

КОВАЛЕНТНАЯ ИММОБИЛИЗАЦИЯ  
АЛЬБУМИНА НА ПОВЕРХНОСТИ  
МЕДИЦИНСКОГО ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА,  
МОДИФИЦИРОВАННОГО  
ПЛАЗМЕННО-ИММЕРСИОННОЙ ИОННОЙ  
ИМПЛАНТАЦИЕЙ \*

В.С. Чудинов, *Институт механики сплошных сред УрО РАН;  
Пермский государственный национальный исследовательский университет*  
И.Н. Шардаков, *Институт механики сплошных сред УрО РАН*  
И.В. Кондюрина, *Университет Сиднея, Сидней, Австралия;  
Эвингар Сайнтифик, Эвингар, Австралия*  
Д. Маккензи, *Университет Сиднея, Сидней, Австралия*

**Для цитирования:**

Чудинов В.С., Шардаков И.Н., Кондюрина И.В., Маккензи Д. Ковалентная иммобилизация альбумина на поверхности медицинского поливинилхлорида, модифицированного плазменно-иммерсионной ионной имплантацией // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2023. – № 1. – С. 17–24.  
<https://doi.org/10.7242/2658-705X/2023.1.2>

Данная работа демонстрирует влияние плазменно-иммерсионной ионной имплантации на адсорбционную активность медицинского поливинилхлорида для гемоконтейнеров по отношению к белку альбумину. Образцы поливинилхлорида подвергались обработке ионами энергией 20 кэВ дозой  $10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. С помощью метода инфракрасной Фурье спектроскопии многократного нарушенного полного внутреннего отражения проанализированы изменения в молекулярной структуре после воздействия ионной обработки. Выполнен цикл физических экспериментов по нанесению и отмывке бычьего сывороточного альбумина на образцах необработанного и обработанного плазмой поливинилхлорида. Установлено, что белок ковалентно связывается с поверхностью поливинилхлорида, модифицированного методом плазменно-иммерсионной ионной имплантации. На необработанном поливинилхлориде белок адсорбируется без установления ковалентной связи с поверхностью и полностью смывается буферным раствором с ионным детергентом. По результатам предыдущих работ авторов об улучшении биосовместимости полимерных материалов, модифицированных методом ионной имплантации, предполагается, что ковалентное связывание белка в нативной конформации с поверхностью гемоконтейнера способствует сохранению в нем целостности клеток крови.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта № С-26/875 от 04.04.2022г. и в рамках государственного задания ИМСС УрО РАН.

**Ключевые слова:** ионная имплантация, ковалентная иммобилизация, биосовместимость, поливинилхлорид.

### Введение

По данным ВОЗ ежегодно в мире используется около 118,5 млн донаций крови. Кровь и ее компоненты широко применяются для гемотрансфузии и диагностики в медицине, биотехнологических процессах фарминдустрии и в научных исследованиях. Быстрое разрушение клеток крови *ex vivo* ограничивает логистические методы и хранение. В гемотрансфузионной медицине цельную кровь обычно перерабатывают в различные компоненты для специализированного хранения в течение 24 часов.

Для производства гемоконтейнеров используется поливинилхлорид [1]. Исследователи пытаются улучшить свойства данного материала разными химическими методами и физическим воздействием. Например, авторы одной из работ применяют химическую модификацию поливинилхлорида с помощью этиленгликоля, что улучшает смачиваемость поверхности полимера и препятствует адгезии тромбоцитов на его поверхности [2]. Другая группа ученых использует поэтапную плазменную обработку для усиления антибактериальных свойств материала [3]. Однако с нашей точки зрения, одной из наиболее важных задач является создание благоприятной поверхности для клеток, что позволит улучшить сохранение клеточной массы в гемоконтейнере.

Стоит отметить, что агрегирование клеток крови, побочные повреждения из-за активации лейкоцитов, лизис клеток с высвобождением хемокинов существенно влияют на здоровые и живые клетки [4–6]. Фактором разрушения клеток крови вне организма является в том числе материал стенки полимерного гемоконтейнера [7–8]. То есть поверхность полимерного контейнера оказывает разрушительное воздействие на клетки, вызывает реакцию и разрушение лейкоцитов, создавая агрессивную среду для клеточной массы во всем объеме гемоконтейнера [9]. Поверхность контей-

нера на основе поливинилхлорида не обладает достаточной биосовместимостью для сохранения клеточной массы.

Для изменения свойств поверхности поливинилхлорида с целью улучшения его биосовместимости мы будем использовать метод плазменно-иммерсионной ионной имплантации [10–11]. С помощью данного метода воздействия высокоэнергетических ионов на полимерный материал на его поверхности формируется карбонизованный слой, содержащий полиароматические конденсированные структуры с неспаренными электронами, стабилизированными  $\pi$ -электронным облаком на границах графитоподобных кластеров [12–14]. Поверхность карбонизованного слоя характеризуется улучшенной смачиваемостью и адсорбционной активностью к белкам [15]. При этом белки на поверхности карбонизованного слоя связываются ковалентной связью с помощью неспаренных электронов, замороженных по типу «эффекта клетки» [16–17], а гидрофильность поверхности карбонизованного слоя способствует сохранению нативной конформации и каталитической активности адсорбированных белков [18–19]. Также было ранее продемонстрировано, что на карбонизованной поверхности разных полимерных материалов клетки лучше делятся и распластаются, чем на необработанном ионами исходном полимерном материале [15, 20]. Улучшение свойств поверхности для клеток мы связываем со свойством карбонизованного слоя ковалентно адсорбировать белки в нативной конформации.

На данном этапе работ мы оценим изменение в молекулярной структуре и адсорбционную активность к белку альбумину образцов гемоконтейнера из поливинилхлорида (ПВХ), обработанных методом плазменно-иммерсионной ионной имплантацией (ПИИИ).

**Материалы и методы**

*Подготовка образцов.* Для подготовки образцов поливинилхлорида использовался сдвоенный гемоконтейнер объемом 450 мл производства «Ravimed» (Польша). ПВХ содержал пластификатор ди(2-этилгексил)фталат (ДОФ) в концентрации 40%. Из гемоконтейнера вырезались образцы размером 1x5 см. Для удаления излишков пластификатора с поверхности поливинилхлорида образцы отмывались в деионизированной воде с сопротивлением 18 МОм·см и сушились в термошкафе при температуре 50°C.

*Плазменно-иммерсионная ионная имплантация.* Для ионной обработки в плазме плоские образцы поливинилхлорида помещались на металлический плоский держатель, соединенный с высоковольтным источником питания, и закрывались металлической сеткой, соединенной с держателем. Держатель помещался в вакуумный реактор, состоящий из верхней алюминиевой части, стеклянной средней части и нижней части из нержавеющей стали. Откачивание воздуха из реактора осуществлялось с помощью спирального безмасляного насоса и турбомолекулярного насоса до давления  $10^{-5}$  Торр. Затем реактор заполнялся азотом особой чистоты до давления 2 мТорр, которое поддерживалось при постоянной работе насосов. Для создания плазмы использовался генератор ЕМІ, генерирующий сигнал с выходной мощностью 100 Вт на частоте 13,75 МГц. Импульсы подавались на антенну, расположенную снаружи стеклянной части реактора. Антенна охлаждалась потоком воздуха от вентилятора. В верхней части реактора располагались электромагнитные катушки, через которые пропускался постоянный ток от двух источников питания. Магнитное поле подбиралось таким образом, чтобы плазма сжималась в столб диаметром 200 мм в верхней части реактора, где находился держатель образцов. Регистрация плотности плазмы производилась зондом Лэнгмюра. Плотность ионов составляла  $10^{10}$  ионов/см<sup>3</sup>, энергия ионов около 0,01 эВ, энергия электронов 5 эВ.

На держатель подавались импульсы высокого напряжения от высоковольтного источника на основе сильноточного тетрода и генератора импульсов. Величина напряжения составляла 20 кВ, длительность импульса 20 микросекунд, частота повторения импульсов 50 Гц. Средний ток составлял 1,2–1,3 мА. Согласно ранее определенной плотности потока ионов, образцы поливинилхлорида обрабатывались в течение 800 секунд, что соответствует флюенсу  $10^{16}$  ионов на квадратный сантиметр (ионов/см<sup>2</sup>).

*Поверхностная структура полимера после воздействия плазмы.* Изменения в химической структуре поверхностного слоя наблюдались по инфракрасным Фурье-спектрам многократного нарушенного полного внутреннего отражения (Фурье-ИК МНПВО), которые регистрировались на спектрометре Digilab (Австралия) со спектральным разрешением 4 см<sup>-1</sup> и числом сканов 500. Использовалась приставка МНПВО Harrick (США) с кристаллом германия размером 1x5 см<sup>2</sup> с углом падения луча 45-градусов. Для анализа использовалось спектральное программное обеспечение Resolution Pro. Для исключения спектра паров воды отдельно регистрировался спектр остаточных паров воды в спектрометре и вычитался из спектра полиуретана с нормировочным коэффициентом, который подбирался к каждому спектру для полного вычитания спектра воды. При наблюдении специфических линий спектра клея, применяемого для фиксации кристалла германия в держателе приставки МНПВО, его спектр вычитался из спектра образцов полимеров. Для анализа линий спектра использовались метод линейной базовой линии и вычитание спектров с нормировочным коэффициентом.

Заметим, что глубина проникновения инфракрасного луча в полимер из кристалла германия составляет от 800 до 400 нм в зависимости от диапазона волновых чисел спектра. В то же время толщина модифицированного поверхностного слоя составляет не более 100 нм. Таким образом, в спектре присутствует

вклад слоя полимера, лежащего намного глубже, чем модифицированный слой. По этой причине анализировались разностные спектры, построенные путем вычитания из спектра образца поливинилхлорида, обработанного плазмой, спектра необработанного поливинилхлорида.

**Адсорбция белка.** Для анализа адсорбированных белков использовался метод Фурье-ИК спектроскопии МНПВО. Необработанные и обработанные плазмой образцы поливинилхлорида помещались в буферный раствор бычьего сывороточного альбумина с концентрацией 50 мкг/мл при комнатной температуре (23°C) и выдерживались там 2, 4 и 24 часа.

После ионно-плазменной обработки образцы подвергались отмывке двумя различными способами: первый – с 5-кратной отмывкой в буферном растворе, второй – с отмывкой в 2% растворе додецилсульфата натрия (ДСН) при 80°C в течение часа и последующей 5-кратной отмывкой в буферном растворе. Все отмывки выполнялись в сменяемой при каждой итерации кювете Фалькон. После этого в обоих случаях следовала завершающая отмывка в деионизированной воде и просушивание образцов на воздухе в течение 24 часов в чашках Петри, закрытых от пыли. Таким же образом отмывались необработанные плазмой образцы.

Контрольный образец также выдерживался в буферном растворе, но без белка, и промывался в буфере и деионизированной

воде. Одновременная и одинаковая подготовка образцов с белком и без белка позволила использовать процедуру вычитания спектров, получить очень низкий сигнал полимера в разностном спектре и наблюдать спектр адсорбированного белка. При построении разностного спектра амплитуда всего спектра контрольного образца поливинилхлорида без белка умножалась на подгоночный коэффициент, так чтобы исключить из результирующего спектра вклад, вносимый поливинилхлоридом. Интенсивность линии пептидной связи белка Амид I при 1650 см<sup>-1</sup> нормировалась на линию ПВХ 1380 см<sup>-1</sup>.

### Результаты и обсуждение

**Поверхностная структура полимера после воздействия плазмы.** Спектр Фурье-ИК МНПВО необработанного ПВХ содержит интенсивные линии 2960, 2930, 2872 и 2859 см<sup>-1</sup>, относящиеся к колебаниям  $\nu(\text{C-H})$  в макромолекуле ПВХ и пластификаторе ДОФ, линию 1723 см<sup>-1</sup>, относящуюся к колебаниям  $\nu(\text{C=O})$  в молекуле пластификатора, линию 1463 см<sup>-1</sup>, относящуюся к колебаниям  $\nu(\text{C-H})$  в макромолекуле ПВХ и пластификаторе, и линию 1257 см<sup>-1</sup>, относящуюся к колебаниям  $\nu(\text{C-O})$  в молекуле пластификатора (рис. 1, кривая *a*). Кроме основных пиков есть ряд линий, относящихся к колебаниям сложной формы макромолекулы ПВХ и пластификатора.

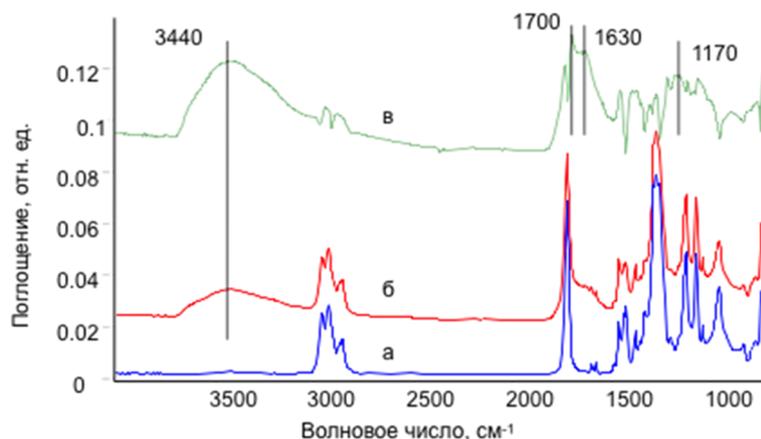


Рис. 1. Спектры Фурье-ИК МНПВО ПВХ: необработанного (*a*), обработанного в течение 800 с (*б*) и их разностный спектр (*в*)

После обработки ПВХ на установке ПИИИ ионами азота с энергией 20 кэВ и флюенсом  $10^{16}$  ионов/см<sup>2</sup> спектр Фурье-ИК МНПВО изменился. Появились сильная и широкая линия в области высоких частот и небольшой контур поглощения в области 1 700–1 650 см<sup>-1</sup>. Однако спектр ПВХ мультиплетный и наблюдение новых линий затруднено. Для более точного наблюдения анализировался разностный спектр, представленный кривой (*в*) на рис. 1. Разностный спектр показал схожесть со спектром обработанного полиэтилена [21]. Наблюдается линия колебаний гидроксильных и аминных групп с максимумом при 3 440 см<sup>-1</sup>. Наблюдается сложный контур линии колебаний C=O и C=N с максимумами при 1 700 и 1 630 см<sup>-1</sup>. Наблюдается широкий контур поглощения колебаний C-O с максимумом 1 170 см<sup>-1</sup>. Аналогичные изменения спектра в обработанном полимере отмечались и в случае полиэтилена. Кроме того, в разностном спектре ПВХ заметны отрицательные пики, соответствующие уменьшению интенсивности линии при 1 723 см<sup>-1</sup>, отнесенной к колебаниям  $\nu(\text{C=O})$  в молекуле пластификатора, и линий 1 434, 1 425, 1 254, 1 333 и 956 см<sup>-1</sup>, отнесенных к колебаниям различного типа в фрагменте макромолекулы ПВХ, связанной с атомом хлора. Это означает относительное уменьшение интенсивности данных линий в спектре обработанного ПВХ и соответствующее уменьшение концентрации групп, связанных с атомом хлора. То есть в результате ионно-плазменной обработки происходит дехлорирование поверхностного слоя ПВХ. А уменьшение интенсивности линии пластификатора означает обеднение поверхностного слоя пластификатором.

*Адсорбция белка.* Серия рисунков 2–4 отражает результаты исследования поверхностного слоя альбумина, сформированного на образцах ПВХ.

На рис. 2 показаны спектры альбумина на поверхности необработанного и обработанного ПВХ. Анализ показал присутствие линий белка Амид А при

3 300 см<sup>-1</sup>, Амид 1 при 1 650 см<sup>-1</sup> и Амид 2 при 1 540 см<sup>-1</sup> в спектре обработанного ПВХ и их отсутствие в спектре необработанного ПВХ.

На рис. 3 и 4 проанализировано влияние продолжительности адсорбирования белка из раствора на состав сформированного поверхностного слоя.

В эксперименте с первым способом отмывки не удалось выявить корреляцию между величиной сформированного белкового слоя и длительностью процесса адсорбции. Количество белка, адсорбированного на поверхности необработанного и обработанного плазмой ПВХ, не изменилось при изменении длительности адсорбции в пределах от 2 до 24 часов.

Возможной причиной наблюдаемого разброса данных является частичное перекрытие линий пластификатора при 1 720 см<sup>-1</sup> с линией Амид 1 при 1 650 см<sup>-1</sup>. Несмотря на вычитание спектра, не удается одним подгоночным коэффициентом при получении разностного спектра учесть отклонение концентрации пластификатора в ПВХ около поверхности и полностью вычесть одновременно спектр ПВХ и пластификатора.

В эксперименте со вторым способом отмывки наблюдается прямая зависимость количества адсорбированного белка от длительности экспозиции образцов в растворе с белком. Тогда возможной причиной разброса данных в эксперименте с отмывкой белка первым способом являются повторная адсорбция десорбированного белка на поверхности и стохастическое течение процесса отмывки, в то время как при использовании ионного поверхностно-активного вещества при отмывке происходит блокирование ионного взаимодействия десорбированного белка. Например, белок, адсорбированный на поверхности поливинилхлорида в течение 2 часов, полностью отмывается раствором с ионным детергентом.

Стоит отметить, что белок, адсорбированный на поверхности обработанного плазмой поливинилхлорида, наблюдается после обоих типов отмывки и при всех

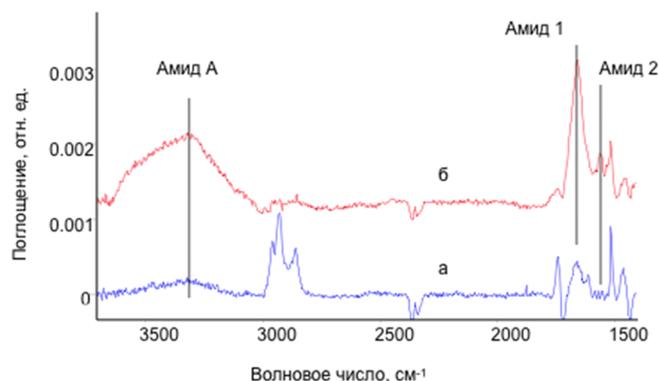


Рис. 2. Спектры Фурье-ИК МНПВО адсорбированного альбумина на поверхности необработанного (а) и обработанного (б) ПВХ

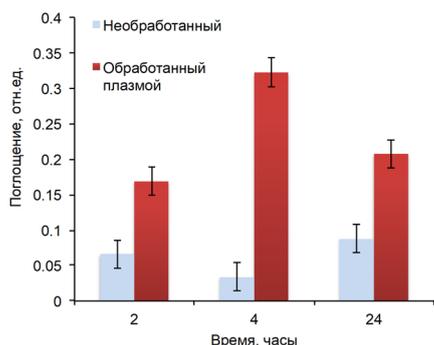


Рис. 3. Поглощение линии Амид I в спектре Фурье-ИК МНПВО ПВХ с нанесенным на поверхность альбумином (отмывка первым способом только в буферном растворе)

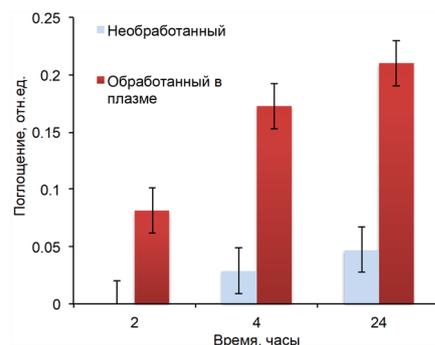


Рис. 4. Поглощение линии Амид I в спектре Фурье-ИК МНПВО ПВХ с нанесенным на поверхность альбумином (отмывка вторым способом в ДСН и буферном растворах)

длительностях адсорбции белка. Интенсивность линий Амид I альбумина на поверхности обработанного плазмой поливинилхлорида намного превышает интенсивность этих же линий белка на необработанном полимере. Таким образом, белок адсорбируется на образцах поливинилхлорида, модифицированного методом ПИИИ, с ковалентным связыванием с поверхностью полимера, что ранее было показано в наших работах с другими полимерными материалами [13, 15, 16, 18–21]. Согласно нашим представлениям о биосовместимости и результатам предыдущих работ, ковалентная иммобилизация белка на поливинилхлориде, модифицированном плазмой, позволит улучшить взаимодействие клеток с поверхностью гемоконтейнера.

### Заключение

Результаты ИК-Фурье спектроскопии МНПВО поверхностного слоя показывают дехлорирование поверхностного

слоя поливинилхлорида после плазменной обработки, образование новых групп, в т.ч. гидроксильных и аминных. Аналогичные изменения наблюдались в карбонизованном слое, сформированном на полиэтилене методом плазменно-иммерсионной ионной имплантации. Показано, что бычий сывороточный альбумин ковалентно связывается с поверхностью поливинилхлорида, модифицированного методом плазменно-иммерсионной ионной имплантации. На необработанном поливинилхлориде белок адсорбируется без установления ковалентной связи с поверхностью и может быть полностью смыт буферным раствором с ионным детергентом. Возможно, что ионно-плазменная обработка поверхности поливинилхлорида благоприятно повлияет на его взаимодействие с культурой клеток и на сохранение клеток крови в гемоконтейнере.

Библиографический список

1. Hansen O.G. New developments in PVC // Medical device technology. – 2008. – Vol. 19. – № 6. – P. 17–19.
2. Balakrishnan B., Kumar D.S., Yoshida Y., Jayakrishnan A. Chemical modification of poly(vinyl chloride) resin using poly(ethylene glycol) to improve blood compatibility // Biomaterials. – 2005. – Vol. 26. – № 17. – P. 3495–3502. doi:10.1016/j.biomaterials.2004.09.032.
3. Zhang W., Chu P.K., Ji J. [et al.] Plasma surface modification of poly vinyl chloride for improvement of antibacterial properties // Biomaterials. – 2006. – Vol. 27. – № 1. – P. 44–51. doi:10.1016/j.biomaterials.2005.05.067.
4. Wong K., Sandlin R., Carey T. [et al.] The role of physical stabilization in Whole Blood Preservation // Scientific Reports. – 2016. – Vol. 6. – Article № 21023. <https://doi.org/10.1038/srep21023>.
5. Barshtein G., Arbell D., Livshits L., Gural A. Is it possible to reverse the storage-induced lesion of red blood cells // Frontiers in physiology. – 2018. – Vol. 9 914. doi: 10.3389/fphys.2018.00914.
6. Tsvetkova N.M., Torok Z., Satpathy G. [et al.] New technology for red blood cell preservation // Blood. – 2004. – Vol. 104. – № 11. – P. 2710. doi: <https://doi.org/10.1182/blood.V104.11.2710.2710>.
7. Gulliksson H., Meinke S., Ravizza A. [et al.] Storage of red blood cells in a novel polyolefin blood container: a pilot in vitro study. // Vox Sang. – 2017. – Vol. 112. – P. 33–39. <https://doi.org/10.1111/vox.12472>.
8. Волкова Л.В., Гришина Т.А. Влияние гемопластика различных производителей на продуктивную способность клеток млекопитающих // Биофармацевтический журнал. – 2019. – Т. 11. – № 2. – С. 11–15.
9. Агапов И.И. [и др.] Биосовместимые материалы / под ред. Севастьянова В.И., Кирпичникова М.П. – М.: МИА, 2011. – 537 с.
10. Anders A. [et al.] Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition Ed. by Andre Anders. – New York: John Wiley and Sons, 2000. – 760 p.
11. Ensinger W. Semiconductor processing by plasma immersion ion implantation // Materials science & engineering. A. – 1998. – Vol. 253. – № 1 – 2. – P. 258–268. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(98\)00734-5](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(98)00734-5).
12. Chudinov V.S., Shardakov I.N., Svistkov A.L., Kondyurin A.V. Polyurethane modified by plasma ion implantation // 10<sup>th</sup> International Conference on Nanomaterials - Research & Application. – Brno, Czech Republic, 2019. – P. 295–300.
13. Chudinov V., Kondyurina I., Terpugov V., Kondyurin A. Weakened foreign body response to medical polyurethane treated by plasma immersion ion implantation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2019. – Vol. 440. – P. 163–174. DOI: 10.1016/j.nimb.2018.12.026.
14. Kondyurin A., Bilek M. Ion Beam Treatment of Polymers. Application aspects from medicine to space. 2<sup>nd</sup> ed. – Oxford: Elsevier, 2014. – 268 p.
15. Чудинов В.С., Кондюрина И.В., Шардаков И.Н., Свистков А.Л., Осоргина И.В., Кондюрин А.В. Полиуретан для медицинского применения, модифицированный плазменно-ионной обработкой // Биофизика. – 2018. – Т. 63. – № 3. – С. 444–454.
16. Кондюрина И.В., Чудинов В.С., Терпугов В.Н., Кондюрин А.В. Химическая пришивка альбумина на поверхность полиуретанового имплантата, модифицированного ионным пучком // Медицинская техника. – 2018. – № 4. – С. 19–21.
17. Рэнби Б. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. Пер. с англ. В.Б. Иванова / под ред. Н.М. Эмануэля. – М.: Мир, 1978. – 675 с.
18. Kondyurin A., Nosworthy N.J., Bilek M.M.M. [et al.] Surface attachment of horseradish peroxidase to nylon modified by plasma-immersion ion implantation // Journal of Applied Polymer Science. – 2011. – Vol. 120. – № 5. – P. 2891–2903. <https://doi.org/10.1002/app.33355>.
19. Kondyurin A.V., Naseri P., Tilley J.M.R. [et al.] Mechanisms for Covalent Immobilization of Horseradish Peroxidase on Ion-Beam-Treated Polyethylene // Scientifica. – 2012. – Vol. 2012. – Article ID 126170. <https://doi.org/10.6064/2012/126170>.
20. Kondyurina I., Shardakov I., Nechitailo G. [et al.] Cell growing on ion implanted polytetrafluorethylene // Applied Surface Science. – 2014. – Vol. 314. – P. 670–678. doi: 10.1016/j.apsusc.2014.07.057.
21. Chudinov V.S., Shardakov I.N., Ivanov D.V. [et al.] Creation of functional cover for immobilization of biomolecules on polymer material // AIP Conference Proceedings. – 2020. – Vol. 2280. – Article ID 040012. <https://doi.org/10.1063/5.0018044>.

COVALENT IMMOBILIZATION OF ALBUMIN  
ON THE SURFACE OF MEDICAL POLYVINYL CHLORIDE MODIFIED  
BY PLASMA-IMERSION ION IMPLANTATION

Chudinov V.S.<sup>1,2</sup>, Shardakov I.N.<sup>1</sup>, Kondyurina I.V.<sup>3,4</sup>, McKenzie D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Continuum Media Mechanics UB RAS*

<sup>2</sup>*Perm State National Research University*

<sup>3</sup>*University of Sydney, Sydney, Australia*

<sup>4</sup>*Ewingar Scientific, Ewingar, Australia*

---

**For citation:**

Chudinov V.S., Shardakov I.N., Kondyurina I.V., McKenzie D. Albumin covalent immobilization on the surface of medical polyvinylchloride modified by plasma-immersion ion implantation // Perm Federal Research Center Journal. – 2023. – № 1. – P. 17–24. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2023.1.2>

---

This work demonstrates the effect of plasma-immersion ion implantation on the adsorption activity of medical polyvinyl chloride for hemocontainers with respect to albumin protein. Polyvinyl chloride samples were treated with 20 keV ions at a dose of  $10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>. Using the method of infrared Fourier spectroscopy of multiple attenuated total internal reflection, changes in the molecular structure after exposure to ion treatment are analyzed. A series of physical experiments on the attachment and washing of bovine serum albumin on samples of untreated and plasma-treated polyvinyl chloride was performed. It has been shown that protein covalently binds to the surface of polyvinyl chloride modified by plasma-immersion ion implantation. On untreated polyvinyl chloride, the protein is adsorbed without establishing a covalent bond with the surface and is completely washed off by a buffer solution with an ionic detergent. According to the results of the authors' previous works on improving the biocompatibility of polymeric materials modified by ion implantation, it is assumed that covalent binding of the protein in its native conformation to the surface of the hemocontainer will contribute to preserving the integrity of blood cells in it.

*Keywords: ion implantation, covalent immobilization, biocompatibility, polyvinyl chloride.*

**Сведения об авторах**

Чудинов Вячеслав Сергеевич, младший научный сотрудник, Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИМСС УрО РАН»), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1, ассистент, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: chudinovsl@mail.ru

Шардаков Игорь Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, ИМСС УрО РАН; e-mail: shardakov@icmm.ru

Кондюрина Ирина Викторовна, доктор философии, исследователь, Эвингар Сайнтифик, Эвингар, Австралия; исследователь, Университет Сиднея, Сидней, Австралия; e-mail: info@ewingarscientific.com.au

Маккензи Дэвид, доктор философии, профессор, Школа Физики Университета Сиднея, Сидней, Австралия; e-mail: d.mckenzie@physics.usyd.edu.au

*Материал поступил в редакцию 27.12.2022 г.*