ученых к таким процессам.

Большинство "классических" специалистов по ядерной физике считает, что вероятность ядерных превращений, если их рассматривать методом прямой аппроксимации физики парных ядерных реакций из области высоких энергий к низким энергиям, очень мала, и такие эффекты априори не могут иметь практического значения.

Есть и другая точка зрения. Она активно развивается последнее время и базируется на ряде фундаментальных положений квантовой механики. Суть ее состоит в том, что прямая аппроксимация неправомерна, поскольку многие процессы ядерной физики при малой энергии являются коллективными (не парными), подвержены влиянию окружающей среды и могут протекать с достаточно большой вероятностью, что делает их вполне пригодными для практического применения. Эти результаты, в частности, прямо следуют из специфики поведения частицы, находящейся в нестационарной потенциальной яме (в частности – в нестационарном осцилляторе). В работах последних лет [18-20] было показано, что один из эффективных методов очень существенного увеличения прозрачности потенциального барьера при низкой энергии частиц связан с использованием когерентных коррелированных состояний (ККС) частиц, взаимодействующих с атомами (ядрами), формирующими этот барьер. Наиболее характерным свойством ККС является возможность формирования управляемых гигантских флуктуаций энергии частицы, амплитуда которых может в тысячи и миллионы раз превосходить среднюю (тепловую) энергию частицы и достигать величин $\delta E \approx 10-50$ кэВ. В концентрированном виде это отражается в видоизмененных соотношениях неопределенностей, называемых соотношениями неопределенностей Шредингера-Робертсона $\delta r \delta q \geq \hbar / 2\sqrt{1-r_{pq}^2}$, $\delta E \delta t \geq \hbar / 2\sqrt{1-r_{Et}^2}$, в которых произведение флуктуаций соответствующих динамических переменных (координата, импульс, энергия, время, ...) определяется соответствующими коэффициентами

корреляции, величина которых ограничена интервалом $0 \leq r_{pq}^2 \leq 1$, $0 \leq r_{Et}^2 \leq 1, \dots$ [18-20].

В стационарном состоянии в любой системе $r_{pq}^2, r_{Et}^2 \ll 1$ и эти соотношения принимают вид хорошо известных соотношений Гейзенберга. Иная ситуация в динамических системах (в том числе – в живом объекте). Хорошо известно, что фронт роста любого биологического объекта никогда не бывает идеально однородным – всегда образуются локальные неоднородности (фактически это потенциальные наноямы), которые в процессе роста нивелируются и устраняются. Каждая из таких наноям является нестационарным осциллятором для частиц, которые в ней локализованы. В процессе динамического изменения параметров этих ям может формироваться ККС для этих частиц с большим значением коэффициента корреляции $r_{pq}^2, r_{Et}^2 \rightarrow 1$ и, соответственно, с неограниченно возрастающими флуктуациями импульса и энергии, что достаточно для прохождения через потенциальный барьер [18-20]. С этой точки зрения зона фронта роста любого биологического объекта представляет совокупность потенциальным нанореакторов, в каждом из которых возможна реакция с участием этих частиц, а также ядер атомов, образующих «стенки» динамической наноямы. Аналогичные процессы могут протекать в пространстве между клетками в процессе деления, в митохондриях, на входе в биологические мембраны и т.д.

Правильная интерпретация и возможное использование рассмотренных ниже экспериментов могут изменить взгляд на взаимосвязь живой природы и существующего на Земле разнообразия химических элементов и изотопов. Вопрос касается возможности протекания ядерных превращений в биологических системах при "нереакторных" условиях (комнатная температура, нормальное (атмосферное) давление, отсутствие нейтронов и заряженных частиц высокой энергии). Эти вопросы, в частности, рассмотрены и формализованы в патенте [21].

Отметим, что с точки зрения возможности осуществления каталитического воздействия на ядерные превращения растущая биологическая среда ничем не хуже (а, скорее всего, лучше), чем, например, обычный кристалл, который

чаще всего используется в LENR экспериментах. Лучше она в том смысле, что в отличие от статического кристалла растущая биологическая система является динамическим объектом, что позволяет рассмотреть каждый ее элемент как микроскопическую систему нестационарных потенциальных ям и барьеров.

4.1. Эксперименты по утилизации реакторного изотопа ^{140}Ba

Реализация трансмутации тяжелых стабильных изотопов привела к постановке вопроса о трансмутации радиоактивных ядер. Первая серия экспериментов была посвящена возможности влияния на активность проб реакторной воды, извлекаемой из первого контура водо-водяного реактора, который находится в Киеве в Институте ядерных исследований.

Исследуемая вода имела активность около 10^{-4} Кюри/л и содержала ряд высокоактивных нестабильных изотопов (в частности, ^{24}Na , ^{40}K , ^{60}Co , ^{91}Sr , ^{131}I , ^{135}Xe , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{239}Np). Спектр гамма-излучения реакторных изотопов, содержащихся в этой воде, представлен на **рис. 3**. Одинаковые по объему пробы воды (около 5 мл) помещались в одинаковые стеклянные тонкостенные закрываемые кюветы объемом около 10 мл. В часть кювет с активной водой помещалось одинаковое по массе количество *МСТ* гранул.

Остальные кюветы с водой (но без гранул) были контрольными. Суть исследований состояла в периодическом (через 5 дней)

исследовании гамма-спектра активной воды. Для устранения влияния фактора расстояния (он может быть связан с небольшим увеличением объема смеси воды и гранул при росте микробиологических культур или их пространственным перераспределением) использовался амплитудный германиевый детектор с большим размером кристалла германия, на котором исследуемые кюветы располагались по очереди точно в центре.

На **рис. 3** представлены усредненные результаты зависимости активности изотопов ^{140}La и ^{60}Co в кюветах с *МСТ* гранулами (Q_{cultures}) и в контрольных кюветах (Q_{control}) от времени после начала экспериментов.

Из полученных данных следует, что активность долгоживущего изотопа ^{60}Co в течение всего времени измерений (около 40 дней) остается неизменной (как в контрольных кюветах, так и в кюветах с *МСТ* гранулами). Это свидетельствует о том, что систематические методические ошибки (изменение объема жидкости, изменение положения кюветы относительно центра кристалла детектора и др.) не оказывали существенного влияния на результат.

В то же время был обнаружен принципиально разный закон уменьшения активности изотопа ^{140}La в обоих типах кювет. Этот изотоп имеет сравнительно небольшое время жизни ($\tau_{\text{La}} = 40.3$ часов) и является дочерним нестабильным изотопом более

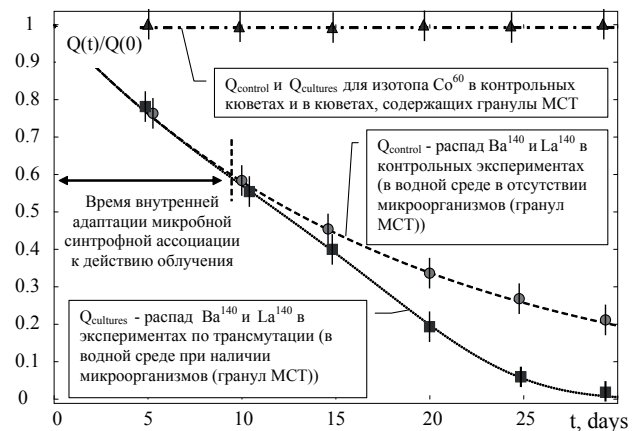
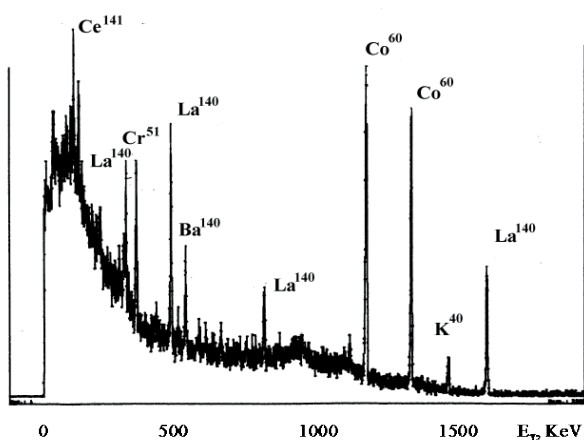


Рис. 3. Слева – спектр гамма-излучения дистиллированной воды из первого контура водо-водяного реактора. Данные соответствуют десятому дню после отбора пробы воды из активной зоны реактора. Справа - зависимость активности $Q(t)$ реакторных изотопов ^{140}Ba , ^{140}La и ^{60}Co в пробах реакторной воды в эксперименте по трансмутации (активность Q_{cultures} в кюветах в присутствии метаболически активных микроорганизмов) и в контрольных кюветах без микроорганизмов (активность Q_{control}).

долгоживущего изотопа ^{140}Ba , у которого время жизни равно $\tau_{\text{Ba}} = 12.7$ дней.

Начальные активности изотопов ^{140}Ba и ^{140}La (на 10-й день после отбора пробы воды из активной зоны реактора) для каждой из кювет составляла, соответственно $Q_{\text{Ba-140}} = 1.46 \cdot 10^{-7}$ кюри/л и $Q_{\text{La-140}} = 2.31 \cdot 10^{-7}$ кюри/л. Поскольку $\tau_{\text{La}} \ll \tau_{\text{Ba}}$, то наблюдаемое уменьшение активности ^{140}La отображало уменьшение активности ^{140}Ba .

Было обнаружено, что уменьшение активности ^{140}La в контрольных кюветах примерно соответствовало закону "стандартного" распада изотопа ^{140}Ba с "табличным" значением времени жизни. Примерно такой же закон уменьшения активности ^{140}La наблюдался в кюветах с гранулами до 10 дня эксперимента. Однако после этого периодические измерения показали, что скорость уменьшения активности ^{140}La (а значит и активности ^{140}Ba) эквивалентна более ускоренному распаду. Экстраполяция показала, что эффективное время жизни этого изотопа уменьшилось примерно в 2 раза по отношению к времени жизни ^{140}Ba .

Эти результаты могут быть объяснены на основе предположения о том, что изотоп ^{140}Ba мог быть преобразован в кювете с МСТ гранулами в другой, нерадиоактивный изотоп. При этом наличие начального, неизменного участка в законе распада может быть объяснено процессами адаптации микробиологической ассоциации к действию радиоактивного облучения в кювете с активной водой. Это время (около 10 дней) достаточно хорошо коррелирует с ожидаемым временем смены 10 поколений микробиологических культур.

Анализ возможных преобразований изотопов показал, что в данном случае возможна следующая реакция трансмутации радиоактивного изотопа ^{140}Ba к стабильному ядру другого типа $^{140}\text{Ba} + ^{12}\text{C} = ^{152}\text{Sm} + \Delta E$. Эта реакция является энергетически выгодной и характеризуется положительной энергией реакции

$$\Delta E = E(A_{\text{Ba}}, Z_{\text{Ba}}) + E(A_{\text{C}}, Z_{\text{C}}) - E(A_{\text{Sm}}, Z_{\text{Sm}}) = 8.5 \text{ MeV}.$$

Необходимый для этой реакции углерод в избытке содержится в объеме МСТ гранул.

Возникает вопрос о биохимических аспектах целесообразности протекания именно этой реакции в живой системе. Для предположительного ответа на этот вопрос следует отметить, что закон постоянства химического состава биологических объектов является одним из фундаментальных свойств живой материи. Исходя из этого обстоятельства очевидно, что согласно анализу чисто биохимических аспектов процессов ядерной трансмутации [11, 12], реакция трансмутации изотопов в биологической системе будет возможной в том случае, когда результатом реакции является изотоп, соответствующий такому химическому элементу, который либо сам входит в число жизненно необходимых химических элементов (типа H , O , C , K , Ca , N , P , Fe , ...), либо является биохимическим аналогом такого элемента. В последнем случае он должен иметь примерно тот же ионный радиус и, желательно, ту же валентность. При этом эффективность реакции будет большой только тогда, когда жизненно необходимый химический элемент или его биохимический аналог не содержится в питательной среде или содержится в малом количестве.

Простое сопоставление показывает, что ионы Sm^{2+} и Ca^{2+} являются биохимическими аналогами и имеют близкий ионный радиус в двухвалентном состоянии ($R_{\text{Sm}} \approx 1.2 \text{ \AA}$, $R_{\text{Ca}} \approx 1.06 \text{ \AA}$). Как известно, кальций входит в число жизненно необходимых элементов, а его концентрация в объеме гранул была небольшой. В этом случае можно считать, что нехватку кальция растущая микробиологическая ассоциация могла восполнять синтезом ее биохимического аналога (самария). В то же время, неизменную активность и количество ядер изотопа ^{60}Co можно объяснить тем, что в данной системе невозможна энергетически выгодная реакция трансмутации, в которой участвует ^{60}Co и продуктом которой был бы изотоп того жизненно необходимого химического элемента, который отсутствует в питательной среде. Иначе говоря, ^{60}Co может оказаться просто "не востребованным".

4.2. Эксперименты по утилизации долгоживущего реакторного изотопа ^{137}Cs в растущих ассоциациях микробиологических структур

Нетривиальные результаты, свидетельствующие об аномальном уменьшении активности изотопов ^{140}Ba и ^{140}La в экспериментах с реакторной водой в присутствии микробиологических культур, стимулировали постановку специальных экспериментов по изучению возможности утилизации долгоживущих "топливных" изотопов, образуемых при эксплуатации ядерных реакторов. Эти работы проводились с участием наших коллег В.Н. Павловича и А. Одинцова из Института ядерных исследований и Института проблем безопасности АЭС в Киеве [22]. Микробиологические гранулы МСТ были приготовлены нашим коллегой А.Б. Таширевым из Института микробиологии.

Утилизация таких изотопов представляет наибольший практический интерес. Рассмотрим эти эксперименты более детально. В исследованиях использовались одинаковые закрытые стеклянные кюветы, каждая из которых содержала по 10 мл дистиллированной воды, в которой была растворена соль, содержащая ^{137}Cs . Итоговая активность каждой из кювет была равна $\approx 2 \cdot 10^4$ bq.

Схема исследований приведена на рис. 4. Одинаковое количество МСТ гранул помещалось в 7 кюветах. В 6 кюветах к активной воде были дополнительно добавлены очищенные соли K , Ca , Na , Fe , Mg и P . Эти химические элементы входят в число жизненно необходимых для любой живой системы. Основной целью использования таких добавок был поиск путей блокирования возможных

каналов трансмутации (если в системе присутствует конкретный химический элемент из числа жизненно необходимых, то усвоение его биохимического аналога при трансмутации становится маловероятным). Кроме того, такие замены проводились с целью создания оптимального состава микроэлементов для быстрого роста микроорганизмов. Полученные ниже результаты подтверждают важность подобных замен. Две дополнительные кюветы были использованы для контроля: одна содержала активную воду и МСТ (но не содержала дополнительных солей), а другая – только активную воду.

Все кюветы были закрыты и содержались при температуре 20°C . Амплитудный спектр гамма-излучения кювет измерялся каждые 7 дней на одном и том же детекторе, в котором использовался кристалл Ge . Особое внимание уделялось ослаблению влияния погрешностей, связанных с процессом измерений. Для этой цели использовались кюветы с малой высотой, а детектор – с большим размером кристалла Ge . Кюветы при каждом измерении устанавливались в одинаковое положение в центре кристалла детектора.

Результаты изменения относительной активности изотопа ^{137}Cs представлены на рис. 4 и в таблице 2.

Из полученных данных следует, что в течение 100 дней наблюдения регистрировалось устойчивое уменьшение активности изотопа ^{137}Cs во всех кюветах, содержащих активную воду и МСТ. В контрольной кювете, содержащей только активную воду, изменение активности изотопа ^{137}Cs соответствовало стандартному спонтанному

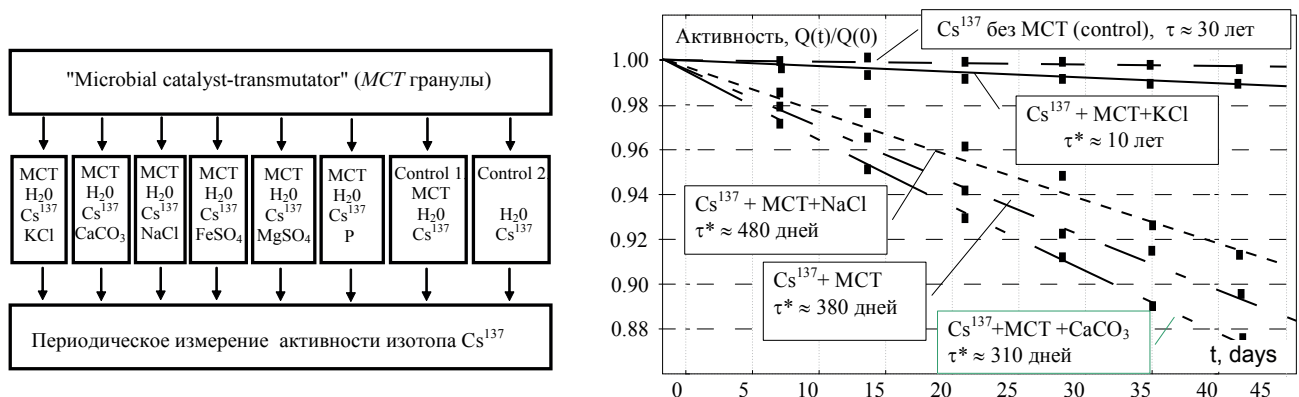


Рис. 4. Схема исследований утилизации активных изотопов при разных условиях и результаты экспериментов по ускоренной утилизации (деактивации) изотопа ^{137}Cs в "биологических ячейках" в присутствии МСТ и разных химических элементов.

Таблица 2.

Изменение активности ^{137}Cs в "оптимальной" среде (МСТ + активная вода + соль CaCO_3)

Изотоп	Энергия, keV	Начало эксперимента. N_1 , число отсчетов за 10^3 сек.	Окончание эксперимента (100 дней). N_2 , число отсчетов за 10^3 сек.	Спонтанный распад	Изменение активности
^{137}Cs	661.7	266900	216800	-0.6%	-24%

распаду с временем жизни около 30 лет. Для других исследуемых изотопов изменения были намного слабее.

Самое быстрое уменьшение активности (оно было эквивалентно уменьшению времени жизни ^{137}Cs в 35 раз до величины $\tau^* \approx 310$ дней) наблюдалось в кювете, содержащей соль кальция. Это уменьшение активности не было связано с ускоренным распадом, а являлось результатом реакции утилизации радиоактивного изотопа ^{137}Cs в стабильный изотоп другого элемента.

Анализ возможных путей трансмутации должен основываться на нескольких фундаментальных логических предпосылках:

- этот процесс должен быть энергетически выгодным, т.е. трансмутация должна характеризоваться положительной энергией реакции $\Delta E \geq 0$;
- исходя из того, что реакция должна быть в определенном смысле адаптированной к биологической системе, результатом реакции должен быть изотоп, соответствующий одному из жизненно необходимых элементов или его биохимическому аналогу;
- при прочих равных условиях исходный изотоп реакции трансмутации должен отражать (коррелировать) количественный состав среды;
- среди разных исходных изотопов, участвующих в реакции, предпочтение должно быть отдано самым легким изотопам, для которых влияние потенциальных барьеров должно быть наименьшим среди возможных.

Исходя из этих условий, можно ожидать, что утилизация ^{137}Cs связана с реакцией $^{137}\text{Cs} + ^1_0\text{p} = ^{138}\text{Ba} + \Delta E$, протекающей с участием протонов воды. Результатом реакции является стабильный изотоп ^{138}Ba . Энергия реакции является положительной и равна $\Delta E = 5.58 \text{ MeV}$.

Относительно "биологической целесообразности" такой гипотезы можно отметить, что ионы Ba^{2+} и K^+ являются биохимическими аналогами: они имеют примерно одинаковые ионные радиусы в двухвалентном состоянии ($R_{\text{Ba}} \approx 1.4 \text{ \AA}$, $R_{\text{K}} \approx 1.33 \text{ \AA}$). Поскольку заменяемый элемент (калий) входит в число жизненно необходимых микроэлементов, то вероятность такой замены представляется достаточно большой и ионы синтезируемого бария могут замещать ионы калия в метаболических процессах при росте культур. Такая замена представляется более эффективной, чем "прямая" замена калия на цезий в случае дефицита калия (это видно из большой разницы ионных радиусов цезия $R_{\text{Cs}} \approx 1.65 \dots 1.69 \text{ \AA}$ и калия $R_{\text{K}} \approx 1.33 \text{ \AA}$). Следует отметить, что подобная замена ионов ранее наблюдалась и анализировалась в экспериментах с микробиологической культурой *Blastocladiella emersonii* [23]. В этих экспериментах регистрировалось достаточно эффективная замена ионов K^+ на ионы Rb^+ и Ba^+ . Эти ионы могут заменять друг друга в процессах, связанных с ионным транспортом сквозь мембрану в клетку.

Еще один вопрос связан с причиной увеличения эффективности утилизации при использовании дополнительной соли кальция. По-видимому, такой эффект связан с общей закономерностью метаболизма микробиологических культур: оптимальный рост культуры соответствует необходимому балансу всех микро- и макроэлементов. Возможно, что именно дефицит кальция был тем "узким местом", которое тормозило процесс роста и сопутствующую трансмутацию в конкретной растущей микробиологической системе.

За последующие годы дальнейшее усовершенствование био- и ядерной технологий привело к существенному прогрессу рассматриваемых процессов с использованием более оптимальных биологических субстанций и режимов их роста. Завершившиеся недавно эксперименты показали, что процесс утилизации можно ускорить во много раз. В частности, среднее (по данным параллельных экспериментов)

уменьшение концентрации ^{137}Cs за 14 дней составило 23%, что соответствует ускорению деактивации более, чем в 200 раз. В ряде случаев уменьшение концентрации ^{137}Cs в этих экспериментах достигало 40% и даже 70% (Рис. 5) [12].

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о реальности процесса трансмутации радиоактивных изотопов, сопровождающей рост микробиологических культур. Авторы отдают себе отчет в том, что совокупность наблюдаемых явлений и, особенно, их интерпретация не совпадают с традиционными представлениями и могут вызвать серьезные критические замечания. С другой стороны, такие процессы имеют чисто физическую основу и прямо не связаны именно со спецификой развития живых организмов, хотя и стимулируются таким процессом. Авторы имеют несколько патентов (в том числе международных) по этой технологии.

В нашем сознании прочно закреплены некоторые стереотипы, среди которых вопрос об "индустриальном" характере ядерных превращений является одним из наиболее устойчивых. На основе предыдущего опыта создания и эксплуатации крупномасштабной ядерной энергетики сложно себе представить, что подобные процессы (но в несопоставимо меньших масштабах) могут протекать в живом организме. Однако, по большому счету, никакого существенного противопоставления нет. Весь вопрос только в целесообразности таких превращений и в их очень низкой

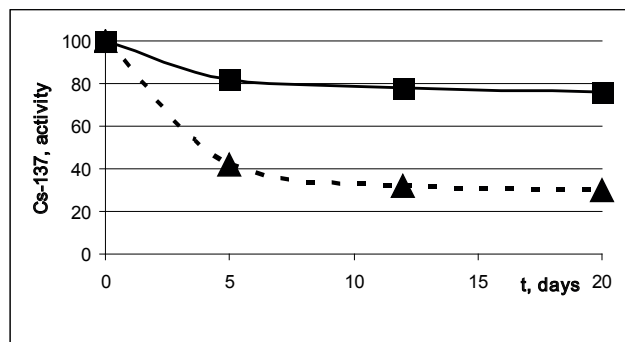


Рис. 5. Уменьшение активности водного раствора ^{137}Cs в оптимизированной синтрофной ассоциации (верхний график — средние данные по серии экспериментов, нижние — наиболее оптимальный случай).

эффективности, вызванной взаимным отталкиванием ядер из-за наличия кулоновского барьера. На молекулярном уровне специфика взаимодействия и движения микрочастиц полностью описывается законами квантовой механики и электродинамики как для живой, так и для неживой природы. С этой точки зрения различия между ними нет. Как показывает анализ [18-20], в нестационарных системах типа потенциальной ямы возможно интерференционное кратковременное подавление такого отталкивания за счет формирования больших флуктуаций импульса и кинетической энергии в процесс формирования когерентных коррелированных состояний. Такие процессы могут успешно реализовываться в любых системах, если выполнены необходимые предпосылки.

Очевидно, что такие ядерные реакции ни в коем случае нельзя назвать полумистическим термином "биологическая трансмутация". Это — обычные ядерные реакции, но протекающие в растущих биологических системах и находящиеся под каталитическим воздействием динамических электрических полей, сопровождающих атомно-молекулярные процессы, которые имеют место при росте и развитии этих систем. В любом случае решающее значение имеет эксперимент. Такой процесс можно назвать «нестационарным размерным ядерным катализом».

В нашем понимании влияние самого биологического объекта на процесс ядерных преобразований состоит в следующих обстоятельствах:

- динамическая пространственная структура растущего биообъекта на молекулярном и атомарном уровне выполняет роль «пространственного катализатора» ядерной реакции, обеспечивающего кратковременное устранение фактора кулоновского барьера реакции;
- специфика развития конкретного биологического объекта обеспечивает селективные функции, характеризующие эффективность конкретной реакции.

В завершение можно сказать несколько слов о биологической специфике наблюдавшихся явлений. Самое явление

превращения химических элементов и изотопов в биологических системах основано, прежде всего, на многократно проверенном условии постоянства элементного состава микроорганизмов. Из этого факта следует эвристическое предположение, согласно которому в том случае, когда в системе отсутствуют некоторые из требуемых макро- или микроэлементов, то появляются предпосылки того, что они будут синтезироваться и фиксироваться в конечном виде в результате физически обоснованных ядерных реакций.

В заключение отметим, что слова В.И. Вернадского о том, что биосфера является природообразующим и рельефообразующим фактором эволюции Земли могут быть дополнены замечанием о том, что она может быть и изотопопреобразующим фактором, существенно изменяющим распределение и количество разных элементов и изотопов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Biberian JP. Biological transmutations. *Current science*, 2015, 108(4):633.
2. Biberian JP. Biological transmutations: historical perspective. *Journal Condens. Matter Nucl. Sci.*, 2012, 7:11.
3. Kervran CL. Transmutations Biologiques, Métabolismes Aberrants de l'Azote, le Potassium et le Magnésium. *Librairie Maloine S.A.*, Paris, 1963.
4. Kervran CL. A la Découverte des Transmutations Biologiques. *Librairie Maloine S.A.*, Paris, 1966.
5. Kervran CL. Preuves Relatives à l'Existence de Transmutations Biologiques. *Librairie Maloine S.A.*, Paris, 1968.
6. Kervran CL. *Biological Transmutations*. Happiness Press, USA, Magalia, California, 1998.
7. Высоцкий ВИ, Корнилова АА. *Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах*. М., Мир, 2003.
8. Vysotskii VI, Kornilova AA. *Nuclear transmutation of stable and radioactive isotopes in biological systems*. India, Pentagon Press, 2010.
9. Высоцкий ВИ, Корнилова АА. Способ получения стабильных изотопов за счет ядерной трансмутации типа низкотемпературного ядерного синтеза элементов в микробиологических культурах.

Plamen RU 2052223C1, 1995 (<https://patents.google.com/patent/RU2052223C1/ru>).

10. Vysotskii VI, Kornilova AA. Transmutation of stable isotopes and deactivation of radioactive waste in growing biological systems. *Annals of Nuclear Energy*, 2013, 62:626.
11. Vysotskii VI, Kornilova AA. Microbial Transmutation of Cs-137 and LENR in growing biological systems. *Current Science*, 2015, 108:142.
12. Vysotskii VI, Kornilova AA, Gaidamaka S, Kashcheev V, Zhura E, Tserbaev A. Biotransmutation of Cs133 and Biodeactivation of Cs137 by Aerobic Microorganisms of Methanogenic Sea Ooze. *20th Int. Conf. on Condensed Matter Nuclear Science (ICCF-20)*, 2-7 Oct 2016, Japan, Sendai. Book of Abstracts, p. A91.
13. Minato K, Ikegami T, Inoue T. Recent research and development activities on partitioning and transmutation of radioactive nuclides in Japan. *Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation. Eight Information Exchange Meeting*. USA, Las-Vegas, November 2004, p.29-47.
14. Savage C. Overview of United States P&T Programme. *Ibid*, p. 49-56.
15. Ponomarev LI. Overview of Russia P&T Programme. *Ibid*, p. 79-90.
16. Stanculescu A. IAEA Activities in the area of partitioning and transmutation. *Ibid*, p.101-108.
17. Radioactive Waste Management. *World Nuclear Association*. July 2015. Retrieved 2015-08-25.
18. Vysotskii VI, Adamenko SV, Vysotskyy MV. Acceleration of low energy nuclear reactions by formation of correlated states of interacting particles in dynamical systems. *Annals of Nuclear energy*, 2013, 62:618.
19. Vysotskii VI, Vysotskyy MV. Coherent correlated states and low-energy nuclear reactions in non stationary systems. *European Phys. Journal*, 2013, A49:99.
20. Vysotskii VI, Vysotskyy MV. Coherent correlated states of interacting particles – the possible key to paradoxes and features of LENR. *Current Science*, 2015, 108:524.
21. Kornilova AA, Vysotskii VI. Method for purifying water of radionuclides. *Intern. patent WO 2015156698 A1*, 11 April 2014.
22. Vysotskii VI, Odintsov A, Pavlovich VN, Tashirev AB, Kornilova AA. Experiments on

controlled decontamination of water mixture of long-lived active isotopes in biological cells. *Proc. 11th Int. Conf. on Condensed Matter Nuclear Science*, 2004, France, Marseilles, World Scientific, Singapore, 2006, p. 530-536.

23. Van Brunt J, Caldwell JH, Harold FM. Circulation of potassium across the plasma membrane of *Blastocladiella emersonii*: K-channel. *J. Bacteriol.*, 1982, 150(3):1449.

Корнилова Алла Александровна

к.ф.-м.н., с.н.с., действительный член РАЕН

МГУ им М.В. Ломоносова, физический факультет
1/2, Ленинские горы, Москва 119991, Россия
prfnart@mail.ru.

Высоцкий Владимир Иванович

д.ф.-м.н., проф., член-корреспондент РАЕН

Киевский национальный университет им. Т. Шевченко
64/13, ул. Владимирская, Киев 01601, Украина
vivysotskii@gmail.com.

SYNTHESIS AND TRANSMUTATION OF STABLE AND RADIOACTIVE ISOTOPES IN BIOLOGICAL SYSTEMS

Alla A. Kornilova

Lomonosov Moscow State University, <http://www.msu.ru>

1/2, Leninskie gory, Moscow 119991, Russian Federation

prfnart@mail.ru

Vladimir I. Vysotskii

Shevchenko Kiev National University, <http://www.univ.kiev.ua>

64/13, str. Vladimirskaia, Kyiv 01601, Ukraine

vivysotskii@gmail.com

Abstract. The work considers the background, theoretical assumptions and results of experiments on nuclear transmutation of stable and radioactive isotopes in growing biological objects. It is shown that such fundamental transformations are based on nuclear-physical processes, the course of which is stimulated by the catalytic influence of non-stationary spatial inhomogeneities in the volume of growing living objects. This process can be used both for the accelerated utilization of stable and radioactive nuclei, and for the production of rare isotopes. The conditions for optimizing the deactivation process are investigated. It was found that in the most optimal case the rate of activity decrease in aqueous solutions of radionuclides is accelerated by 35...200 times in relation to the natural decay. The physical and biological reasons of these processes are considered.

Keywords: isotopes, microbiological systems, low energy nuclear reactions, deactivation of radionuclides

PACS: 25.60.Pj; 25.70.-z; 28.41.Kw; 28.52.-s; 28.60.+s; 82.90.+j; 87.17.-d; 87.17.Ee; 87.80.-y; 89.60.-k

Bibliography – 23 references

Received 13.06.2017

RENSIT, 2017, 9(1):52-64

DOI: 10.17725/rensit.2017.09.052