

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О ЗЕМЛЕ
Совет молодых ученых



КРУГЛЫЙ СТОЛ МАГИСТРАНТОВ, АСПИРАНТОВ И СОИСКАТЕЛЕЙ ОТДЕЛЕНИЯ ХИМИИ И НАУК О ЗЕМЛЕ НАН БЕЛАРУСИ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
(Минск, 28 февраля 2024 г.)

Научное электронное издание



Минск
«Беларуская навука»
2024

УДК [54+55](043.2)
ББК 94.3
К84

Редакционная коллегия:

А. В. Труханов (гл. редактор), В. Г. Левашкевич (зам. гл. редактора),
И. Е. Глазов, Е. А. Кухарик

Круглый стол магистрантов, аспирантов и соискателей Отделения химии и наук о земле НАН Беларуси : тезисы докладов (Минск, 28 февраля 2024 г.) [Электронный ресурс] / Национальная академия наук Беларуси, Отделение химии и наук о Земле, Совет молодых ученых ; редкол.: А. В. Труханов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2024. – 17, [1] с.

ISBN 978-985-08-3176-7.

Представлены результаты исследований молодых ученых Отделения химии и наук о Земле НАН Беларуси в рамках магистерских/кандидатских диссертаций, которые посвящены решению актуальных проблем в области неорганической, органической химии и наук о Земле.

Рассчитано на научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов, осуществляющих научно-исследовательскую деятельность в области химии и наук о Земле.

УДК [54+55](043.2)
ББК 94.3

ISBN 978-985-08-3176-7

© Национальная академия наук Беларуси, 2024
© Оформление. РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| <i>Дорожко Е. Ю., Янута Ю. Г.</i> Аналитический обзор состояния донных отложений водных объектов Республики Беларусь по антропогенной нагрузке | 4 |
| <i>Бондаренко Ю. А.</i> Расчет оптимальных сроков сева озимых зерновых с учетом поправок на микроклиматическую составляющую | 5 |
| <i>Хвацевский М. И.</i> Микроэлементы в растительности и почвах фоновых территорий юго-запада Беларуси | 6 |
| <i>Вонсович Н. В.</i> Биозона слабоосновного анионита Токем-400 в равновесии с трехкомпонентными растворами NO_3^- - SO_4^{2-} - H_2PO_4^- | 7 |
| <i>Назаров Е. А., Глевицкая Т. А., Бильдюкевич А. В.</i> Половолоконные ультрафильтрационные мембраны на основе полиакрилонитрила | 8 |
| <i>Николайчук В. В., Гецевич Е. В., Куликовская В. И., Гилевская К. С.</i> Получение и свойства комплексов на основе нанокompозитов полисахарид-серебро, антибиотиков и антисептиков | 9 |
| <i>Семков И. Д., Бородина К. В., Грибовская О. В.</i> Синтез пептидных лигандов для избирательной сорбции интерлейкинов | 10 |
| <i>Павлович Д. И.</i> Получение новых β -селективных ингибиторов белка теплового шока на основе бензизоксазол-5-карбоновых кислот | 12 |
| <i>Воробьева А. О.</i> Дизайн и синтез новых ингибиторов белка теплового шока HSP90 на основе 6,7-дигидробензизоксазол-4(5H)-онов | 13 |
| <i>Дикая А. С.</i> Адсорбция и иммобилизация ионов Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} сложными (Ca, Mg)-Zr фосфатами | 14 |
| <i>Бичева Е. С.</i> Физико-химические и адсорбционные свойства ионообменников на основе Li_2TiO_3 и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ | 15 |
| <i>Маслова Л. Ю., Крутько В. К., Мусская О. Н.</i> Композиты на основе кальцийфосфатной пенокерамики и геля гидроксиапатита | 16 |
| <i>Дорошенко А. Е., Крутько В. К., Мусская О. Н.</i> Кальцийфосфатные покрытия, электрохимически осажденные на титане | 17 |

Е. Ю. ДОРОЖКО, Ю. Г. ЯНУТА

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ

*ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»,
ул. Франциска Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь; e-mail: elizaveta2002belstu@gmail.com*

Введение. Донные отложения – это органоминеральные образования, образующиеся в результате многолетней седиментации вещества в водных объектах. Исследование форм загрязняющих веществ может дать ценную информацию о составе и экологической обстановке водных экосистем. Одной из основных причин загрязнения донных отложений является антропогенная деятельность. Выбросы промышленных предприятий, промышленные отходы, бытовые и сточные воды оказывают негативное влияние на качество донных отложений. Отложившийся в руслах техногенный ил изменяет качество воды, приводит к нарушению биологического равновесия, подавлению самоочищения водоема, изменению экосистемы.

Результаты и их обсуждение. В Республике Беларусь находится более 20,0 тыс. водотоков общей протяженностью свыше 90,6 тыс. км и более 10,0 тыс. озер, в которых сосредоточено около 9 км³ воды. Наиболее обеспечены водными ресурсами Витебская и Гродненская области, наименее – Гомельская и Брестская, к числу водохранилищ относится 153 водохранилища с общей площадью зеркала 822 км². В последнее время остро стоит проблема сброса недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты, что приводит к изменению показателей качества водных ресурсов [1]. Отмечается, что в донных отложениях наиболее значительная часть органических и неорганических загрязняющих веществ может накапливаться и при определенных условиях (взмучивание ветром, изменение значений кислотности, минерализация воды и т. д.) они могут переходить обратно в воду, вызывая вторичное загрязнение.

Приrost и токсическое действие загрязняющих веществ в донных отложениях зависит от различных факторов, таких как природные и физико-химические свойства загрязняющих веществ, тип донных отложений, температурные условия, окислительно-восстановительные условия, наличие высокодисперсных частиц и их способности к сорбции и т. д. Мелкая глубина воды, особенности водосбора, характер стока сточных вод, наличие взвешенных веществ, характерных для большинства водотоков и водоемов, способствуют осаждению загрязняющих веществ, которые уже сорбировались на взвешенные частицы, без значительного изменения их химического состава и аккумуляции на дне [2].

Заключение. Таким образом, донные отложения выступают в качестве показателей качества водного объекта. По содержанию загрязняющих веществ в донных отложениях можно проследить миграцию форм по многолетней седиментации вещества. Изучение донных отложений представляет собой перспективную отрасль в области экологических исследований.

Литература и источники

1. Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cricuwr.by>. – Дата доступа: 19.01.2024.
2. Akcil, A. A review of approaches and techniques used in aquatic contaminated sediments: metal removal and stabilization by chemical and biotechnological processes / A. Akcil // J. Cleaner Prod. – 2015. – Vol. 86. – P. 24–36.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ СРОКОВ СЕВА ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ С УЧЕТОМ ПОПРАВОК НА МИКРОКЛИМАТИЧЕСКУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»,
ул. Франциска Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь; e-mail: bondarenyura@gmail.com

Введение. Сроки сева озимых культур оказывают огромное влияние на величину урожая и его качество. Они устанавливаются с расчетом, чтобы растения до прекращения вегетации хорошо раскустились, приобрели закалку к низким температурам и устойчивость к вредителям и болезням в зимний период. В зависимости от почвенно-климатических условий района при отклонении сроков сева от оптимальных на 15–20 дней урожайность озимых может снижаться более чем на 30 % [1].

Результаты и их обсуждение. В работах [2, 3] указан алгоритм расчета и коррекции оптимальных сроков начала и конца сева озимых культур в зависимости от прогнозируемой температуры воздуха на сентябрь. При переходе на уровень, соответствующий конкретным полям хозяйства, важное значение приобретает учет микроклимата полей. На основании литературных источников составлена таблица поправок температуры на рельеф и тип почвы [4].

Поправочные значения к температуре воздуха в зависимости от различных типов рельефа и почв и их влияние на дату сева

| Показатель | Поправка (изменение) температуры, °С | Изменение даты начала сроков сева озимых |
|---|--------------------------------------|--|
| <i>Форма рельефа</i> | | |
| Вершины холмов и южные склоны | 1 | –1; –3 |
| Северные склоны и прилегающие части дна долин | –1 | +1; +3 |
| Глубокие котловины и ямы | –2 | –2; –5 |
| Западные и восточные части склонов, равнины | 0 | 0 |
| <i>Тип почвы</i> | | |
| Песчаная, супесчаная | +2,0 | –3; –5 |
| Легкосуглинистая | +1,0 | –1; –3 |
| Среднесуглинистая | 0 | 0 |
| Тяжелосуглинистая, глинистая | –1,0 | +1; +3 |

Необходимо отметить, что за осенний период наибольшее количество часов солнечного сияния и тепла приходится на сентябрь. Это позволяет использовать поправочные значения для температуры в зависимости от рельефа и типов почв в совокупности с поправкой на прогноз температуры воздуха в сентябре для уточнения оптимальных сроков сева озимых для конкретного поля.

Заключение. Разработан алгоритм расчета оптимальных сроков сева озимых зерновых культур для конкретного поля с учетом особенностей его микроклимата (рельеф, почва).

Литература

1. Федосеев, А. П. Агротехника и погода / А. П. Федосеев. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 240 с.
2. Оценка изменений агроклиматических ресурсов территории Республики Беларусь в период осеннего сева сельскохозяйственных культур : отчет о НИР (заключительный) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования ; отв. исп. В. И. Мельник. – Минск, 2021. – 64 с. – № ГР 20212460.
3. Оценка изменений агроклиматических ресурсов территории Республики Беларусь в период осеннего сева озимых зерновых культур / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. – 2022. – № 1. – С. 5–15.
4. Ковриго, П. А. Метеорология и климатология : учебник / П. А. Ковриго. – Минск : Вышэйшая школа, 2022. – 414 с.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВАХ ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ

ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси»,
ул. Советских Пограничников, 41, 220030, г. Брест, Беларусь; e-mail: maxim130201@mail.ru

Введение. В настоящее время под влиянием антропогенного воздействия наблюдается трансформация естественных биогеохимических процессов в экосистемах. В частности, выбросы как от стационарных, так и от мобильных источников приводят к изменению микроэлементного состава компонентов природных экосистем.

В связи с этим становится актуальным выявление фонового содержания загрязняющих веществ для обеспечения корректной оценки степени изменения состояния компонентов окружающей среды как под влиянием глобальных процессов, так и в ареалах импактного воздействия опасных в экологическом отношении предприятий.

Результаты и их обсуждение. Для условий юго-запада Беларуси нами были рассчитаны субрегиональные фоновые значения содержания приоритетных элементов-загрязнителей (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Cr) для дерново-подзолистых песчаных почв, лесных подстилок, коры и хвои сосны обыкновенной.

Для почв в качестве референтных значений мы использовали кларковые содержания по Виноградову, среднее для почв Беларуси (по данным Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь за 2000–2016 гг.) и дерново-подзолистых песчаных почв (Республика Беларусь) [1]. Для дерново-подзолистых песчаных почв исследуемого субрегиона характерны более низкие концентрации большинства элементов, по сравнению с кларком почв мира и средним содержанием в почвах Беларуси. Рассчитанные фоновые концентрации Cu, Mn, Ni, Co, Cr ниже референтных более чем в 10 раз, Zn – в 7, Cd – почти в 2 раза. При этом концентрация Pb составила 7,32 мг/кг и приблизилась к среднему значению в почвах Беларуси (8,2 мг/кг). Ранжированный ряд микроэлементов в фоновых почвах выглядит следующим образом (мг/кг): Mn (10,12) > Pb (7,32) > Zn (4,02) > Cr (1,95) > Cu, Ni (0,70) > Co (0,23) > Cd (0,03). Ранжированный ряд содержания микроэлементов в лесных подстилках имеет следующий вид (мг/кг): Mn (128,02) > Zn (43,48) > Pb (6,82) > Cu (5,05) > Ni (2,17) > Cr (0,90) > Cd (0,39) > Co (0,33).

Средневзвешенное фоновое содержание элементов в хвое сосны обыкновенной было сравнено с данными о содержании микроэлементов в референтном растении [2]. Так же, как и в случае с почвами отмечается более низкая концентрация большинства элементов в хвое, однако содержания Ni и Cr близки к референтному уровню, а содержание Fe превышает его в 1,67 раза. Ранжированный ряд элементов для хвои сосны обыкновенной имеет следующую последовательность (мг/кг): Mn (51,84) > Zn (20,96) > Cu (2,29) > Ni (1,35) > Cr (1,31) > Pb (0,29) > Cd (0,08) > Co (0,06).

Фоновые концентрации микроэлементов для коры сосны обыкновенной представлены в следующем ранжированном ряду (мг/кг): Mn (69,10) > Fe (55,27) > Zn (21,65) > Cu (2,22) > Pb (1,50) > Cd (0,85) > Cr (0,84) > Ni (0,62) > Co (0,05).

Заключение. Исследуемые элементы в нативных дерново-подзолистых почвах юго-запада Беларуси содержатся в нижекларковых концентрациях как для почв мира, так и для условий Республики Беларусь; лишь содержание Pb сопоставимо с региональным кларком. Полученные данные о субрегиональном фоновом содержании элементов в почвах, подстилках, хвое и коре сосны обыкновенной являются основой для проведения оценок экологического состояния территорий по геохимическим и биогеохимическим критериям.

Литература

1. Петухова, Н. Н. Оценка загрязнения почв Республики Беларусь тяжелыми металлами / Н. И. Петухова, В. М. Феденя, В. И. Матвеева // Природные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 20–23.
2. The biological system of the elements / V. Markert [et al.] // Chem. Evol. – Springer Int. Publ., 2015. – P. 63–104.

БИОЗОНА СЛАБОУСНОВНОГО АНИОНИТА ТОКЕМ-400 В РАВНОВЕСИИ С ТРЕХКОМПОНЕНТНЫМИ РАСТВОРАМИ NO_3^- - SO_4^{2-} - H_2PO_4^-

ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси»,
ул. Сурганова, 13, 220072, г. Минск, Беларусь; e-mail: natasha_ya_vonsovich@tut.by

Введение. Разработка и эффективное использование ионообменных субстратов для растений требуют знания ионообменных свойств ионитов, входящих в их состав [1]. Ионный состав компонента (катионита или анионита) искусственной почвы, согласно [2], должен быть таким, при котором он находится в равновесии с питательным раствором для выращивания растений. В работе [2] на треугольных диаграммах представлены составы известных питательных растворов в виде области, которая получила название биозона. Каждой точке биозоны питательных растворов соответствует точка биозоны ионита. Знание последних необходимо для задания ионитам необходимого ионного состава при производстве искусственных почв [2]. Цель работы – экспериментально определить биозону слабоосновного гелевого акрил-дивинилбензолного анионита Токем-400 с третичными алифатическими аминогруппами (ООО ПО «ТОКЕМ», г. Кемерово, Российская Федерация).

Результаты и их обсуждение. Для выяснения границ биозоны анионита были выбраны 10 питательных растворов (см. рисунок, точки 1–10), находящихся на границе биозоны растворов. В динамических условиях исследуемый полимер был приведен в равновесие с ними, после чего удалось определить ионный состав фазы ионита. Полученные результаты в виде эквивалентных долей приведены на рисунке (точки 1*–10*).

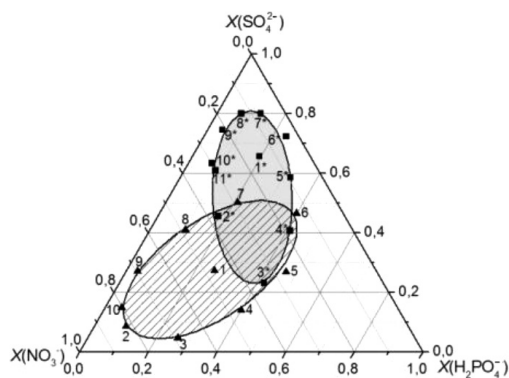


Диаграмма составов питательных растворов (заштрихованная область) и ионных составов анионита Токем-400, равновесного им (серая область)

Видно, что положение биозоны ионита существенно отличается от положения биозоны питательных растворов и смещено в область преимущественного содержания сульфата. При выбранных экспериментальных условиях насыщения (суммарная концентрация анионов в растворе 20 мэкв/л, рН 6,5) реализованная емкость Токем-400 достигла 4,3 мэкв/г, что составляет 81 % от полной ионообменной емкости ионита.

Заключение. Для анионита Токем-400 в многокомпонентных растворах, содержащих биоанионы (SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , NO_3^-), наблюдается высокая селективность по сульфат-ионам. Количество поглощенного азота (ключевого элемента для роста растений) достаточно высокое, что свидетельствует о перспективности

исследованного полимера в качестве анионообменного компонента ионитных субстратов для выращивания растений.

Литература

1. Влияние кислотности и концентрации питательного раствора на биозоны ионитных субстратов / В. В. Матусевич [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 1997. – Т. 41, № 2. – С. 64–67.
2. Солдатов, В. С. Ионитные почвы / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко. – Минск : Наука и техника, 1978. – 270 с.

Е. А. НАЗАРОВ, Т. А. ГЛЕВИЦКАЯ, А. В. БИЛЬДЮКЕВИЧ

ПОЛОВОЛОКОННЫЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

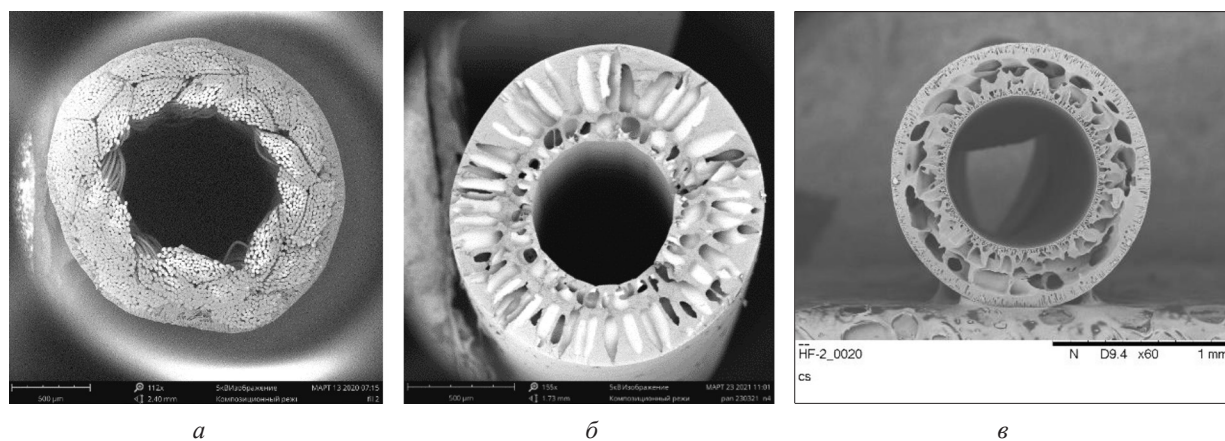
ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси»,
ул. Сурганова, 13, 220072, г. Минск, Беларусь; e-mail: nazevgeny@gmail.com

Введение. Мембранные технологии представляют собой одно из наиболее эффективных решений мировой проблемы нехватки чистой и питьевой воды и очистки сточных вод. Для водоочистки и водоподготовки широко используют полволоконные (ПВ) мембраны, которые отличаются высокой эффективной фильтрующей поверхностью, высокой удельной производительностью, а также компактностью аппаратного оформления.

Результаты и их обсуждение. ПВ мембраны получали методом свободного прядения из растворов смеси сополимеров акрилонитрила (АН) с различной молекулярной массой. В качестве внутреннего осадителя использовали воду. Исследована зависимость транспортных свойств мембран и их структуры от параметров формования (давления формовочного раствора, давления и температуры внутреннего осадителя). Показано, что с увеличением давления внутреннего осадителя от 0,11 до 0,2 атм при постоянном давлении полимера 1,0 атм удельная производительность мембран возрастает с 510 до 950 л/м²·ч и уменьшается толщина стенок волокна. При постоянном значении давления внутреннего осадителя (0,25 атм) с увеличением давления формовочного раствора с 1,0 до 1,4 атм удельная производительность мембран снижается с 610 до 530 л/м²·ч и увеличивается толщина стенок.

Выявлено, что повышение температуры внутреннего осадителя с 25 °С до 40 °С при близких значениях иных параметров формования приводит к значительному увеличению удельной производительности ПВ мембран.

На основе полученных данных были получены опытные образцы ПВ мембран с различными типами фильтрации (см. рисунок).



СЭМ-микрофотографии полволоконных мембран на основе смеси сополимеров акрилонитрила с типом фильтрации снаружи-внутри (а, б) и изнутри-наружу (в)

Заключение. Изучены зависимости параметров формования на структуру и транспортные свойства ПВ мембран на основе смеси сополимеров АН. Получены опытные образцы многоканальных ПВ мембран.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Разработка механически прочных полволоконных мембран с повышенной устойчивостью к засорению для водоподготовки и водоочистки» задания 2.1.02 Государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия».

В. В. НИКОЛАЙЧУК, Е. В. ГЕЦЕВИЧ, В. И. КУЛИКОВСКАЯ, К. С. ГИЛЕВСКАЯ

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИСАХАРИД-СЕРЕБРО, АНТИБИОТИКОВ И АНТИСЕПТИКОВ

*ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси»,
ул. Франциска Скорины, 36, 220084, г. Минск, Беларусь; e-mail: vica10bcn@gmail.com*

Введение. Одним из перспективных подходов к преодолению резистентности бактерий является разработка новых лекарственных форм для веществ с доказанной антимикробной активностью, например, путем создания полимер-неорганических композиционных материалов, обеспечивающих синергетический антибактериальный эффект [1]. Цель работы – разработать подходы к получению комплексов наноконпозитов полисахарид-серебро с антибиотиками и антисептиками с регулируемым составом и физико-химическими характеристиками.

Результаты и их обсуждение. В работе использовали предварительно синтезированные в соответствии с принципами «зеленой химии» наноконпозиты хитозан-серебро (Хит-Ag), пектин-серебро (Пект-Ag) и альгинат-серебро (Алг-Ag), антибиотики цефалоспоринового ряда – цефтриаксон (ЦФН) и цефотаксим (ЦФМ), антибиотик фторхинолонового ряда энрофлоксацин (ЭФ), а также катионные антисептики – мирамистин (ММ) и октенидин (ОК). Образование комплексов подтверждено методом УФ/видимой спектроскопии: на спектрах поглощения очищенных (диализом или декантацией) комплексов детектировали характеристические полосы соответствующего антибиотика/антисептика. Методом ИК-спектроскопии доказано, что образование комплексов Хит-Ag/ЦФН, Хит-Ag/ЦФМ и Пект-Ag/ММ происходит за счет электростатического взаимодействия между компонентами. Образование комплексов Алг-Ag/ЭФ и Хит-Ag/ОК также подтверждено методом термогравиметрического анализа.

Установлено, что наибольшая эффективность связывания достигается при массовом соотношении ЦФН : Хит = 1,25, ЦФМ : Хит = 0,5, ММ : Пект = 4 и ЭФ : Алг = 1 составляет $71,7 \pm 0,2$, $66,2 \pm 1,5$, $41,6 \pm 5,3$ и $26,7 \pm 2,0$ % соответственно. Установлено, что максимальное содержание цефтриаксона в комплексе составляет $1,22 \pm 0,08$ мг/мг хитозана, цефотаксима – $1,52 \pm 0,09$ мг/мг хитозана, мирамистина – $2,51 \pm 0,47$ мг/мг пектина, энрофлоксацина – $1,04 \pm 0,15$ мг/мг альгината.

Показана возможность формирования ультратонких пленок, содержащих комплекс наноконпозита с антибиотиком или антисептиком, методом послойного осаждения. Спектрофотометрическим методом доказано формирование мультислойных систем (Хит-Ag/ЦФН//Пект) и (Хит//Пект-Ag/ММ). Согласно данным атомной силовой микроскопии, шероховатость пленок на основе комплекса с мирамистином (Хит//Пект-Ag/ММ) составила 48 ± 15 , 68 ± 12 и 104 ± 23 нм для одного, четырех и десяти бислоев соответственно. Методом кварцевого микровзвешивания установлены количественные закономерности формирования мультислойных пленок (Хит-Ag/ЦФМ//Пект)_{10,5}: рассчитанная толщина пленки $84,2 \pm 0,6$ нм, содержание цефотаксима в пленке $\sim 1,5\text{--}2,0$ мкг/см².

Заключение. Разработаны методики получения комплексов на основе наноконпозитов полисахарид-серебро с антибиотиками и антисептиками с регулируемым составом и физико-химическими характеристиками. Показано, что на основе синтезированных комплексов можно формировать ультратонкие мультислойные пленки, пригодные для модификации хирургических сеток и других имплантов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Х22М-04).

Литература

1. Antibiotic resistance in microbes: History, mechanisms, therapeutic strategies and future prospects / T. M. Uddin [et al.] // J. Infect. Public Health. – 2021. – Vol. 14, № 12. – P. 1750–1766.

СИНТЕЗ ПЕПТИДНЫХ ЛИГАНДОВ ДЛЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ СОРБЦИИ ИНТЕРЛЕЙКИНОВ

ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси»,
ул. Академика Купревича, 5/2, 220084, г. Минск, Беларусь; e-mail: semkov_i@mail.ru

Введение. Интерлейкины (ИЛ) – это обширная (более 11 семейств) группа сигнальных молекул белковой природы, выполняющих различные функции иммунного характера в организме [1]. Например, данные молекулы участвуют в развитии процессов воспаления, играют ключевую роль в высвобождении гистамина, имеют важное значение в секреции антител [2]. В некоторых случаях в работе иммунной системы могут происходить сбои, которые часто приводят к избыточной выработке ИЛ, провоцирующей развитие различных тяжелых патологий, таких как цитокиновый шторм, ревматоидный артрит и т. д. Следовательно, для улучшения общего состояния пациента необходимо удалять из плазмы крови избыток ряда ИЛ. С этой целью может быть применена гемосорбция. Ранее в лаборатории прикладной химии Института биоорганической химии НАН Беларуси были получены пептидные лиганды Glp-His-Trp-OMe, Asp-D-Tyr-Ala-Pro, Asp-D-Tyr-D-Ala-Pro и образцы гемосорбентов на их основе, обладающие различной селективностью к ИЛ-8. Установлено, что наиболее селективным является лиганд Asp-D-Tyr-D-Ala-Pro, связывающий около 84 % ИЛ-8 [3]. Таким образом, крайне важно разработать и отработать схему синтеза тетрапептида, обеспечивающую максимальный выход целевого продукта.

Целевую молекулу синтезировали классическими методами пептидной химии в растворе с использованием коммерчески доступных растворителей и реагентов квалификации «ХЧ», при необходимости их дополнительно очищали по общепринятым методикам. Процессы синтеза и удаления защитных групп контролировали методом тонкослойной хроматографии. Соединения обнаруживали с помощью хлор-бензидиновой пробы. Чистоту и структуру всех синтезированных веществ подтверждали методами ВЭЖХ-масс-спектрометрии, а также ^1H , ^{13}C ЯМР-спектроскопии.

Результаты и их обсуждение. Молекулу тетрапептида получали с применением стратегии сшивки дипептидных фрагментов. Для конденсации блоков были изучены два метода: модифицированный азидный и карбодимиидный. Классический азидный метод был применен при присоединении HCl·Pro-OBzl к Boc-Asp(OBzl)-D-Tyr-D-Ala-OMe (рис. 1).

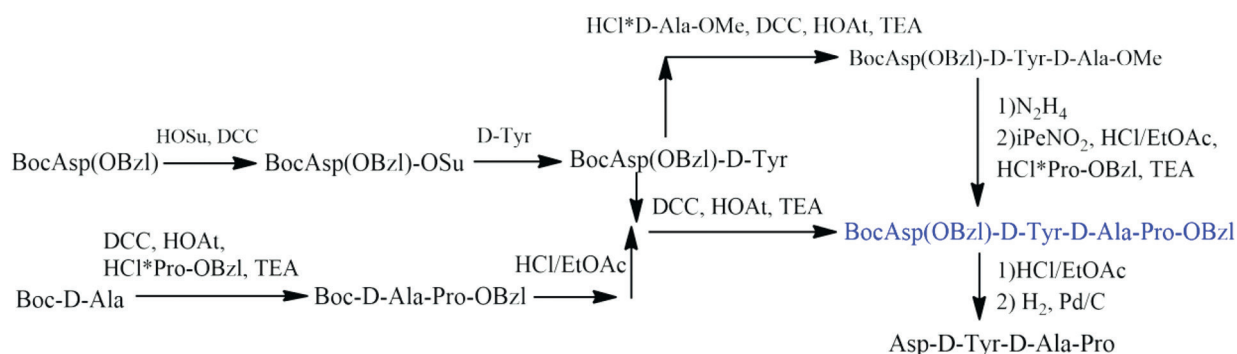


Рис. 1. Стратегия синтеза пептида

Основным способом формирования пептидной связи в схеме, представленной на рис. 1, была выбрана комбинация двух методов: активированных эфиров и карбодимиидного. Boc-Asp(OBzl)-OSu должен быть выделен и очищен от примесей, затем медленно порциями введен в реакцию с избытком D-Tyr (до 10 %) с целью предотвращения протекания побочных процессов ацилирования по фенильной группе. Это позволяет практически исключить

рацемизацию получаемого дипептида. Применение карбодиимидного метода при получении дипептида Boc-D-Ala-Pro-OBzl (16 ч) и сшитого из фрагментов Boc-Asp(OBzl)-D-Тур-D-Ala-Pro-OBzl (16 ч) обусловлено относительной быстротой процесса и низкой рацемизацией конечных продуктов. Выход тетрапептида составил 60 %. Выход тетрапептида, полученного классическим азидным методом, составил 40 %. В качестве альтернативы карбодиимидному также был изучен модифицированный азидный метод, что позволило бы полностью исключить рацемизацию конечного продукта. Было установлено, что по данному методу реакция не протекает (рис. 2).

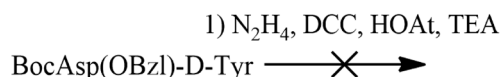


Рис. 2. Отсутствие протекания реакции

Заключение. В ходе работы получен тетрапептид Boc-Asp(OBzl)-D-Тур-D-Ala-Pro-OBzl. Установлено, что наилучший выход продукта достигается применением карбодиимидного метода (60 %), в то время как азидным методом получено лишь 40 %. Модифицированный азидный метод для субстрата Boc-Asp(OBzl)-D-Тур неприменим.

Литература и источники

1. Evolutionary divergence and functions of the human interleukin (IL) gene family / C. Brocker [et al.] // Human Genomics. – 2010. – Vol. 5, № 1. – P. 30–55.
2. Cytokine tutorial, The University of Arizona [Electronic resource]. – Mode of access: <http://microvet.arizona.edu/Courses/MIC419/Tutorials/cytokines.html>. – Date of access: 03.02.2024.
3. Модификация олигопептидов с целью повышения эффективности их взаимодействия с интерлейкином-8 в плазме крови человека / О. В. Грибовская [и др.] // Биоорганическая химия. – 2020. – Т. 46, № 2. – С. 133–139.

Д. И. ПАВЛОВИЧ

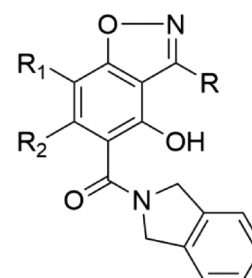
ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ β -СЕЛЕКТИВНЫХ ИНГИБИТОРОВ БЕЛКА ТЕПЛООВОГО ШОКА НА ОСНОВЕ БЕНЗИЗОКСАЗОЛ-5-КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси»,
ул. Академика Купревича, 5/2, 220084, г. Минск, Беларусь; e-mail: dimapavlovich@gmail.com

Введение. Белок теплового шока 90 (HSP90) – это АТФ-зависимый молекулярный шаперон, который ответственен за корректный фолдинг, стабильность и функционирование «клиентских» белков. С конца 1990-х годов семейство HSP90 широко изучается как потенциальная мишень для лечения рака, а также неврологических и инфекционных заболеваний. Первоначальный подход заключался в разработке неселективных, так называемых пан-ингибиторов N-концевого домена HSP90. Многие из этих средств проходили клинические испытания, в основном для лечения рака, но из-за своей низкой эффективности и токсичности, связанной с ответной реакцией на «тепловой шок», они их не прошли (кроме одного). В связи с этим в настоящее время существует гипотеза о преодолении указанных недостатков путем селективного ингибирования одной из четырех изоформ HSP90, в частности β -изоформы. Таким образом, разработка новых β -селективных ингибиторов HSP90 является актуальной задачей [1].

Результаты и их обсуждение. Проанализировав имеющиеся литературные данные и структуру комплекса белок-лиганд, выявив в структуре известного изоформ-селективного ингибитора HSP90 положения для модификации, нами был предложен ряд структур соединений, которые могут проявлять антипролиферативную активность в отношении раковых клеток за счет β -селективного ингибирования HSP90 (см. рисунок) [2]. Данные соединения были синтезированы и отправлены в лабораторию онкопротеомики ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Блохина» (г. Москва) для тестирования на антипролиферативную активность в отношении линий раковых клеток HCC1954 и MCF7.

Заключение. Таким образом, предложен и синтезирован ряд соединений с потенциальной антипролиферативной активностью за счет ингибирования HSP90 β .



R = Me, Et, *n*-Pr, *i*-Pr, Ph
R₁ = Me, Cl
R₂ = Me, H

Общая структура
потенциальных
ингибиторов HSP90 β

Литература

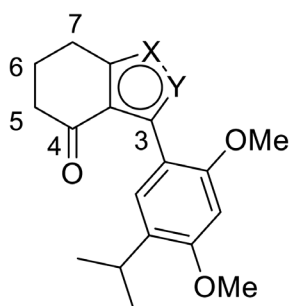
1. Dernovsek, J. Following the design path of isoform-selective HSP90 inhibitors: Small differences, great opportunities / J. Dernovsek, T. Tomasic // *Pharmacology & Therapeutics*. – 2023. – Vol. 245. – Art. No. 108396.
2. Structure-guided design of an HSP90 β N-terminal isoform selective inhibitor / A. Khandelwal [et al.] // *Nature Communications*. – 2018. – Vol. 9. – P. 425–432.

А. О. ВОРОБЬЕВА

ДИЗАЙН И СИНТЕЗ
НОВЫХ ИНГИБИТОРОВ БЕЛКА ТЕПЛООВОГО ШОКА HSP90
НА ОСНОВЕ 6,7-ДИГИДРОБЕНЗИЗОКСАЗОЛ-4(5H)-ОНОВ

ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси»,
ул. Академика Купревича, 5/2, 220084, г. Минск, Беларусь; e-mail: na.varabyeva@gmail.com

Введение. Белок теплового шока 90 (HSP90) является молекулярным шапероном, который играет важную роль в протеостазе как в физиологических условиях, так и в условиях стресса. Он участвует в сворачивании, созревании, деградации и активации белков, называемых субстратами, или клиентами [1]. Таким образом, HSP90 уже давно рассматривается как новая мишень для лечения широкого спектра раковых заболеваний. Сегодня более 20 низкомолекулярных ингибиторов HSP90 уже исследованы или исследуются на различных стадиях клинических и доклинических испытаний [2]. Однако до сих пор не существует одобренного регуляторами противоракового препарата на основе ингибиторов HSP90, поэтому разработка новых ингибиторов белков теплового шока является важной и актуальной задачей.



X = O, Y = N или X = N, Y = O

3-(5-изопропил-2,4-диметоксифенил)-
6,7-дигидробензизоксазол-4(5H)-оны
соединения-лидера составили 0,3 и 0,21 мкМ в отношении линий клеток MCF7 и HCC1954 соответственно.

Заключение. Таким образом, в ходе исследования разработаны новые эффективные подходы к синтезу и модификации 6,7-дигидробензизоксазол-4(5H)-онов. По разработанным схемам получен и протестирован на антипролиферативную активность в отношении клеток рака молочной железы ряд соединений. Полученные соединения в будущем могут быть использованы как основа для создания противоопухолевых препаратов, а разработанные методы модификации применены в синтезе различных биологически активных соединений.

Литература

1. Porter, J. R. Discovery and development of HSP90 inhibitors: a promising pathway for cancer therapy / J. R. Porter, C. C. Fritz, K. M. Depew // *Curr. Opin. Chem. Biol.* – 2010. – Vol. 14, № 3. – P. 412–420.
2. Yu, J. Pan- and isoform-specific inhibition of HSP90: Design strategy and recent advances / J. Yu, C. Zhang, C. Song // *Eur. J. Med. Chem.* – 2022. – Vol. 238. – P. 114516–114534.

АДСОРБЦИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИЯ ИОНОВ Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} СЛОЖНЫМИ (Ca, Mg)-Zr ФОСФАТАМИ

ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси»,
ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Беларусь; e-mail: dikaya-an@mail.ru

Введение. Развитие атомной энергетики обуславливает необходимость поиска новых материалов для переработки жидких радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации атомных электростанций. Актуальным является разработка адсорбентов для одностадийного извлечения нескольких радионуклидов с возможностью последующего перевода отработанного адсорбента в устойчивые керамические матрицы, пригодные для захоронения. Фосфаты многовалентных металлов являются эффективными адсорбентами для извлечения основных дозообразующих радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co . Керамические материалы структурного типа NZP ($Me^I Zr_2(PO_4)_3$ или $Me^{II} Zr_4(PO_4)_6$) являются известной матрицей радионуклидов, характеризующейся высокой механической прочностью, химической, гидrolитической, радиационной устойчивостью, а также низким коэффициентом термического расширения. Цель работы – осуществить разработку адсорбентов на основе (Ca, Mg)-Zr фосфатов для извлечения радионуклидов цезия, стронция, кобальта из водных сред, а также способом иммобилизации радионуклидов в керамические матрицы структурного типа NZP.

Результаты и их обсуждение. Адсорбенты на основе (Ca, Mg)-Zr фосфатов получали гетерогенным взаимодействием фосфатированного доломита и водного раствора нитрата цирконила при молярном соотношении Zr : (Ca + Mg) от 0,10 до 0,62. Методами РФА, ИК-спектроскопии, ДТА-ТГ, SEM-EDX и низкотемпературной адсорбции/десорбции азота изучены физико-химические закономерности получения адсорбентов. Адсорбционные свойства образцов по отношению к ионам Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} исследовали в статических условиях. Изучены изотермы и кинетика адсорбции, влияние pH и солевого состава среды, установлен механизм адсорбции. Методом холодного прессования с последующим спеканием при 900–1100 °С осуществляли перевод отработанных адсорбентов в керамические матрицы. Определены механическая прочность и устойчивость образцов к выщелачиванию иммобилизованных ионов согласно ГОСТ 52126-2003 в дистиллированной воде, а также установлен механизм выщелачивания.

Полученные адсорбенты характеризуются адсорбционной емкостью до 254,7, 275,6, 258,9 мг/г к ионам Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} ($C_0 = 0,05$ М) соответственно. С увеличением соотношения Zr : (Ca + Mg) наблюдается рост адсорбционной активности образцов к ионам Cs^+ и снижение к Sr^{2+} и Co^{2+} . Установлено, что поглощение ионов Cs^+ протекает в результате ионообменного взаимодействия с аморфным гидрофосфатом циркония, в то время как ионов Co^{2+} – хемосорбционного взаимодействия с гидрофосфатами кальция и магния с образованием низкорастворимого $Co_3(PO_4)_2$. Для Sr^{2+} выявлен смешанный механизм адсорбции.

Полученные образцы керамических матриц характеризуются содержанием ионов Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} от 8,0 до 30,2 мас.%, механической прочностью до 260,9 МПа и скоростью выщелачивания не менее $4,3 \cdot 10^{-7}$, $8,6 \cdot 10^{-7}$, $5,7 \cdot 10^{-6}$ г/(см²·сут) соответственно, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 50926-96 для высокоактивных отвержденных отходов. Адсорбированные ионы находятся в составе сложных фосфатов $CsZr_2(PO_4)_3$, $SrZr_4(PO_4)_6$, $Ca_{0,5}Sr_{0,5}Zr_4(PO_4)_6$, $CoZr_4(PO_4)_6$, относящихся к структурному типу NZP. Преобладающими механизмами выщелачивания Cs^+ , Sr^{2+} , Co^{2+} из керамических матриц являются вымывание с поверхности, диффузия и растворение поверхности соответственно.

Заключение. Таким образом, полученные адсорбенты на основе (Ca, Mg)-Zr фосфатов являются перспективными материалами для извлечения и надежной иммобилизации радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co .

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И АДсорбЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИОНООБМЕННИКОВ НА ОСНОВЕ Li_2TiO_3 И $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси»,
ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Беларусь; e-mail: biolog.ketri@yandex.ru

Введение. Литий и его соединения широко применяются в различных областях, обуславливая постоянно возрастающий интерес к разработке экономически доступных и эффективных способов получения лития. Природные рассолы и техногенные отходы переработки литий-ионных батарей имеют высокое содержание ионов Li^+ , что делает перспективным извлечение лития методом адсорбции. Известно, что получение эффективных адсорбентов ионов Li^+ на основе оксидов Li_2TiO_3 и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ во многом определяется методами (твердофазный, гидротермальный, золь-гель и др.) и условиями (природа и концентрация прекурсоров, молярное соотношение $\text{Li} : \text{Ti}$, условия термообработки) синтеза. Однако нерешенной остается проблема низкой кинетики и диффузии из растворов с невысокой концентрацией ионов Li^+ . Одним из эффективных методов решения данной проблемы является модифицирование данных адсорбентов путем допирования ионами 3d- и 4d-металлов.

Результаты и их обсуждение. Методом рентгенофазового анализа установлено, что образцы, полученные твердофазным синтезом, содержат 90–100 % оксидов Li_2TiO_3 и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Образцы, полученные гидротермальным и золь-гель методом, включают примесные фазы (3–24 %) прекурсора TiO_2 . Для установления взаимосвязи между условиями регенерации и адсорбционными свойствами проведено изучение степени перевода в Н-форму и сорбционной емкости оксидов $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и Li_2TiO_3 при варьировании условий регенерации (концентрация HCl , температура раствора HCl и времени контакта). Установлено, что для $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ оптимальными условиями регенерации, позволяющими достигнуть степени перевода ($\alpha(\text{H}^+)$) 99,8 %, являются $C(\text{HCl}) = 0,10 \text{ M}$, $t = 48 \text{ ч}$, $T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Для образца Li_2TiO_3 максимальное значение $\alpha(\text{H}^+)$ находится в диапазоне 88,6–95,5 % при $C(\text{HCl}) = 0,10$ и $0,15 \text{ M}$, $t = 48$ и 72 ч , $T = 60$ и $70 \text{ }^\circ\text{C}$. С целью увеличения эффективности адсорбентов в качестве допанта был выбран ион Fe^{3+} . При введении в структуру ионов Fe^{3+} происходит изменение кристаллической структуры данных оксидов, что оказывает влияние на адсорбцию и кинетику ионов Li^+ . Диапазон допирования ионами Fe^{3+} для образца Li_2TiO_3 составил $x = 0,05$ – $0,35$, для образца $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ – $x = 0,1$ – $0,9$. Установлено, что с увеличением степени допирования до $x \leq 0,9$ для образца $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ происходит встраивание иона Fe^{3+} в позиции 16d и 8a. Для Fe-допированных образцов Li_2TiO_3 при $x \leq 0,35$ также сохраняется моноклинная структура и происходит смещение дифракционных пиков в область более высоких углов 2θ . Анализ перевода в Н-форму и степень выщелачивания металлов показал, что при степени замещенности $x = 0,1$ для $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и $x = 0,05$ для Li_2TiO_3 степень перевода в Н-форму составила $\alpha = 91$ – 98% , что свидетельствует о высоком ионообменном механизме при кислотной регенерации. Выявлено, что при $x = 0,1$ для $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ и $x = 0,05$ для Li_2TiO_3 степень выщелачивания Ti^{4+} и Fe^{3+} составила $\gamma = 0,4$ – $1,2$ и $1,25$ – $3,3 \%$ соответственно. Согласно данным адсорбционного эксперимента, для $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ со степенью замещенности $x = 0,1$ степень адсорбции составила $59,9 \text{ мг/г}$, для Li_2TiO_3 при $x = 0,05$ – $50,3 \text{ мг/г}$.

Заключение. Установлены закономерности синтеза оксидов Li_2TiO_3 и $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ в зависимости от способа получения и природы прекурсора TiO_2 (рутил и анатаз), условия перевода в Н-форму, а также степени замещения ионами Fe^{3+} для улучшения адсорбционных свойств, кинетики и диффузии из растворов, содержащих ионы Li^+ .

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ КАЛЬЦИЙФОСФАТНОЙ ПЕНОКЕРАМИКИ И ГЕЛЯ ГИДРОКСИАПАТИТА

ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси»,
ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Беларусь; e-mail: maslova@igic.bas-net.by

Введение. Наибольший интерес среди синтетических костных имплантатов представляют высокопористые керамические материалы на основе кальцийфосфатов (КФ), поскольку они соответствуют неорганической компоненте кости и могут вызывать биологический ответ, характерный при естественном залечивании костного дефекта [1]. Для большинства существующих КФ материалов, включая составы на основе гидроксиапатита (ГА), характерна низкая скорость резорбции, в то время как для заполнения небольших костных дефектов целесообразно использовать КФ пенокерамику, способную полностью резорбироваться за 3–6 мес.

Результаты и их обсуждение. Биоактивный композит (КФ пенокерамика / гель ГА) получали по разработанной нами методике [2] с дополнительным модифицированием биомиметическим апатитом в растворе Simulated Body Fluid, сконцентрированном в 5 раз (SBF×5), и введением 5 %-го геля ГА при соотношении компонентов по массе (КФ пенокерамика) / (гель ГА) 1 : 3 и 1 : 10. Апатитообразующую способность КФ композитов определяли выдерживанием в растворе SBF×5 при 37 °С в течение 3 сут.

Открытопористая КФ пенокерамика состоит из 82–89 % α/β -трикальцийфосфата $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 5–7 % β -пирофосфата кальция $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ и 11–14 % биомиметического апатита [3], имеет пористость 53–59 %. Модифицирование в растворе SBF×5 при физиологической температуре (37 °С) способствует формированию биомиметического апатита без изменения структуры КФ пенокерамики. Согласно данным рентгенофазового анализа, происходит выдерживание композита (КФ пенокерамика / гель ГА) при соотношении 1 : 3 в SBF×5 в течение 3 сут, наблюдается уменьшение содержания фазы β -трикальцийфосфата наряду с увеличением количества апатита. В составе КФ композита с соотношением (КФ пенокерамика / гель ГА), равном 1 : 10, после выдерживания в SBF×5 фаза β -трикальцийфосфата не обнаруживается, что может быть обусловлено его частичным растворением при взаимодействии с SBF×5 и параллельном формировании биомиметического апатита.

Заключение. Установлено, что апатитообразующая способность и резорбируемость биоактивного композита (КФ пенокерамика / гель ГА) относительно индивидуальной КФ пенокерамики повышается в 3–5 раз [4]. Полученные КФ композиты обладают высокой способностью к резорбции и могут быть использованы в тканевой инженерии для заполнения костных дефектов в ненагруженных областях.

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований на 2021–2025 годы (задание 2.1.04.7) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № X22M-043).

Литература

1. Bone regeneration: current concepts and future directions / R. Dimitriou [et al.] // BMC Medicine. – 2011. – Vol. 9, № 1. – Art. No. 66.
2. Биоактивный резорбируемый композит на основе кальцийфосфатной пенокерамики и геля гидроксиапатита / В. К. Крутько [и др.] // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2022. – Вып. 14. – С. 791–799.
3. Формирование биомиметического апатита на кальцийфосфатной пенокерамике в концентрированной среде SBF×5 / Л. Ю. Маслова [и др.] // Перспективные материалы. – 2022. – № 10. – С. 32–45.
4. Биоактивная кальцийфосфатная пенокерамика, модифицированная биомиметическим апатитом / В. К. Крутько [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 158–168.

А. Е. ДОРОШЕНКО, В. К. КРУТЬКО, О. Н. МУССКАЯ

КАЛЬЦИЙФOSФАТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫЕ НА ТИТАНЕ

ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси»,
ул. Сурганова, 9/1, 220072, г. Минск, Беларусь; e-mail: doroshenko@igic.bas-net.by

Введение. Вплоть до настоящего времени широко используются металлические имплантаты, находящиеся под нагрузкой, на основе титана и его сплавов, обладающие подходящими механическими свойствами и биосовместимостью для замещения костной ткани. Повышение остеointegrации на металлических имплантатах осуществляют нанесением биоактивных кальцийфосфатных (КФ) слоев, химический состав которых подобен костной ткани. Электрохимическое осаждение – метод синтеза КФ на поверхности титана, позволяющий получать покрытия заданного состава при комнатной температуре, одним из преимуществ которого является возможность введения дополнительных ионов в раствор электролита [1]. Введение карбонат-ионов в электролит повышает растворимость [2] и биологическую активность КФ покрытий.

Результаты и их обсуждение. Электрохимическое осаждение из суспензионного электролита $\text{CaCO}_3/\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ при постоянной плотности тока (30 mA/cm^2 , 10 мин) позволяет получать на титане композитные КФ покрытия, состоящие из брушита, кальцита и апатита. Осадок, полученный в объеме ячейки, состоит из кальцита и брушита, в ходе гидролиза и длительного созревания обогащается октакальцийфосфатом [3]. Фазовый состав композиционных порошков после термообработки при $800 \text{ }^\circ\text{C}$ представлен β -трикальцийфосфатом, β -пирофосфатом кальция, гидроксиапатитом и оксидом кальция. Полученный КФ осадок может быть использован в качестве материала для изготовления КФ цементов и керамики для костной пластики.

Выдерживание композитных КФ покрытий в модельном растворе Simulated Body Fluid, сконцентрированном в 3 раза, в течение 7 сут приводит к образованию на их поверхности аморфизированного апатита, что свидетельствует о биоактивности данных покрытий. Рентгеноаморфный апатит после $800 \text{ }^\circ\text{C}$ кристаллизуется в гидроксиапатит. Морфология покрытия изменяется от тонких пластинчатых кристаллитов брушита до околосферических частиц апатита после выдерживания в SBF $\times 3$ и агломератов гидроксиапатита, разделенных протяженными порами, после кристаллизации. Результаты доклинических испытаний *in vivo* на крысах показали повышенную остеointegrацию пластин с КФ покрытиями по сравнению с титаном без покрытия и отсутствие воспалительных реакций со стороны организма.

Заключение. Электроосажденные композитные покрытия являются биоактивными и могут использоваться в качестве покрытий на титановые имплантаты для травматологии, стоматологии, ортопедии и других областей медицины.

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований на 2021–2025 годы (задание 2.1.04.7) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № X22M-043).

Литература

1. Электроосаждение кальцийфосфатных покрытий в среде поливинилового спирта / А. Е. Дорошенко [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2022. – Т. 55, № 6. – С. 17–25.
2. In simulated body fluid performance of polymorphic apatite coatings synthesized by pulsed electrodeposition / S. Liu [et al.] // Mater. Sci. Eng. C. – 2017. – Vol. 79. – P. 100–107.
3. Получение октакальцийфосфата в водной среде при взаимодействии кальцита с монокальцийфосфатом моногидратом / В. К. Крутько [и др.] // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2022. – Вып. 14. – С. 782–790.

Дата размещения на сайте <https://www.igic.bas-net.by>: 05.08.2024.
Объем издания 11,4 Мб.

Минимальные системные требования:
Операционная система Windows 7; Intel (×86, ×64), AMD (×86, ×64) 1 GHz;
RAM 2 Gb; HDD 20 Gb; DirectX 9 (WDDM 1.0); Adobe Acrobat Reader 6.0.

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».
Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск. www.belnauka.by. E-mail: info@belnauka.by