

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро



(10) Номер международной публикации
WO 2015/156698 A1

(43) Дата международной публикации
15 октября 2015 (15.10.2015)

WIPO | PCT

- (51) Международная патентная классификация:
C02F 3/00 (2006.01) C12N 5/00 (2006.01)
G21F 9/04 (2006.01)
- (21) Номер международной заявки: PCT/RU2014/000273
- (22) Дата международной подачи:
15 апреля 2014 (15.04.2014)
- (25) Язык подачи: Русский
- (26) Язык публикации: Русский
- (30) Данные о приоритете:
P201430540 11 апреля 2014 (11.04.2014) ES
- (72) Изобретатель; и
(71) Заявитель : КОРНИЛОВА, Альбина
Александровна (KORNILOVA, Albina
Aleksandrovna) [RU/RU]; 5-ая ул. Ямского поля, 27, кв.
21 Москва, 125040, Moscow (RU).
- (72) Изобретатель: ВЫСОЦКИЙ, Владимир Иванович
(VYSOTSKIY, Vladimir Ivanovich); ул. Довженко, 8,
кв. 47 г. Киев, 03057, г. Киев (UA).
- (74) Агент: КУДАКОВ, Андрей Дмитриевич
(KUDAKOV, Andrei Dmitrievich); а/я 825, Королев-4,
Московская обл., 141074, Korolev (RU).
- (81) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

- (84) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Декларации в соответствии с правилом 4.17:

— об авторстве изобретения (правило 4.17 (iv))

Опубликована:

— с отчётом о международной поиске (статья 21.3)

(54) Title: METHOD FOR PURIFYING WATER OF RADIONUCLIDES

(54) Название изобретения : СПОСОБ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ

(57) Abstract: The invention relates to the field of water purification. The present method for purifying water of radio-nuclides by nuclear transmutation involves preparing a culture medium for the growth of microbiological cultures, adding a biomass of microorganisms to said medium, holding the biomass of microorganisms in an aqueous solution undergoing purification for from 10 hours for aerobic microorganisms to 24 hours for anaerobic microorganisms, and adding key trace elements and/or combinations thereof to different parts of the resultant aqueous solution. The aqueous solution undergoing purification is held for the purpose of selecting the trace elements and/or combinations thereof necessary to speed up the process of transmutation, and the selected trace elements and/or combinations thereof are added to the aqueous solution undergoing purification. The aqueous solution undergoing purification is held for the time necessary to achieve the required residual radioactivity value, and the biomass of microorganisms is removed from the aqueous solution undergoing purification.

(57) Реферат: Изобретение относится к области очистки воды. Способ очистки воды от радионуклидов ядерной трансмутацией включает приготовление питательной среды для роста микробиологических культур, добавление в неё биомассы микроорганизмов, выдерживание биомассы микроорганизмов в очищаемом водном растворе в течение от 10 часов для аэробных до 24 часов для анаэробных микроорганизмов, добавление основных микроэлементов и/или их комбинаций в разные части полученного водного раствора. Выдерживание очищаемого водного раствора для выбора микроэлементов и/или их комбинаций необходимых для ускорения процесса трансмутации, добавление выбранных микроэлементов и/или их комбинаций в очищаемый водный раствор. Выдерживание очищаемого водного раствора в течение необходимого для достижения требуемой величины остаточной радиоактивности времени и удаление биомассы микроорганизмов из него.



WO 2015/156698 A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

СПОСОБ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ

Изобретение относится к области переработки жидких радиоактивных отходов, в частности к способам очистки воды от радионуклидов.

Проблема очистки воды, загрязненной радионуклидами, является одной из наиболее актуальных задач экологии. Появление такой воды связано как с плановыми технологическими операциями, обусловленными спецификой деятельности ядерно-ориентированного производства, так и с нештатными ситуациями, вызванными, в частности, авариями на ядерно-ориентированных объектах.

В процессе ядерной реакции деления в атомных реакторах образуется большое количество радиоактивных изотопов и изомеров (высокоактивных отходов) со средним или большим временем жизни:

H^3 , Be^7 , C^{14} , F^{18} , $Na^{22,24}$, Si^{31} , $P^{32,33}$, S^{35} , $Cl^{36,38}$, $K^{42,43}$, $Ca^{45,47}$, $Sc^{46,47,48}$, V^{48} , Cr^{51} , $Mn^{51,52,52m,53,54,56}$, $Fe^{52,55,59}$, $Co^{55,56,57,58,58m,60,60m,61,62m}$, $Ni^{59,63,65}$, Cu^{64} , $Zn^{65,69,69m}$, Ga^{67} , Ge^{67} , $As^{73,74,76,77m}$, Se^{75} , Br^{82} , Rb^{86} , $Sr^{85,85m,87m,89,90,91,92}$, $Y^{90,91,91m,92,93}$, $Zr^{93,95,97}$, $Nb^{93m,94,95,97,98}$, $Mo^{90,93,99,101}$, $Tc^{96,96m,97,97m,99,99m}$, $Rh^{97,103,105,106Ru, 103m,105}$, $Pd^{103,109}$, $Ag^{105,110m,111}$, $Cd^{109,115,115m}$, $In^{111,113m,114m,115m}$, $Sn^{113,125}$, $Sb^{122,124,125}$, $Te^{123m,125m,127,127m,129,129m,131,131m,132,133,133m,134}$, $I^{123,125,126,129,130,131,132,133,134,135}$, $Cs^{129,131,132,134,134m,135,136,137,138}$, $Ba^{131,140}$, La^{140} , $Ce^{139,141,143,144}$, $Pr^{142,143}$, $Nd^{147,149}$, $Pm^{147,149}$, $Eu^{151,153Sm, 152,152m,154,155}$, $Gd^{153,159}$, Tb^{160} , $Dy^{165,166}$, Ho^{166} , $Er^{169,171}$, $Tm^{170,171}$, Yb^{175} , Lu^{177} , Hf^{181} , Ta^{182} , $W^{181,185,187}$, $Re^{186,188}$, $Os^{185,191,191m,193}$, $Ir^{190,192,194}$, $Pt^{191,193m,197,197m}$, $Au^{198,199}$, $Hg^{198,199}$, $Pb^{200,201,202,204Tl, 203}$, $Bi^{206,207}$, $Po^{203,205,207}$, At^{211} , $Ra^{225,227}$, $Th^{226,229}$, $Pa^{230,233}$, $U^{230,231,232,233,236,237,239,240}$, $Np^{237,239,240}$, $Pu^{234,235,236,237,238,239,240}$, $241,242,243,244$, $Am^{241,242,242m,243}$, $Cm^{242,243,244,245,246,247,248}$, Bk^{249} , $Cf^{246,248,249,250,251,252,253,254}$, $Es^{253,254,254m}$, $Fm^{254,255}$.

Из этих радионуклидов наиболее опасными для биологических объектов являются изотопы Sr^{90} , $Tc^{99,99m}$, Cs^{137} , $Np^{237,239}$, $Pu^{238,239,240,241}$, Am^{241} , Cm^{242} .

Известен способ биологической очистки воды от техногенных радионуклидов (Patent RU2255906, опубликован 10.07.2005), основанный на явлении высоких поглочительных свойств некоторых водорослей (в частности, *Phyllophonia elongata*, *Ulva regia*, *Thalassiosira* и др.), рассадку которых помещают в биоконтейнеры, установленные в объеме подлежащей очистке загрязненной воды. При выращивании этих водорослей в течении 20-40 суток в процессе метаболизма происходит активная абсорбция на основе метаболических и биохимических процессов и накопление некоторых типов радионуклидов, что ведет к очищению воды. После заполнения

растущими водорослями биоконтейнер извлекают из воды, а затем водоросли сушат и сжигают, а радиоактивный зольный остаток подлежит захоронению. Максимальный коэффициент накопления радионуклидов этими водорослями (по отношению к аналогичной массе воды) равен 30 (для Cs^{137}) и 40 (для Sr^{90}).

Недостатком этого способа является то, что он не решает проблемы деактивации радионуклидов, поскольку опасные радионуклиды не уничтожаются, а переводятся в другое состояние (озоляются).

Известен способ утилизации радиоактивных отходов путем облучения их тепловыми нейтронами (Patent US4721596 А опубликовано 26.01.1988). При таком облучении происходит захват нейтронов ядрами долгоживущих изотопов с последующим каскадом ядерных превращений и образованием других изотопов, которые, в частности, могут быть более короткоживущими, что уменьшает длительность естественной деактивации путем спонтанного распада.

Недостатком этого способа является то, что реакции деления под действием медленных нейтронов могут протекать только в некоторых тяжелых радиоактивных изотопах (в частности в U^{235} и Pu^{239}) и, кроме того, поглощение таких нейтронов многими стабильными ядрами средних по массе элементов может приводить к формированию радиоактивных изотопов этих ядер.

Техническим результатом, на получение которого направлено изобретение, является создание способа очистки водных растворов, содержащих радионуклиды, за счет явления трансмутации (ядерного преобразования) ионов радиоактивных изотопов (радионуклидов) в другие стабильные изотопы в растущих микробиологических культурах.

Технический результат достигается в изобретении за счет создания в очищаемом водном растворе условий для ядерной трансмутации радиоактивных изотопов одних химических элементов в нерадиоактивные изотопы других химических элементов в растущих микробиологических культурах, для чего приготавливают питательную среду для роста микробиологических культур, дефицитную по химическому элементу, соответствующему изотопу, получаемому в результате трансмутации (Изотоп 1), и содержащую необходимые для трансмутации исходные изотопные компоненты (Изотоп 2); выращивают в этой питательной среде микробиологические культуры, требующие Изотопы 1 для своего роста и развития, для чего добавляют биомассу микроорганизмов, например, в виде гранул, включающую микробные синтрофные ассоциации в жизнеспособном состоянии в указанную питательную среду, причем процесс трансмутации осуществляют в три стадии, в течение первой из которых

стимулируют эффект мутагенной адаптации содержащихся в биомассе микроорганизмов к конкретным типам радионуклидов (Изотопы 3), содержащимся в подлежащем очистке водном растворе путем поэтапного выдерживания биомассы микроорганизмов при оптимальной (повышенной до 30-40⁰ С) температуре, ускоряющей процесс мутагенеза, в течение времени в интервале от 10 часов для аэробных микроорганизмов до 24 часов для анаэробных микроорганизмов, в жидкости, состав которой включает воду в количестве достаточном для покрытия объема биомассы с питательной средой и, поэтапно увеличивающееся, путем добавления порций подлежащего очистке водного раствора с радионуклидами, которые не приводят к гибели биомассы за счет радиоактивного облучения, вплоть до достижения концентрации подлежащего очистке раствора, после чего в течение второй стадии производят оптимизацию биологической части процесса трансмутации в полученном растворе путем отдельного добавления в разные небольшие части полученного водного раствора основных необходимых микроэлементов и/или комбинаций этих микроэлементов, и, после выдержки в этих частях в течение определенного времени одинакового количества прошедшей мутагенную адаптацию биомассы, выбора тех микроэлементов и/или комбинаций этих микроэлементов, которые максимально ускоряют процесс трансмутации, а затем на третьей стадии добавляют в очищаемый водный раствор выбранные микроэлементы и/или выбранные комбинации микроэлементов в необходимом количестве, обеспечивающем максимальную скорость трансмутации радиоактивных изотопов во всем объеме подлежащего очистке водного раствора, после чего биомасса удаляется из очищаемой воды. Длительность третьего этапа определяется временем достижения требуемой величины остаточной радиоактивности очищаемого раствора. При этом в изобретении для блокировки прямого поглощения радионуклидов биомассой микроорганизмов без их трансмутации, в подлежащую очистке воду или в биомассу вводится достаточное для роста биомассы количество тех микроэлементов, которые необходимы для этого роста и являются стабильными аналогами (стабильными изотопами) тех радионуклидов, которые необходимо утилизировать.

В одном из вариантов изобретения после соединения биомассы микроорганизмов с питательной средой проводят ее гранулирование в присутствии соединений, образующих стабильные неразмокаемые в воде гранулы, структура которых не препятствует свободному движению воды и растворенных в ней солей и радионуклидов по всему объему гранул.

В одном из вариантов изобретения биомассу микроорганизмов формируют с использованием синтрофных ассоциаций аэробных и анаэробных микроорганизмов.

Предпочтительно с целью очистки от радионуклидов растворов содержащих морскую воду (не пресную) или основанных на такой воде используют биомассу микроорганизмов, включающую микробные синтрофные ассоциации в жизнеспособном состоянии, адаптированные к морской воде, например, на основе жизнеспособных илов, для которых морская вода является естественной средой обитания.

Предпочтительно в течение третьей стадии процесса трансмутации проведение непрерывного перемешивания водного раствора с биомассой и/или продувание воздуха (барботирование) сквозь водный раствор с биомассой.

Предпочтительно при очистке водных растворов от радионуклидов Cs^{137} и Sr^{90} путем их трансмутации в стабильные изотопы других элементов из состава питательной среды исключение (или снижение концентрации) элементов Mg и K .

Указанные отличительные признаки позволяют реализовать способ очистки водных растворов, содержащих радионуклиды одних химических элементов, за счет их трансмутации в стабильные изотопы других химических элементов.

На фиг.1. представлен спектр относительной интенсивности гамма-излучения реакторных изотопов, содержащихся в очищаемой воде, на 10 день после извлечения из активной зоны водо-водяного ядерного реактора.

На фиг.2 представлена зависимость активности $Q(t)$ реакторного изотопа La^{140} в пробах реакторной воды в эксперименте по трансмутации (активность $Q_{cultures}$ в кюветах в присутствии гранул, содержащих синтрофные ассоциации метаболически активных микроорганизмов) и в контрольных кюветах без микроорганизмов (активность $Q_{control}$).

На фиг. 3. показана ускоренная утилизация (деактивация) изотопа Cs^{137} в «биологических ячейках» в присутствии микробиологических гранул и различных химических элементов. 1- Cs^{137} (контроль), $\tau^* \approx 30$ лет; 2 - Cs^{137} + гранулы+KCl, $\tau^* \approx 10$ лет; 3 - Cs^{137} +гранулы+ NaCl, $\tau^* \approx 480$ дней; 4 - Cs^{137} + гранулы, $\tau^* \approx 380$ дней; 5 - Cs^{137} + гранулы + $CaCO_3$, $\tau^* \approx 310$ дней.

На фиг.4. проиллюстрирован принцип формирования гигантских флуктуаций импульса и кинетической энергии в когерентном коррелированном состоянии (справа).

Процесс трансмутации изотопов в растущей микробиологической культуре и синтрофной ассоциации таких культур связан с двумя факторами.

Первый из них относится к собственно биологическим процессам использования и усвоения химических элементов в метаболических процессах, а второй - к физическим процессам ядерного превращения, стимулированными биологическими процессами.

Процесс роста любого конкретного биологического объекта требует строго определенного набора химических микро- и макроэлементов. Отсутствие хотя бы одного из этих элементов полностью тормозит этот рост.

К числу жизненно необходимых элементов относятся

O (типичная концентрация в живой культуре около 24%), H (около 64%), C (около 9%), N (около 0,13%).

В число необходимых для роста различных биологических культур микроэлементов входят

Na ($7 \cdot 10^{-3}$ %), K ($4,5 \cdot 10^{-2}$ %), Ca ($7,5 \cdot 10^{-2}$ %), Mg ($2 \cdot 10^{-2}$ %), Fe ($8 \cdot 10^{-4}$ %), P ($1,3 \cdot 10^{-2}$ %), Si ($3,5 \cdot 10^{-2}$ %), Cl ($7 \cdot 10^{-3}$ %), Al ($6 \cdot 10^{-3}$ %), B ($6 \cdot 10^{-4}$ %), Ti (10^{-4} %), Zn ($3 \cdot 10^{-5}$ %), Li (10^{-4} %), Cu (10^{-5} %), Sr (10^{-5} %), Ba ($5 \cdot 10^{-6}$ %), F ($3 \cdot 10^{-5}$ %), Br ($6 \cdot 10^{-6}$ %), Rb ($4 \cdot 10^{-6}$ %), Sn (10^{-6} %), Ni ($5 \cdot 10^{-6}$ %), Mo (10^{-6} %), Co (10^{-6} %).

Указанные концентрации являются типичными, но могут отличаться в несколько раз для различных культур.

Для некоторых их микробиологических культур необходимыми являются также микроэлементы S, Mn, J, Hg и другие.

В отсутствии какого-либо из необходимых химического элемента возможна его замена на биохимический (стереохимический) аналог, который имеет близкий ионный радиус и такую же (или близкую) валентность. В частности, если атомы необходимого химического элемента отсутствуют в составе питательной среды, но они могут формироваться в процессе ядерного синтеза из подходящих нуклидов, то после процесса синтеза вновь образованное ядро необходимого элемента вместе с электронным окружением сразу встраивается в растущую культуру. Аналогичная ситуация соответствует тому случаю, когда в отсутствии атомов необходимого химического элемента процесс синтеза приводит к формированию его стереохимического аналога.

Процесс "встраивания" синтезируемого элемента (изотопа I) в растущую биологическую систему является, фактически, процессом фиксации и необратимости этого синтеза. Процесс ядерного синтеза происходит с участием исходных ядер за счет, например, кратковременной флуктуации энергии δE за время δt . Если эта флуктуация достаточна для преодоления кулоновского барьера реакции и при этом в результате

реакции за время δt выделяется энергия $\Delta E > \delta E$, то процесс синтеза становится необратимым. В противоположном случае, когда $\Delta E < \delta E$, реакция является обратимой и не приводит к формированию необходимого изотопа.

Еще одна особенность заявляемого способа является использование не чистых микробиологических культур, а синтрофных микробиологических ассоциация, включающих много тысяч различных типов микроорганизмов, принадлежащих к разным физиологическим группам, которые представляют разные группы микробного метаболизма и характеризуются различными механизмами микробной аккумуляции.

Эти микроорганизмы не находятся в форме 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 приспособляемостью к разным вариациям и "агрессивным" проявлениям внешней среды (в частности, к высокому уровню радиоактивного облучения, наличию токсинов или малым значениям водородного показателя pH).

При каждом типе конкретного биохимического окружения максимально благоприятные условия для развития имеют микроорганизмы, принадлежащие к конкретной физиологической группе. Все остальные группы синтрофной ассоциации "играют" вспомогательную роль, работая на лидера, который максимально эффективно развивается. При изменении внешних условий (изменение температуры, изменение состава питательной среды, действие токсинов и ионизирующей радиации, дополнительное действие свободных радикалов и др.) роль лидера может перейти к другой физиологической группе, максимально адаптированной к изменившимся условиям. Бывшие лидеры становятся участниками коллективной помощи, способствуя развитию лидирующей группы и ассоциации в целом.

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. Известно, например, что в кислой среде с $pH = 2$ (концентрированная соляная кислота) никакие "чистые" штаммы микроорганизмов не могут развиваться. В то же время синтрофная ассоциация после некоторого переходного периода адаптации успешно растет и развивается в такой среде. Временной интервал полной адаптации

соответствует смене 5-10 поколений, что позволяет оценить этот интервал периодом от 10 часов до 10 суток.

В эксперименте исследуемая вода имела активность около 10^4 Кюри/л и содержала ряд высокоактивных нестабильных изотопов (в частности, Na^{24} , K^{40} , Co^{60} , $\text{Sr}^{90,91}$, I^{131} , Xe^{135} , Ba^{140} , La^{140} , Ce^{141} , Np^{239}) см. Фиг.1.

Одинаковые по объему пробы воды (около 5 мл) помещались в одинаковые стеклянные тонкостенные закрываемые кюветы объемом около 10 мл. В часть кювет с радиоактивной водой помещалось одинаковое по массе количество гранулированной биомассы микроорганизмов. Остальные кюветы с аналогичной радиоактивной водой но без присутствия гранулированной биомассы были контрольными.

Исследования проводились на основе анализа изменения амплитуды спектральных линий, энергия которых превосходит 500 КэВ. Это сделано для повышения точности, поскольку для более мягкого излучения существенно влияние комптоновского фона и поглощение в объеме воды в кювете.

На фиг.2 представлены усредненные результаты зависимости активности изотопа La^{140} в экспериментальных кюветах (Q_{cultures}) и в контрольных кюветах (Q_{control}) от времени после начала экспериментов. Этот изотоп имеет сравнительно небольшое время жизни ($\tau_{\text{La}} = 40.3$ часов), образуется при бета-распаде $\text{Ba}^{140} \rightarrow \text{La}^{140} + \beta^- + \bar{\nu}$ и является дочерним нестабильным изотопом более долгоживущего изотопа Ba^{140} , у которого время жизни равно $\tau_{\text{Ba}} = 12.7$ дней.

Начальные удельные активности изотопов Ba^{140} и La^{140} (на 10-й день после отбора пробы воды из активной зоны реактора) для каждой из кювет составляли, соответственно,

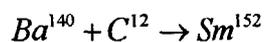
$Q_{\text{Ba}^{140}}/V = 5400 \text{ bk/l}$ и $Q_{\text{La}^{140}}/V = 8500 \text{ bk/l}$. Поскольку ($\tau_{\text{La}} \ll \tau_{\text{Ba}}$), то наблюдаемое уменьшение активности La^{140} отображало уменьшение активности Ba^{140} .

Было обнаружено, что уменьшение активности La^{140} в контрольных кюветах примерно соответствовало закону "стандартного" распада изотопа Ba^{140} с "табличным" значением времени жизни. Такой же закон уменьшения активности La^{140} наблюдался в кюветах с гранулами до 10 дня эксперимента. После этого начального периода адаптации периодические измерения показали, что скорость уменьшения активности La^{140} (а значит и активности Ba^{140}) соответствует (эквивалентна по закону изменения активности) более ускоренному распаду. Экстраполяция показала, что эффективное

время жизни этого изотопа уменьшилось примерно в 2 раза по отношению к времени жизни Ba^{140} .

Эти результаты могут быть объяснены на основе предположения о том, что радиоактивный изотоп Ba^{140} преобразуется в экспериментальных кювете в нерадиоактивный изотоп другого химического элемента. При этом наличие начального, неизменного участка в законе распада, может быть объяснено обсуждаемыми выше процессами адаптации микробиологической ассоциации к действию радиоактивного облучения в кювете с активной водой. Это время (около 10 дней) хорошо коррелирует с ожидаемым временем смены 5-10 поколений микробиологических культур.

Анализ возможных преобразований изотопов показал, что в данном случае возможна следующая реакция трансмутации радиоактивного изотопа Ba^{140} к стабильному ядру другого типа



Эта реакция является энергвыгодной и характеризуется положительной энергией реакции. Необходимый для этой реакции углерод в избытке содержится в объеме микробиологических гранул.

В силу закона постоянства химического состава биологических объектов, который является одним из фундаментальных свойств живой материи, реакция трансмутации изотопов в биологической системе будет возможной в том случае, когда результатом реакции является изотоп, соответствующий химическому элементу, который либо сам входит в число необходимых химических элементов, либо является биохимическим аналогом такого элемента. В последнем случае он должен иметь примерно тот же ионный радиус и, желательнее, ту же валентность. При этом эффективность реакции будет большой только тогда, когда необходимый химический элемент или его биохимический аналог не содержится в питательной среде или содержится в малом количестве.

Сопоставление ионов Sm^{2+} и Ca^{2+} , показывает, что они являются биохимическими аналогами и имеют близкий ионный радиус в двухвалентном состоянии ($R_{Sm} \approx 1.2 \text{ \AA}$, $R_{Ca} \approx 1.06 \text{ \AA}$). Кальций входит в число необходимых элементов, и если его концентрация в объеме микробиологических гранул была небольшой, можно утверждать, что нехватку кальция растущая микробиологическая ассоциация могла восполнять синтезом ее биохимического аналога (самария).

Необходимо также учесть, что состав гранулированной биомассы, которая формируется на основе природных синтрофных ассоциаций, получаемых, например, на

основе сброженных продуктов жизнедеятельности животных или природных илов, может иметь разный химический состав. Для оптимизации роста этой биомассы необходим сбалансированный комплекс основных макро- и микро-элементов. Состав последних может быть определен только опытным путем независимого добавления основных микроэлементов и анализом связанных с этим изменений эффективности процесса трансмутации.

В исследованиях использовались одинаковые закрытые стеклянные кюветы, каждая из которых содержала по 10 мл дистиллированной воды, в которой находился раствор Cs^{137} с удельной активностью $Q_{Cs^{137}} \approx 2 \cdot 10^6 \text{ bq/l}$.

Одинаковое количество гранул помещалось в 7 кюветах. В 6 кюветах к активной воде были дополнительно добавлены очищенные соли K, Ca, Na, Fe, Mg и P, соответственно. Эти химические элементы входят в число необходимых для развития любой биологической системы. Две дополнительные кюветы были использованы для контроля: одна содержала радиоактивную воду и гранулы (но не содержала дополнительных солей), а другая - только радиоактивную воду.

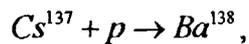
Все кюветы были закрыты и содержались при температуре 20°C . Амплитудный спектр гамма-излучения кювет измерялся каждые 7 дней на одном и том же детекторе. Особое внимание уделялось ослаблению влияния погрешностей, связанных с процессом измерений. Для этой цели использовались кюветы с малой высотой, а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

Результаты изменения активности изотопа Cs^{137} представлены на фиг.3.

В контрольной кювете, содержащей только радиоактивную воду, изменение активности изотопа Cs^{137} соответствовало стандартному спонтанному распаду с временем жизни около 30 лет.

Самое быстрое уменьшение активности (оно было эквивалентно уменьшению времени жизни в 35 раз до величины $\tau^* \approx 310$ дней) наблюдалось в кювете, содержащей соль кальция. В кювете, содержащей дополнительную соль калия, уменьшение активности Cs^{137} соответствовало времени жизни 10 лет. Это уменьшение активности не было связано с ускоренным распадом, а являлось результатом реакции утилизации радиоактивного изотопа Cs^{137} в стабильный изотоп другого элемента.

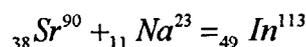
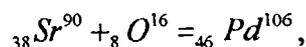
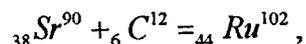
Предположительная утилизация радионуклида Cs^{137} связана с реакцией



протекающей с участием протонов воды. Результатом реакции является стабильный изотоп Ba^{138} .

Ионы Ba^{2+} and K^+ являются биохимическими аналогами. они имеют примерно одинаковые ионные радиусы в двухвалентном состоянии ($R_{Ba} \approx 1.4 \text{ \AA}$, $R_K \approx 1.33 \text{ \AA}$). Поскольку заменяемый элемент (калий) входит в число 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 $R_{Cs} \approx 1.65-1.69 \text{ \AA}$ и калия $R_K \approx 1.33 \text{ \AA}$). Следует отметить, что подобная замена ионов ранее наблюдалась и анализировалась в экспериментах с микробиологической культурой *Blastocladiella emersonii* [Van Brunt J., Caldwell J. H., Harold F. M. Circulation of potassium across the plasma embrane of *Blastocladiella emersonii*: K-channel // *J. Bacteriol.*, 1982, v.150, N 3, pp. 1449-1561]. В этих экспериментах регистрировалось замена ионов K^+ на ионы Rb^+ и Ba^{2+} . Эти ионы могут заменять друг друга в процессах, связанных с ионным транспортом сквозь мембрану в клетку.

Еще одним очень опасным радионуклидом, образуемым в процессе деления и содержащимся в отработанном реакторном топливе, является изотоп Sr^{90} . Этот изотоп может быть утилизирован путем преобразования в разные стабильные изотопы других элементов в одной из реакций



В этих реакциях образуются стабильные изотопы Ru, Pd и In , которые являются биохимическими аналогами таких необходимых микроэлементов, как, соответственно, Fe и Mg , Ca и Mg , Fe и Mg . Такое соответствие определяется примерным равенством ионных радиусов этих элементов

$$R_{Ru}^{3+} = 0.77 \text{ \AA}; R_{Fe}^{3+} = 0.6 - 0.67; R_{Mg}^{2+} = 0.7 - 0.78 \text{ \AA};$$

$$R_{Pd}^{2+} = 0.85 - 0.88 \text{ \AA}; R_{Ca}^{2+} = 0.96 - 1.04; R_{Mg}^{2+} = 0.7 - 0.78 \text{ \AA};$$

$$R_{In}^{3+} = 0.8 - 0.9 \text{ \AA}; R_{Fe}^{2+} = 0.75 - 0.83; R_{Mg}^{2+} = 0.7 - 0.78 \text{ \AA}$$

В отсутствии этих необходимых химических элементов возможна их замена на вновь синтезируемые стабильные изотопы элементов *Ru, Pd* и *In* . Видно, что все эти элементы являются, в частности, биохимическими аналогами *Mg* и *Fe* . Следовательно, при отсутствии *Mg* и *Fe* в очищаемой воде и активной среде они могут заменяться продуктами всех трех возможных реакций утилизации радиоактивного стронция.

Причиной увеличения эффективности утилизации при использовании дополнительной соли кальция, является общая закономерность метаболизма микробиологических культур: оптимальный рост культуры соответствует необходимому балансу всех микро и макроэлементов. Предположительно именно дефицит кальция был тем "узким местом", которое тормозило процесс роста и сопутствующую трансмутацию в конкретной растущей микробиологической системе. Очевидно, что при использовании гранул, приготовленных на основе других природных синтрофных ассоциаций, влияние разных солей может быть другим и должно определяться опытным путем.

Для обеспечения ядерного взаимодействия двух ядер необходимо обеспечить условия преодоления кулоновского барьера, который препятствует сближению этих ядер. Высота этого барьера очень большая, а его прозрачность (в модельном случае отсутствия атомных электронов) при может быть определена с помощью зависимости

$$D \approx \exp(-2\pi Z_1 Z_2 / \hbar v),$$

следующей из формулы Гамова

$$D = \exp(-2\hbar \int \sqrt{2m\{V(r) - E\}} dr / \hbar),$$

которая зависит от полной $E = \mu v^2 / 2$ и потенциальной (кулоновской) энергии $V(r) = Z_1 Z_2 e^2 / r$ взаимного отталкивания ядер с зарядами $Z_1 e$ и $Z_2 e$. Здесь $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ - "приведенная" масса взаимодействующих ядер, зависящая от массы каждого ядра. Для частиц, находящихся в состоянии теплового равновесия, $v \approx \langle v \rangle = \sqrt{kT / 4\mu}$.

Учет экранирующего влияния атомных электронов приводит к уменьшению ширины этого барьера и, соответственно, возрастанию коэффициента прозрачности, что может быть учтено введением дополнительной эффективной энергии, что соответствует замене $E = kT + E_{eff}$. При взаимодействии атомов водорода $E_{eff} \approx 27 eV$.

В случае биологической системы $E = E_{eff}$, а прозрачность барьера равна очень малой величине $D \approx 10^{-100}$.

При взаимодействии более тяжелых ядер эта вероятность будет намного меньше. Например, при взаимодействии ядер цезия и водорода $E_{eff} \approx 300 eV$, а прозрачность барьера при температуре $kT \ll E_{eff}$ равна $D \approx 10^{-1000}$. Приблизительно такая же пренебрежимо малая вероятность соответствует случаю, когда одна или обе взаимодействующие частицы (взаимодействующих ядра с электронным окружением) находятся в стационарной потенциальной яме.

Эти оценки показывают, что при той температуре, которая характерна для процесса роста микробиологических культур, "обычные" ядерные реакции в живых организмах невозможны. Такой вывод соответствует случаю, когда рассматривается парное взаимодействие ядер в свободном пространстве или в стационарной потенциальной яме.

В работах автора (V.I.Vysotskii, M.V.Vysotskiy. "Coherent correlated states and low-energy nuclear reactions in non stationary systems". *European Physical Journal. A*, 2013, v.49, issue 8: 99; и V.I.Vysotskii, S.V.Adamenko, M.V.Vysotskiy. 2013. "Acceleration of low energy nuclear reactions by formation of correlated states of interacting particles in dynamical systems", *Annals of Nuclear Energy*, 2013, v.62, 618-625), было показано, что в случае определенной нестационарной деформации потенциальной ямы, в которой находится хотя бы одна из взаимодействующих частиц, происходит значительное увеличение прозрачности ядерного барьера. Такой эффект связан с формированием когерентных коррелированных состояний частицы, для которых имеет место эффект синхронизации и эффективного сложения (интерференции) флуктуаций разных компонент ее импульса в нестационарном суперпозиционном состоянии. При таком сложении образуются большие итоговые флуктуации полного импульса и флуктуации кинетической энергии частицы, что способствует значительному увеличению коэффициента прозрачности потенциального барьера и, естественно, аналогичному увеличению вероятности ядерной реакции синтеза. Простая интерпретация этого квантовомеханического явления состоит в следующем.

В состоянии суперпозиции частица может находиться с разной вероятностью на разных уровнях энергии E_n потенциальной ямы (см. фиг.4).

В такой системе дисперсия полного импульса частицы и среднее значение кинетической энергии определяются формулами

$$\sigma_p \equiv \{ \bar{p}(t) - \langle \bar{p}(t) \rangle \}^2 \gg \left\langle \left\{ \sum_n^N \Delta \bar{p}_n(t) \right\}^2 \right\rangle = N \langle (\Delta \bar{p}_n)^2 \rangle + N^2 \langle \Delta \bar{p}_n \Delta \bar{p}_m \rangle,$$

$$\langle T \rangle = \sigma_p / 2m$$

В случае "обычного" (т.е. некогерентного и некоррелированного) состояния флуктуации импульса на разных состояниях взаимно независимы и $\langle \Delta \bar{p}_n \Delta \bar{p}_m \rangle = 0$. В этом случае среднее значение кинетической энергии частицы определяется величиной $\langle T_{noncorr} \rangle = N \langle (\Delta \bar{p}_n)^2 \rangle / 2m = N \langle T_n \rangle$.

Это соотношение соответствует стандартным представлениям - средняя кинетическая энергия частицы в системе квантовых уровней в потенциальной яме равна сумме средних энергий на этих уровнях.

В случае когерентного коррелированного состояния $\langle \Delta \bar{p}_n \Delta \bar{p}_m \rangle \neq 0$ и средняя кинетическая энергия равна

$$\langle T_{corr} \rangle = \sigma_p / 2mN = \langle (\Delta \bar{p}_n)^2 \rangle / 2m + N^2 \langle \Delta \bar{p}_n \Delta \bar{p}_m \rangle / 2m =$$

$$\langle T_{noncorr} \rangle + N^2 \langle \Delta \bar{p}_n \Delta \bar{p}_m \rangle / 2m$$

В этом случае происходит значительное возрастание средней кинетической энергии частицы в многоуровневой системе.

В частности, если

$$\langle (\Delta \bar{p}_n)^2 \rangle / 2m = \langle \Delta \bar{p}_n \Delta \bar{p}_m \rangle / 2m = \langle T \rangle / N,$$

то в случае некогерентного некоррелированного) состояния $\langle T_{noncorr} \rangle = N \langle T_n \rangle$, а для когерентного коррелированного состояния $\langle T_{corr} \rangle = (N + 1) \langle T_{noncorr} \rangle$.

Видно, что в этом случае имеет место возрастание средней кинетической энергии в $N + 1 \gg 1$ раз. Наличие или отсутствие таких гигантских флуктуаций импульса схематически изображено большим вектором под правым рисунком на фиг.4 и очень малым вектором под левым рисунком. В реальной ситуации соотношение между этими флуктуациями на много порядков больше.

Формально наличие такого состояния характеризуется коэффициентом корреляции, определяемым формулой

$$r(t) = \langle q\bar{p} + \bar{p}q \rangle / 2\delta q \delta p, \quad \delta q = \sqrt{\sigma_q}, \quad \delta p = \sqrt{\sigma_p},$$

а также видоизмененным соотношением неопределенностей (соотношением неопределенностей Шредингера-Робертсона)

$$\delta q \delta p \geq \hbar / 2\sqrt{1 - r^2}$$

Величина $|r|$ изменяется в интервале $0 \leq |r| \leq 1$. В отсутствии корреляции между координатой q и импульсом p частицы имеем $r = 0$, а последняя формула принимает вид соотношения неопределенностей Гейзенберга $\delta q \delta p \geq \hbar/2$.

В предельном случае полностью коррелированного состояния $|r| \rightarrow 1$, дисперсия импульса частицы становится неограниченно большой, а коэффициент прозрачности D любого потенциального барьера возрастает до максимальной величины $D \rightarrow 1$ при произвольной малой энергии частицы.

В работах, в частности, показано, что при быстром монотонном сжатии потенциальной ямы, в которой находится одна из взаимодействующих частиц, коэффициент корреляции возрастает до величины $|r| \geq 1 - 10^6$, что приводит к увеличению коэффициента прозрачности на много порядков от предельно малых величин $D_{noncorr} \approx 10^{-100} \dots 10^{-1000}$ для "обычных" (некоррелированных) состояний частицы до величины $D_{corr} \rightarrow 1$.

Подобные потенциальные ямы из-за локальной неоднородности процесса роста и динамического характера биофизических явлений (деление клеток, репликация ДНК и др.) с неизбежностью возникают в зоне роста любого биологического объекта, существуют определенное время, а затем исчезают из-за влияния случайных соударений атомов и молекул.

В каждой из таких изменяющихся потенциальных ям возможно на короткое время формирование когерентных коррелированных частиц, находящихся в этом месте. Если при этом в данном месте будет присутствовать оба потенциально пригодных для необходимого синтеза ядра (например, атомы стронция и водорода), то вероятность реакции утилизации радионуклида $Cs^{137} + p = Ba^{138}$ будет очень большой. При этом в быстро растущих биологических объектах является непрерывное самовоспроизводство большого количества таких сжимающихся потенциальных ям, каждая из которых при наличии всех требуемых условий является одноразовым ядерным микрореактором. В статических системах такой эффект невозможен.

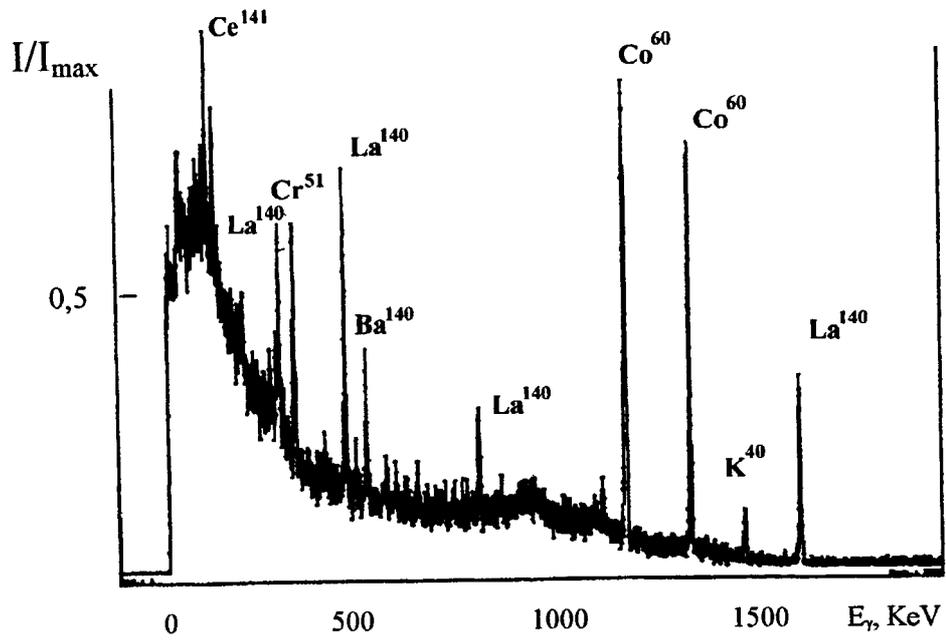
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

СПОСОБ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ

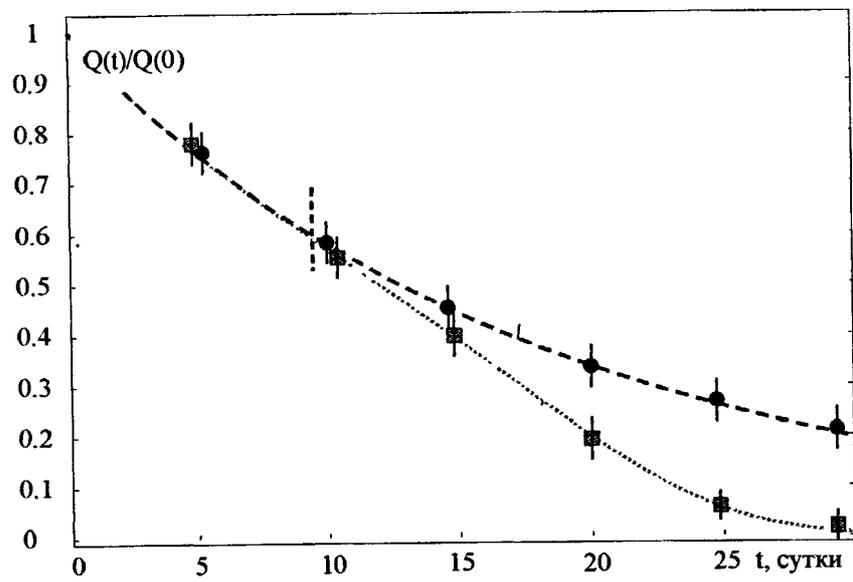
1. Способ очистки воды от радионуклидов заключающийся в создании в очищаемом водном растворе условий для ядерной трансмутации в растущих микробиологических культурах радиоактивных изотопов одних химических элементов (Изотоп 3) в нерадиоактивные изотопы других химических элементов (Изотоп 1), для чего сначала приготавливают питательную среду для роста микробиологических культур, дефицитную по химическому элементу, соответствующему Изотопу 1, и содержащую необходимые для трансмутации исходные изотопные компоненты (Изотоп 2), после чего в указанную питательную среду добавляют биомассу микроорганизмов, затем осуществляют в три стадии процесс трансмутации, в течение первой стадии стимулируют эффект мутагенной адаптации содержащихся в биомассе микроорганизмов к Изотопам 3 путем поэтапного выдерживания биомассы микроорганизмов в течение времени в интервале от 10 часов для аэробных микроорганизмов до 24 часов для анаэробных микроорганизмов, в жидкости, состав которой включает воду в количестве достаточном для покрытия объема биомассы с питательной средой и, поэтапно увеличивающееся, путем добавления порций подлежащего очистке водного раствора с радионуклидами, которые не приводят к гибели биомассы за счет радиоактивного облучения, вплоть до достижения концентрации подлежащего очистке раствора, после чего в течение второй стадии производят оптимизацию биологической части процесса трансмутации в полученном растворе путем отдельного добавления в разные небольшие части полученного водного раствора основных необходимых микроэлементов и/или комбинаций этих микроэлементов, и, после выдержки в этих частях в течение определенного времени одинакового количества прошедшей мутагенную адаптацию биомассы, выбора тех микроэлементов и/или комбинаций этих микроэлементов, которые максимально ускоряют процесс трансмутации, затем на третьей стадии добавляют в очищаемый водный раствор выбранные микроэлементы и/или выбранные комбинации микроэлементов в необходимом количестве, обеспечивающем максимальную скорость трансмутации изотопов 3 во всем объеме подлежащего очистке водного раствора, и выдерживают в течение времени, необходимого для достижения требуемой величины

остаточной радиоактивности очищаемого раствора, после чего биомасса микроорганизмов удаляется из очищаемой воды.

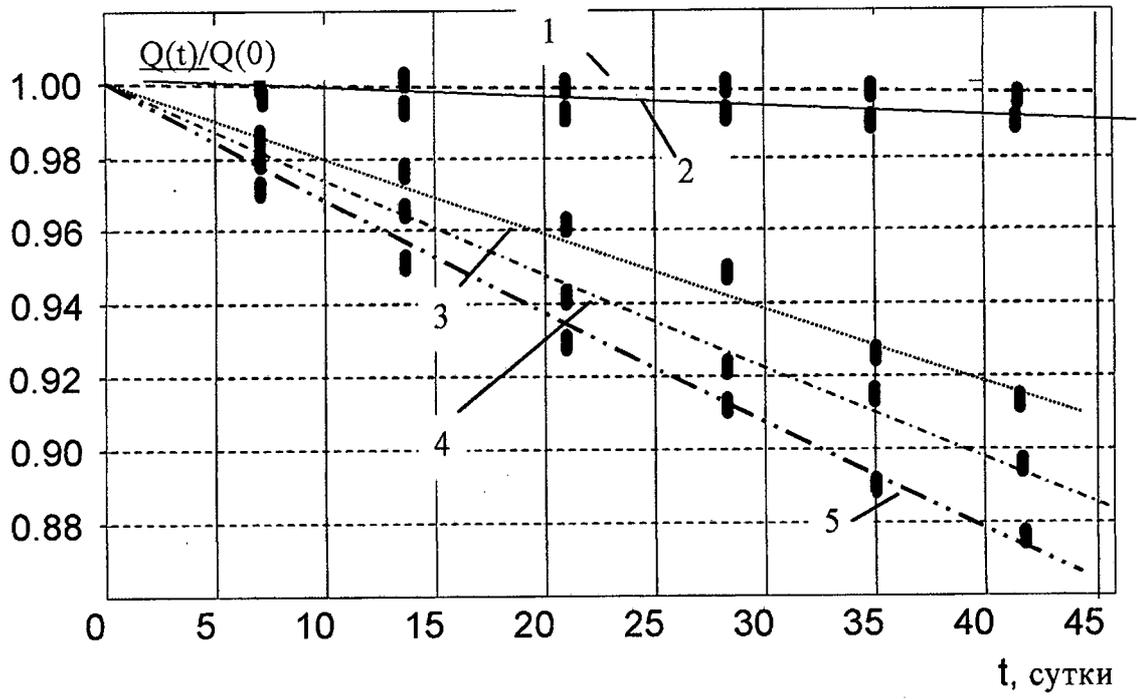
2. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что выдерживание на первой стадии процесса осуществляется при температуре в интервале 30-40°С.
3. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что после добавления биомассы микроорганизмов в питательную среду проводят гранулирование полученной субстанции в присутствии соединений, образующих стабильные неразмокаемые в воде гранулы, структура которых не препятствует свободному движению воды и растворенных в ней солей и радионуклидов по всему объему гранул
4. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что биомассу микроорганизмов формируют с использованием синтрофных ассоциаций аэробных и анаэробных микроорганизмов.
5. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что при очистке от радионуклидов растворов содержащих морскую воду используют биомассу микроорганизмов, включающую микробные синтрофные ассоциации в жизнеспособном состоянии, адаптированные к морской воде, например, на основе природных жизнеспособных илов, для которых морская вода является естественной средой.
6. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что в течение третьей стадии процесса трансмутации осуществляют непрерывное перемешивание водного раствора с биомассой микроорганизмов и/или продувание воздуха (барботирование) сквозь водный раствор с биомассой.
7. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что при очистке водных растворов от радионуклидов ${}_{55}\text{Cs}^{137}$ и ${}_{38}\text{Sr}^{90}$ из состава питательной среды исключают или снижают концентрацию элементов *Mg* и *K*.



Фиг.1



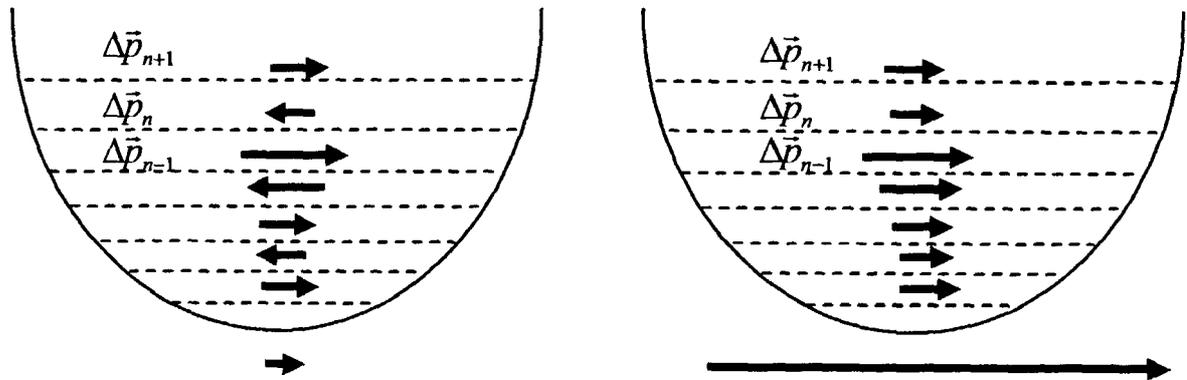
Фиг.2



Фиг.3

НЕКОРРЕЛИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

КОРРЕЛИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ



Фиг.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2014/000273

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER C02F 3/00 (2006.01); G21F 9/04 (2006.01); C12N 5/00 (2006.01)		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C02F 1/00, 3/00, 3/30, G21F 9/00, 9/04, G21G 5/00, C12N 1/00, 5/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) NCBI, PubMed, PatSearch (RUPTO internal), USPTO, WIPO, PAJ, Esp@cenet, PCT online, USPTO DB, CIPO(Canada PO), SIPO DB, KIPRIS		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KHIZHNIAK T.V. Bakterialnaya transformatsiya i immobilizatsiya tiazhelykh metallov i radionuklidov. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora biologicheskikh nauk, M., 2013, p.1-49, particularly p.5-7, 12-14, 18, 22, 24, 41	1-7
Y	RU 2052223 C1 (TOVARISCHESTVO S OGRANICHENNOI OTVETSTVENNOSTJU NAUCHNO-PROIZVODITELNOE OBEDINENIE «INTER-NART») 10.01.1996, the abstract, p. 3-7, the claims	1-7
Y	RU 2330339 C1 (GOSUDARTSVENNOE OBRAZOVATELNOE UCHREZHDENIE VYSSHEGO PROFESSIONALNOGO OBRAZOVANIYA «SANKT-PETERBURGSKY GOSUDARSTVENNY TEKHNOLOGICHESKY INSTITUT») 27.07.2008, p.4, line 12	1-7
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
“A”	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“E”	earlier application or patent but published on or after the international filing date	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L”	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O”	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&” document member of the same patent family
“P”	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 22 December 2014 (22.12.2014)		Date of mailing of the international search report 29 January 2015 (29.01.2015)
Name and mailing address of the ISA/ RU RU		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2014/000273

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	UA 10809 A (OBSHESTVO S OGRANICHENNOI OTVESTVENNOSTJU NAUCHNO-PROIZVODSTVENNAYA FIRMA «BIOEK») 25.12.1996, the abstract, example, the claims	1-7
Y	RU 126327 U1 (OBSHESTVO S OGRANICHENNOI OTVETSTVENNOSTJU «PLANTATSIYA» et al.) 27.03.2013, the abstract, the claims	5
A	RU 2090944 C1 (BELOIARSKAYA ATOMNAYA ELEKTROSTATSIYA et al.) 20.09.1997, p.6, lines 14-24	1-7

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2014/000273

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ		<p><i>C02F 3/00 (2006.01)</i> <i>G21F 9/04 (2006.01)</i> <i>C12N 5/00 (2006.01)</i></p>	
Согласно Международной патентной классификации МПК			
B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА		<p>Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)</p> <p>C02F 1/00, 3/00, 3/30, G21F 9/00, 9/04, G21G 5/00, C12N 1/00, 5/00</p>	
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки			
Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)			
NCBI, PubMed, PatSearch (RUPTO internal), USPTO, WIPO, PAJ, Esp@cenet, PCT online, USPTO DB, CIPO(Canada PO), SIPO DB, KIPRIS			
C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:			
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №	
Y	ХИЖНЯК Т.В. Бактериальная трансформация и иммобилизация тяжелых металлов и радионуклидов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук, М., 2013, с.1-49, особенно с.5-7, 12-14, 18, 22, 24, 41	1-7	
Y	RU 2052223 C1 (ТОВАРИЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ НАУЧНО-ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ИНТЕР - НАРТ») 10.01.1996, реферат, с. 3-7, формула	1-7	
Y	RU 2330339 C1 (ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ») 27.07.2008, с.4, строка 12	1-7	
<input checked="" type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы С.		<input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении	
* Особые категории ссылочных документов:	<p>“Т” более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</p> <p>“Х” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности</p> <p>“У” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста</p> <p>“&” документ, являющийся патентом-аналогом</p>		
“А” документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным			
“Е” более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее			
“L” документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)			
“O” документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.			
“P” документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета			
Дата действительного завершения международного поиска	Дата отправки настоящего отчета о международном поиске		
22 декабря 2014 (22.12.2014)	29 января 2015 (29.01.2015)		
Наименование и адрес ISA/RU: Федеральный институт промышленной собственности, Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59, ГСП-3, Россия, 125993 Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37	Уполномоченное лицо: А.Силкин Телефон № 495 531 65 15		

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2014/000273

С. (Продолжение). ДОКУМЕНТЫ СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕВАЛЕНТНЫМИ		
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
Y	UA 10809 A (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «БИОЭК») 25.12.1996, реферат, пример, формула	1-7
Y	RU 126327 U1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ПЛАНТАЦИЯ» и др.) 27.03.2013, реферат, формула	5
A	RU 2090944 C1 (БЕЛОЯРСКАЯ АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАЦИЯ и др.) 20.09.1997, с.6, строки 14-24	1-7