

# ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УДК 004.356:612.014.462

DOI: <https://doi.org/10.52540/2074-9457.2022.4.75>

А. Я. Ефремова, М. Л. Пивовар, М. Н. Сабодина

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь

*Статья посвящена изучению свойств фотополимерных смол, используемых для 3D-печати. Методом исследования являлось моделирование процесса контакта изделий, напечатанных на фотополимерном 3D-принтере из фотополимерных смол 4 марок, с буферными растворами с рН от 3 до 12 и 26 растворителями различных классов органических соединений. Описаны изменения внешнего вида и свойств исследуемых материалов при воздействии различных органических растворителей и буферных растворов. Установлено отклонение по массе готовых изделий в зависимости от выбранной фотополимерной смолы. В буферных растворах наблюдалось снижение механической прочности поверхностных слоев при значениях рН, отличных от нейтрального. При контакте с органическими растворителями зафиксировано изменение поверхностных структур, интенсивное набухание полимера, изменение геометрии объектов, образование коллоидных растворов, в отдельных случаях расслаивание и частичное растворение изделий, что приводит к потере механической прочности и отсутствию устойчивости моделей к приложению изгибающих сил. В результате исследования выявлена утрата функциональных и эксплуатационных свойств фотополимерных материалов, не задокументированная производителем.*

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, стереолитография, фотополимерные смолы, полимеризация, аналитическое оборудование, буферные растворы, органические растворители.

### ВВЕДЕНИЕ

3D-технологии включают инструменты и процессы создания трехмерных цифровых моделей с их последующим производством, как правило, с использованием технологий 3D-печати (аддитивных технологий) [1]. Основными их достоинствами являются высокое качество и точность получаемых объектов, широкий ассортимент материалов с разнообразным набором физико-химических свойств и, как следствие, возможность создания структур крайне высокой сложности [2].

Значительная часть аналитического оборудования, которым оснащены современные контрольно-аналитические и химико-токсикологические лаборатории, произведена зарубежными производителями. Данное оборудование требует регулярного технического обслуживания и замены вышедших из строя или потерявших

функциональные свойства элементов и запасных частей (комплектующих). Ввиду различных причин в настоящее время закупка отдельных расходных материалов и комплектующих для аналитического оборудования значительно затруднена [3]. В то же время технологии 3D-печати позволяют изготавливать требуемые детали при относительно низких затратах и в необходимых количествах [4]. Благодаря этому уменьшается период простоя аналитического оборудования и снижаются затраты на его обслуживание, что в совокупности обеспечивает непрерывность работы конкретной лаборатории.

На современном этапе развития аддитивных технологий существует множество методов 3D-печати, отличающихся как используемыми для печати материалами, так и способами их послойного нанесения [5]. Для печати мелких объектов с большим количеством функцио-

нально значимых деталей оптимальным методом является стереолитография. В первую очередь это обусловлено высокой разрешающей способностью метода. Под воздействием источника ультрафиолетового излучения (лазер, УФ-проектор или светодиодная матрица с жидкокристаллическим экраном) происходит послойное отверждение фотополимерного материала по форме, предварительно заданной в инструкции для 3D-принтера [6, 7]. Фотополимеризация, теоретически, позволяет получить сверхсшитый материал, достаточно инертный и устойчивый в широком диапазоне pH, а также устойчивый к действию большинства органических растворителей.

Состав фотополимерных смол представляет собой многокомпонентную смесь из способных к полимеризации мономеров, олигомеров (могут отсутствовать) и фотоинициаторов. Кроме основных (активных) компонентов в составе могут присутствовать добавки (наполнители, красители, стабилизаторы, регуляторы), используемые для придания определенного набора свойств фотополимерному материалу или их коррекции [8].

Стоит отметить, что несмотря на все большее распространение в последние годы стереолитографических методов 3D-печати, в технической документации производителей отсутствуют не только достоверные данные о физико-химических свойствах отвержденных и неотвержденных фотополимерных смол, но и об их химическом или компонентном составе, что не позволяет спрогнозировать свойства получаемых изделий при эксплуатации в конкретных условиях. В научной литературе данная информация в основном представлена краткими теоретическими обзорами. Отсутствует систематический экспериментально подтвержденный подход к данной проблематике. Указанные факты значительно ограничивают применение аддитивных технологий в лабораторной практике и требуют проведения углубленных исследований.

Цель данной работы – изучить свойства фотополимерных смол, используемых для 3D-печати, при контакте с растворами с широким диапазоном pH и различными группами органических растворителей, которые используются в химической лаборатории.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали полиакрилатные фотополимерные смолы Anycubic Dental Non-Castable UV Resin, Anycubic Basic и Voxelab Standart Photopolymer Resin, а также уретан-акрилатную eSUN eResin-Flex. Из указанных смол на 3D-принтере Anycubic Photon печатали параллелепипеды (размер  $25 \times 10 \times 4$  мм), использовавшиеся в дальнейшем при проведении исследования.

Устойчивость изделий, полученных с помощью 3D-печати, к воздействию различных химических факторов изучали путем погружения в стеклянные емкости объемом 10 мл, заполненные буферными растворами с pH от 3 до 12, или 26 различными органическими растворителями. При проведении эксперимента осуществляли визуальное наблюдение за изменением внешнего вида и свойств поверхности напечатанных изделий с фиксацией через каждые 2 часа (в течение первых 12 часов) и через 24 часа. По истечении 24 часов изделия извлекали, просушивали в течение 5 минут при комнатной температуре и взвешивали на аналитических весах Sartorius AC211S. Оценку набухаемости (водопоглощения) полимерных материалов осуществляли путем отношения массы изделий до эксперимента и после него.

При выполнении работы использовали фосфатные буферные растворы с диапазоном pH от 3,0 до 12,0. Для их изготовления 0,01 М растворы калия дигидрофосфата, калия гидрофосфата или натрия фосфата доводили до необходимого значения pH 0,002 М растворами калия гидроксида или кислоты ортофосфорной. Измерение pH осуществляли с использованием иономера лабораторного И-160М.

При изучении устойчивости изделий из фотополимерных смол к действию органических растворителей использовали насыщенные одноатомные спирты (метанол, этанол, изопропанол, бутанол-1, изобутанол, бутанол-2, изоамиловый спирт); простые эфиры (диэтиловый эфир); сложные эфиры (этилацетат, бутилацетат, амилацетат); галогеноалканы (хлороформ, 1,2-дихлорэтан, тетрахлорметан); нитрилы (ацетонитрил); амиды (N,N-диметилформамид); насыщенные кетоны

(ацетон, метилэтилкетон); насыщенные альдегиды (формальдегид); насыщенные карбоновые кислоты (муравьиная кислота, уксусная кислота); насыщенные углеводороды (гексан); ароматические соединения (толуол); гетероциклические соединения (диоксан-1,4). Все указанные соединения использовали категории чистоты ХЧ или ЧДА. Дополнительно для исследования применяли технические растворители «Бензин «Галоша» (смесь предельных деароматизированных углеводородов, производитель ООО «Вершина», март 2020 г.) и «Растворитель марки 647» (смесь толуола, бутилацетата, бутанола и этилацетата, производитель ОАО «Нафтан», 2021 г.).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перед началом эксперимента было установлено, что, несмотря на высокую

точность воспроизведения деталей цифровой модели при печати фотополимерными материалами, в одинаковых условиях печати (время экспозиции, толщина слоя) может наблюдаться отклонение от средней массы получаемых изделий от -4,48% до +2,48% (в зависимости от используемой фотополимерной смолы). Наибольшее отклонение среди анализируемых смол зафиксировано у Anycubic Dental (таблица 1), используемой в стоматологической практике (для создания демонстрационных моделей и зубных слепков, производства хирургических шаблонов и элайнеров). Указанный факт является необычным, так как ввиду особенностей применения такие смолы характеризуются высокой детализацией получаемых объектов и, соответственно, должны обеспечивать точность воспроизведения геометрических и масса-габаритных параметров.

Таблица 1. – Отклонение по массе готовых изделий, полученных на 3D-принтере на основе фотополимерных смол (N = 40, P = 0,95)

Марка фотополимерных смол	Средняя масса параллелепипедов, г	Предельное отклонение от средней массы, %
eSUN eResin-Flex	1,1040 ± 0,0172	-1,85 ~ +1,42
Anycubic Dental	1,0861 ± 0,0402	-4,48 ~ +2,48
Anycubic Basic	1,2075 ± 0,0125	-1,19 ~ +0,72
Voxelab Standart	1,1343 ± 0,0304	-3,29 ~ +2,14

При исследовании влияния контакта водных растворов с pH = 7–8 у всех испытуемых изделий в течение 24 часов не наблюдали значимых изменений поверхности.

На деталях, находившихся в растворах с другими значениями pH, уже через 2 часа можно было наблюдать следующие изменения. У параллелепипедов, напечатанных из eSUN Flex, при pH = 4–6, а также pH = 9–10, наблюдали незначительные трещины вдоль ребер и углов. А при pH = 3 и pH = 11–12 отмечалось незначительное растворение пластика в тех же зонах изделий.

На параллелепипедах, изготовленных из Anycubic Dental, при pH = 9 значимых изменений поверхности не наблюдали. Однако при pH меньше 6 и больше 10 на поверхности параллелепипедов появлялись мелкие параллельные трещины. При этом низкие и высокие значения pH этот процесс усиливали (визуально трещины были крупнее и глубже).

Изделия из фотополимерной смолы Anycubic Basic в диапазоне pH = 4–12 демонстрировали высокую устойчивость к влиянию буферных растворов. Данный факт может быть частично связан с непрозрачностью исследуемой смолы по сравнению с другими испытуемыми материалами, что затрудняло визуальную оценку наличия поверхностных дефектов. При pH = 3 у параллелепипедов из данной фотополимерной смолы были зафиксированы отчетливые трещины в районе углов.

На параллелепипедах из смолы Voxelab Standart при pH = 6 не отмечали изменений поверхности. При снижении или увеличении значений pH наблюдали появление мелких трещин поверхности, а при pH = 3 и pH = 12 – также незначительное растворение пластика вдоль ребер и углов.

При дальнейших наблюдениях отмечали прогрессирование отмеченных выше

процессов, а также появление при pH = 10 (за исключением изделий из Anycubic Basic) единичных пузырьков в объеме детали, что свидетельствовало об образовании глубоких трещин.

Перечисленные выше явления можно объяснить водопоглощением поверхностными слоями изделий, при этом в более глубокие слои вода не проникает. Исходя из полученных данных, при низких и высоких значениях pH указанные процессы ускоряются. Данный факт необходимо

учитывать при эксплуатации напечатанных изделий, так как появление трещин на поверхности может приводить к значительному снижению механической прочности изделия в целом.

После оценки влияния pH на распечатанные детали в течение 24 часов было рассчитано водопоглощение испытуемых материалов в буферных растворах (таблица 2). Для всех исследованных материалов зависимость степени водопоглощения от pH не выявлена.

Таблица 2. – Водопоглощение фотополимерных материалов в буферных растворах

pH буферного раствора	Водопоглощение, %			
	eSUN Flex	Anycubic Dental	Anycubic Basic	Voxelab Standart
3	1,39	0,13	0,66	0,78
4	1,27	0,07	0,73	0,58
5	1,37	0,15	0,66	0,50
6	1,35	0,12	0,68	0,50
7	1,34	0,08	0,82	0,47
8	1,27	0,09	0,63	0,39
9	1,12	0,16	0,62	0,54
10	1,26	0,16	0,55	0,39
11	1,34	0,15	0,64	0,42
12	1,30	0,27	0,60	0,50

При оценке влияния 26 органических растворителей на изделия, распечатанные из различных фотополимерных смол, были получены следующие результаты.

У изделий из eSUN Flex через 2 часа в хлороформе, тетрахлорметане, гексане, диметилформамиде, толуоле, ацетоне, ацетонитриле, бутилацетате, амилацетате, диэтиловом эфире, диоксане-1,4, растворителе 647, уксусной и муравьиных кислотах наблюдали набухание различной степени (наиболее интенсивно в хлороформе, толуоле, ацетоне и ацетонитриле). В иных растворителях наблюдали появление мелких трещин поверхности и углов. Через 4 часа происходило набухание также в метаноле и этаноле. В растворителе 647 появились единичные пузырьки в объеме детали. Через 6 часов было зафиксировано помутнение хлороформа, что можно объяснить частичным растворением полимера. Во всех исследованных образцах отмечена тенденция к прогрессированию набухания, частичному расслоению изделий, появлению более крупных трещин и росту уже имеющихся.

Через 24 часа наблюдали помутнение в пробах с уксусной кислотой и диоксаном-1,4, а также наличие опалесценции в пробе с толуолом, что свидетельствовало о частичном растворении фотополимерной смолы.

В результате анализа полученных данных установлено, что набухаемость при контакте с изученными растворителями eSUN Flex составляла от 2,85% до 144,88% (таблица 3). Наибольшая набухаемость отмечалась при контакте с муравьиной и уксусной кислотами.

У изделий из фотополимерной смолы Anycubic Dental через 2 часа наблюдали появление трещин углов и поверхности моделей в ацетонитриле, бензине, формальдегиде. В метилэтилкетоне, ацетоне и диоксане-1,4 наблюдали появление локального расслоения поверхности изделия. В хлороформе и 1,2-дихлорэтаноле происходило интенсивное набухание с частичным расслоением и растворением. В других растворителях видимых изменений отмечено не было. Через 4 часа трещины углов и поверхности появлялись на

Таблица 3. – Набухаемость испытуемых материалов в органических растворителях через 24 часа

Растворители	Набухаемость, %			
	eSUN Flex	Anycubic Dental	Anycubic Basic	Voxelab Standart
Метанол	22,97	2,15	3,62	4,43
Этанол	24,27	0,81	1,70	2,42
Изопропанол	11,22	0,54	0,37	1,51
Бутанол-1	27,73	0,63	0,75	1,18
Изобутанол	13,99	0,56	-	0,42
Бутанол-2	24,41	0,83	0,68	1,04
Изоамиловый спирт	23,88	0,59	0,66	0,70
Диэтиловый эфир	20,72	2,80	1,33	2,57
Этилацетат	46,30	4,75	частичное растворение	частичное растворение
Бутилацетат	70,75	2,99	2,07	3,23
Амилацетат	61,55	-	1,17	1,46
Хлороформ	50,58	полное растворение	полное растворение	полное растворение
1,2-дихлорэтан	64,96	частичное растворение	частичное растворение	частичное растворение
Тетрахлорметан	91,41	4,53	1,77	2,62
Ацетонитрил	29,96	5,02	частичное растворение	частичное растворение
Диметилформамид	46,84	1,51	4,41	частичное растворение
Ацетон	25,69	частичное растворение	частичное растворение	частичное растворение
Метилэтилкетон	41,74	частичное растворение	частичное растворение	частичное растворение
Формальдегид	5,12	0,92	1,37	0,92
Муравьиная кислота	118,71	6,92	частичное растворение	частичное растворение
Уксусная кислота	144,88	3,83	частичное растворение	частичное растворение
Гексан	3,13	0,16	0,07	-
Толуол	66,12	0,95	2,34	3,06
Диоксан-1,4	96,84	3,76	частичное растворение	частичное растворение
Бензин «Галоша»	2,85	0,07	-	0,01
Растворитель 647	80,32	0,26	2,71	3,68

изделиях, погруженных в метанол, изопропанол, растворитель 647 и уксусную кислоту. Через 8 часов в толуоле наблюдали образование коллоидного раствора с опалесценцией.

На протяжении всего периода наблюдений в соответствующих образцах увеличивалось расслаивание с появлением глубоких трещин и частичное растворение объектов. Стоит отметить, что через 24 часа в хлороформе произошло полное разрушение формы трехмерной структуры с частичным растворением фотополимерной смолы и образованием взвеси в

виде набухших гранул полимера.

Через 2 часа в этилацетате наблюдалось набухание изделий из Anycubic Basic. Образцы с изобутанолом, бутанол-2, изоамиловым спиртом, гексаном, ацетонитрилом, бензином и формальдегидом имели трещины на поверхности. В хлороформе и 1,2-дихлорэтаноле наблюдали интенсивное набухание с частичным растворением. Изменения изделия в 1,2-дихлорэтаноле были более выражены, чем соответствующей модели из Anycubic Dental. Метилэтилкетон, ацетон, диоксан-1,4, уксусная и муравьиная кислоты

способствовали частичному растворению изделий с расслоением по всей длине. Через 4 часа в диметилформамиде, этилацетате и ацетонитриле происходило растворение вдоль ребер и углов изделий. При последующих наблюдениях в образцах увеличивалось количество мелких трещин, продолжалось растворение изделий, в том числе с расслоением по всей длине.

Через 24 часа отмечали частичное расслоение с растворением большей части параллелепипеда в этилацетате и образование коллоидного раствора в толуоле, а также образование взвеси с разрушением структуры объекта в хлороформе.

Для изделий из фотополимерной смолы Voxelab Standart через 2 часа в изобутаноле, бутаноле-2, гексане, формальдегиде отмечали появление мелких трещин поверхности, в изоамиловом спирте – глубоких трещин в объеме детали. В бензине «Галоша» также отмечали появление хаотично расположенных трещин в объеме детали. Поведение изделий в хлороформе и 1,2-дихлорэтаноле было идентично поведению изделий из фотополимерных смол Anycubic Dental и Anycubic Basic, а в метилэтилкетоне – Anycubic Basic. Однако необходимо отметить, что из всех указанных смол параллелепипеда из Voxelab Standart претерпели наибольшее растворение в 1,2-дихлорэтаноле. В ацетоне, уксусной кислоте и диоксане-1,4 наблюдали появление локальных расслоений поверхности. В муравьиной кислоте установили частичное растворение параллелепипеда с расслоением по всей длине.

Через 4 часа были отмечены трещины на поверхности изделий в диэтиловом эфире, изопропаноле и бутилацетате, их укрупнение в гексане, появление трещин в объеме детали в растворителе 647 и этилацетате. Наблюдали растворение вдоль ребер в бутаноле-2, этилацетате и ацетонитриле, а также начиналось локальное расслаивание в диметилформамиде.

При последующих наблюдениях установлено увеличение количества очагов расслаивания поверхности и частичного растворения изделий. Через 24 часа в толуоле обнаруживалась опалесценция раствора.

При оценке набухаемости тестируемых фотополимерных смол определено, что все значения входили в интервал 0–20% (для Anycubic Dental, Anycubic

Basic и Voxelab Standart), что указывает на значительное отличие свойств полиакрилатных смол от свойств уретан-акрилатной eSUN Flex. Тем не менее, при набухании всех фотополимерных материалов была зафиксирована потеря механической прочности и повышенная хрупкость (модели не выдерживают приложение изгибающих сил).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Несмотря на достаточно высокую точность воспроизведения линейных размеров изделий, напечатанных с использованием 3D-принтера Anycubic Photon (относительно цифровой модели), наблюдается отклонение по массе готовых изделий от -4,48% до +2,48% в зависимости от используемой фотополимерной смолы. Потенциально данный факт может оказывать существенное влияние на свойства малоразмерных объектов, печатаемых с высокой точностью (таких, как элементы аналитического оборудования).

2. Полученные из фотополимерных смол изделия можно считать устойчивыми в диапазоне pH = 7–8. По мере увеличения или уменьшения pH относительно указанного диапазона на поверхности изученных изделий появлялись признаки частичного разрушения поверхностного слоя полимера различной степени выраженности.

3. Для большинства изученных фотополимерных смол характерно набухание в органических растворителях не более 20% либо частичное растворение. Исключением является eSUN Flex, не растворявшаяся ни в одном из изученных растворителей, но набухавшая до 144,88%. Данное явление можно объяснить большей устойчивостью уретан-акрилатных смол (к ним относится eSUN Flex) к действию органических растворителей, чем полиакрилатных.

4. При контакте с органическими растворителями зафиксировано изменение поверхностных структур, интенсивное набухание полимера, изменение геометрии объектов, образование коллоидных растворов, а также утрата механических свойств, что свидетельствует о невозможности использования изделий из изученных фотополимерных смол в условиях постоянного или временного контакта с

широко используемыми в лабораторной практике органическими растворителями.

### SUMMARY

A. Ya. Efremova, M. L. Pivavar,  
M. N. Sabodina

#### CHANGE IN OPERATING PROPERTIES OF PHOTOPOLYMER MATERIALS FOR 3D-PRINTING UNDER THE INFLUENCE OF CHEMICAL FACTORS

The article is devoted to the study of photopolymer resins properties used for 3D-printing. The research method was process modelling of the items contact printed on a photopolymer 3D-printer from photopolymer resins of 4 brands using buffer solutions with pH 3-12 and 26 solvents of different classes of organic compounds. The changes in appearance and properties of the materials studied when exposed to various organic solvents and buffer solutions are described. Deviation in the mass of finished items depending on the selected photopolymer resin is determined. Mechanical strength reduction of surface layers at pH values different from neutral in buffer solutions was observed. Change in surface structures, intensive polymer swelling, change in objects geometry, formation of colloidal solutions and in some cases delamination and incomplete dissolution of items resulting in loss of mechanical strength, and absence of model stability to the application of bending forces were recorded in contact with organic solvents. The study revealed loss of functional and operational properties of photopolymer materials not documented by the manufacturer.

Keywords: additive technologies, stereolithography, photopolymer resins, polymerization, analytical equipment, buffer solutions, organic solvents.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Беседина, К. С. Применение аддитивных технологий при получении изделий из полимерных материалов (обзор) / К. С. Беседина, Н. А. Лавров, В. В. Барсков // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2018. – № 44. – С. 56–63.

2. Антонова, В. С. Аддитивные технологии: учебное пособие / В. С. Антонова, И. И. Осовская. – Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 30 с.

3. Лушекина, Е.В. Обновление приборного парка научных организаций России: проблемы и решения / Е. В. Лушекина // Научное приборостроение. – 2022. – Т. 32, № 3. – С. 41–58.

4. Использование технологий 3D-печати на кафедре токсикологической и аналитической химии / М. Л. Пивовар [и др.] // Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации: материалы 77-ой научной сессии ВГМУ. – 2022. – С. 239–241.

5. Малаев, И. А. Аддитивные технологии: применение в медицине и фармации / И. А. Малаев, М. Л. Пивовар // Вестник фармации. – 2019. – Т.84, № 2. – С. 98–107.

6. Шкуро, А. Е. Технологии и материалы 3D-печати [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CDROM). Режим доступа: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6617/1/Shkuro.pdf>. – Дата доступа: 10.12.2022.

7. Бабкин, О. Э. 3D макетирование: технологии, оборудование, материалы / О. Э. Бабкин. – СПб : Издательство СПбГУКиТ, 2013. – 97 с.

8. Ходер, В. Б. Наполненные фотополимерные композиции для 3D-печати методом стереолитографии (обзор) / В. Б. Ходер, Е. И. Кордикова, Г. Н. Дьякова // Труды БГТУ: Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2022. – № 1 (253). – С. 27–32.

### REFERENCES

1. Besedina KS, Lavrov NA, Barskov VV. Application of additive technologies in production of articles from polymeric materials (review). *Izv S-Peterb gos tekhnolog in-ta (tekhnich un-ta)*. 2018;(44):56–63. doi: 10.15217/issn1998984-9.2018.44.56. (In Russ.)

2. Antonova VS, Osovskaya II. Additive technologies: ucheb posobie. Sankt-Peterburg, RF: S-Peterb gos un-t prom tekhnologii i dizaina; 2017. 30 s. (In Russ.)

3. Lushchekina EV. Updating the Instrumentation Park of Russian Scientific Organizations: Problems and Solutions. *Nauch priborostroenie*. 2022;32(3):41–58. (In Russ.)

4. Pivovar ML, Sabodina MN, Efremova AIa, Bogatenok EA. The use of 3D printing technologies at the Department of Toxicological and Analytical Chemistry [Elektronnyi resurs]. V: Shchastnyi AT, redactor. *Dostizheniia fundamental'noi, klinicheskoi meditsiny i farmatsii* [CD-ROM]. *Materialy 77-oi nauch ses VGМУ; Vitebsk*; 2022 Ianv 26-27. Vitebsk, RB: Vitebskii gos med un-t; 2022. s. 239–41. (In Russ.)

5. Malaev IA, Pivovar ML. Additive tech-

nologies: application in medicine and pharmacy. Vest farmatsii. 2019;(2):98–107. (In Russ.)

6. Shkuro AE, Krivonogov PS. 3D printing technologies and materials [Elektronnyi resurs]: ucheb posobie. Ekaterinburg, RF: Ural gos les-otekhnich un-t; 2017. Rezhim dostupa: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6617/1/Shkuro.pdf>. Data dostupa: 10.12.2022. (In Russ.)

7. Babkin OE. 3D prototyping: technologies, equipment, materials. Sankt-Peterburg, RF: S-Peterb gos in-t kino i televideniia; 2013. 97 s. (In Russ.)

8. Khoder VB, Kordikova EI, D'iakova GN. Filled photopolymer compositions for 3D printing by stereolithography method (over-

view). Tr Belorus gos tekhnolog un-ta. Ser 2, Khim tekhnologii, biotekhnologii, geoeкологиia. 2022;(1):27–32. doi: 10.52065/2520-2669-2022-253-1-27-32. (In Russ.)

**Адрес для корреспонденции:**

210009, Республика Беларусь,

г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,

УО «Витебский государственный ордена

Дружбы народов медицинский университет»,

кафедра токсикологической

и аналитической химии,

e-mail: [anna2013efr@gmail.com](mailto:anna2013efr@gmail.com),

Ефремова А. Я.

Поступила 23.12.2022 г.