

### Авторлар туралы мәліметтер

**А.О. Майжанова\*** – «Тамақ өндірістерінің технологиялары және биотехнология» кафедрасының докторанты, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті», <sup>2</sup> кіші ғылыми қызметкер «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Семей қ. филиалы, Қазақстан Республикасы; e-mail: fquekm2710@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-9465>

**К.Ж. Амирханов** – техника ғылымдарының докторы, «Тамақ өндірістерінің технологиялары және биотехнология» кафедрасының профессоры, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті», Қазақстан Республикасы; e-mail: aspirant57@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7988-988X>

**Ш.К. Жакупбекова** – «Тамақ өндірістерінің технологиялары және биотехнология» кафедрасының докторанты, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті», Қазақстан Республикасы; e-mail: siyanie\_\_88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7558-9871>

**А.К. Суйчинов** – PhD доктор, «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Семей қ. филиалының директоры, Қазақстан Республикасы; e-mail: asuychinov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4862-3293>.

### Information about the authors

**A.O. Maizhanova\*** – Doctoral student of the department "Technology of food production and biotechnology", "University named after Shakarim of the city of Semey"; junior researcher of "Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry", LLP, Semey branch Republic of Kazakhstan, Semey; e-mail: fquekm2710@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-9465>.

**K.Zh. Amirkhanov** – Doctor of technical sciences, professor of the Department "Technologies of food production and biotechnology", "Shakarim University of Semey", Republic of Kazakhstan; e-mail: aspirant57@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7988-988X>.

**Sh.K. Zhakupbekova** – Doctoral student of the department "Technology of food production and biotechnology", "University named after Shakarim of the city of Semey" Republic of Kazakhstan; e-mail: siyanie\_\_88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7558-9871>.

**A.K. Suichinov** – PhD, director of Semey branch of Kazakh Research Institute of processing and food industries LLP, Republic of Kazakhstan; e-mail: asuychinov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4862-3293>.

*Материал поступил в редакцию 13.06.2023 г.*

DOI: 10.53360/2788-7995-2023-3(11)-6

МРНТИ: 62.41.99

### З.Н. Темиржанова

Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А  
e-mail: zukhra\_94g@mail.ru

### ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ БИОСЕНСОРА В ОБЛАСТИ МИКРОБНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

**Аннотация:** В настоящем обзоре мы обсудили разработку и изготовление устройств тесты по месту оказания помощи (РОСТ) для обнаружения микробных патогенов, в том числе бактерий, вирусов, грибов и паразитов. Были освещены электрохимические методы и текущие достижения в этой области с точки зрения интегрированных электрохимических платформ, которые включают в основном подходы на основе микрофлюидов и интегрированные системы смартфонов и Интернета вещей (IoT) и Интернета медицинских вещей (IoMT). Кроме того, будет сообщено о доступности коммерческих биосенсоров для обнаружения микробных патогенов. В конце были обсуждены проблемы при изготовлении биосенсоров по месту оказания помощи (РОС) и ожидаемые будущие достижения в области биосенсоров. Интегрированные платформы

на основе биосенсоров с IoM / IoMT обычно собирают данные для отслеживания распространения инфекционных заболеваний в сообществе, что было бы полезно с точки зрения лучшей готовности к текущим и будущим пандемиям и, как ожидается, предотвратит социальные и экономические потери.

В последнее десятилетие наука о биосенсорах добилась огромного прогресса в диагностике заболеваний. Лекарственно-устойчивые бактерии превосходят усилия по поиску лекарств, ставя под угрозу современные антибиотики и угрожая многочисленным неизбежным медицинским процедурам, которые считаются само собой разумеющимися. Борьба с этой всемирной угрозой потребует изобретения и применения все более широкой диагностики инфекционных заболеваний.

**Ключевые слова:** электрохимический, инфекционные болезни, интернет медицинских вещей, тесты по месту оказания помощи, методы амплификации нуклеиновых кислот, нуклеиновые кислоты, однонуклеотидные полиморфизмы, бумажных сенсорных инструментов, микрожидкостного тестирования на месте, COVID-19.

## **Введение**

Лабораторная диагностика инфекционных заболеваний в настоящее время преимущественно основана на подходах, основанных на клеточных культурах, которые дают результаты в течение нескольких дней, что затрудняет принятие решения о своевременном выборе эффективных терапевтических противомикробных препаратов [1-5]. Методы амплификации нуклеиновых кислот (МАНК) дают быстрые результаты, поскольку они обнаруживают микробный нуклеиновых кислот (НК) непосредственно в образцах пациентов, что часто занимает менее часа или двух.

Вопреки этому, существующие технологии МАНК имеют два основных недостатка, которые препятствуют их принятию, особенно с точки зрения обнаружения всего спектра мутантных вариантов микробов, которые являются лекарственно-устойчивыми, называемыми мультирезистентными (МР) микробами [1, 3]. Прежде всего, это их ограниченный уровень мультиплексирования, который определяется как общее количество последовательностей (или штаммов), которые могут быть идентифицированы в одной реакции [7]. Вторая проблема заключается в их неспособности обнаруживать однонуклеотидные полиморфизмы (ОНП) или другие изменения/мутации из-за их низкого разрешения и точности. Тем не менее, можно исследовать локальные изменения последовательности (обычно 3-6 нуклеотидов) с использованием аллель-специфических праймеров или зондов, меченных флуорофором, однако точное изменение основания и точная координата не могут быть получены с высокой степенью достоверности [8]. Ограничения этих методов можно легко преодолеть с помощью передовых биосенсоров, которые включают электрохимические и микрожидкостные платформы, которые обеспечивают экономически эффективное, сверхвысокочувствительное и селективное обнаружение целевого аналита в течение ограниченного периода времени. Детали электрохимического и микрожидкостного тестирования на месте (МЖТМ) для диагностики инфекционных заболеваний будут обсуждаться в следующем разделе.

## **Методы исследования**

Для обнаружения биомолекул с помощью биосенсоров требуется элемент химического распознавания, который улавливает целевой аналит, а химическая энергия биологических взаимодействий/химических реакций затем преобразуется в электрическую энергию с помощью физико-химического преобразователя. Далее этот сигнал необходимо отправить на детектор для обработки и анализа сигнала. В случае электрохимического биосенсора используется электрохимический преобразователь на химически модифицированном электроде, который соединяется с биологическим аналитом для селективного обнаружения целевого аналита [9, 10]. Среди многочисленных достоинств электрохимических биосенсоров можно выделить способность высокой чувствительности, низкую предел обнаружения, портативность, высокая стабильность, простота в эксплуатации и высокая пропускная способность диагностики, которые в последнее время наиболее востребованы для РОСТ. К микробным заболеваниям относятся вирусы, бактерии, паразиты или грибки, которые представляют огромный интерес из-за их высокой смертности и серьезности.

РОСТ является фундаментальным требованием для ранней диагностики заболеваний, связанных с контактной и бесконтактной передачей. Скрининг и диагностика пациентов

должны быть локализованными и персонализированными, что позволит улучшить и ускорить перспективы лечения. На рисунке 1 показана связь между платформами РОС на основе электрохимии и методами мониторинга, которые помогают сообщать статистику заболеваний на протяжении всей ситуации со вспышкой.

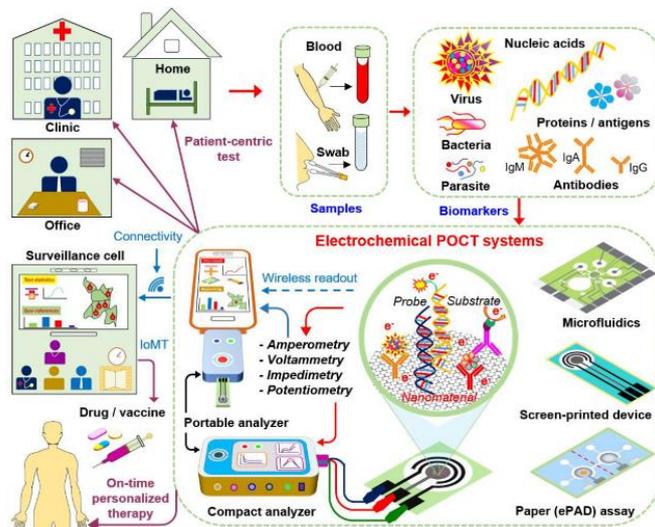


Рисунок 1 – Наглядная иллюстрация интегрированных устройств электрохимического тестирования РОС IoT. Авторские права из ссылки [11].

К преимуществам РОСТ на основе Интернета медицинских вещей (ИМТ) относятся дешевые, простые и удобные устройства, не требующие квалифицированного персонала, которые можно проводить в клиниках, домах, на рабочих местах и т.д. Тем не менее, тесты РОС на основе ИМТ позволяют выполнять скрининг по требованию и высокопроизводительное тестирование в глобальном масштабе снижают нагрузку на централизованные учреждения и обеспечивают простой мониторинг и быструю диагностику [11].

Несколько патогенных заболеваний в первую очередь ответственны за воспаление, приводя к появлению различных биомаркеров воспаления. Такие биомаркеры характеризуются и эффективно диагностируются с помощью устройств РОС, интегрированных в ИМТ, для эффективного, быстрого и точного крупномасштабного мониторинга заболеваний. В этом разделе систематически обсуждаются устройства РОС на основе электрохимии для обнаружения таких микробных заболеваний. Рисунок 2 (а) иллюстрирует диагностику и мониторинг воспалительных заболеваний на основе РОС для современного управления здравоохранением [12].

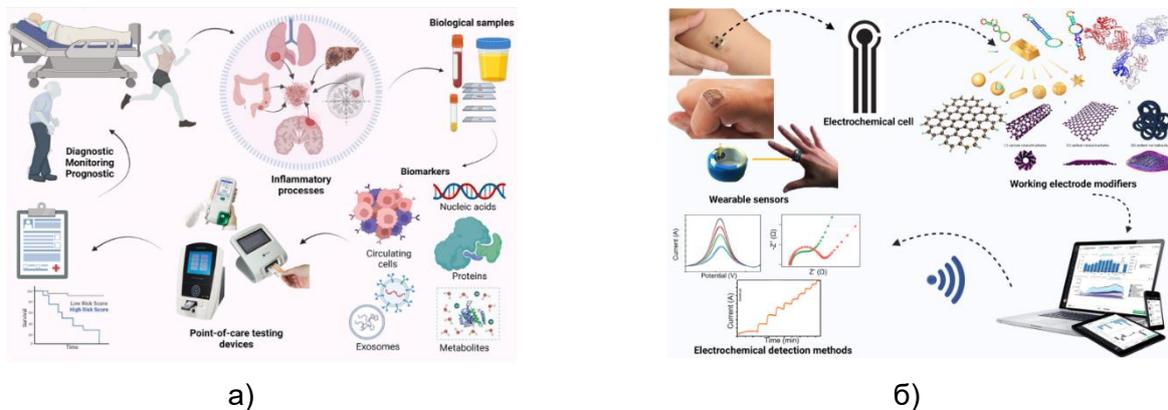


Рисунок 2 – (а) Мониторинг, лечение и управление РОС на основе IoT для заболеваний, связанных с воспалением, (б) графическое представление методологии работы электрохимических платформ в настройках РОС. Авторское право из ссылки [12].

## Результаты исследований

Электрохимические биосенсоры достаточно универсальны и могут использоваться для точной, ранней, быстрой и экономичной диагностики бактериальных заболеваний, [13] тропических болезней, [14] инфекционных вирусных заболеваний, [15] и обнаружения патогенов, [16] обнаружения респираторных вирусов [17], и т.д. Учитывая характеристики электрохимических биосенсоров, разработка устройств РОС на основе ИМТ резко повысит текущую потребность в глобальном, крупномасштабном, дешевом, быстром и чувствительном обнаружении биомаркеров заболеваний. На рисунке 2 (б) показаны особые свойства электрохимических биосенсоров с точки зрения модификации их субстрата, использования наноматериалов, высокой чувствительности, улучшений для увеличения срока годности, уменьшения биологического обрастания, способности мультиплексного обнаружения, оцифровки и простоты интеграции с другими методами. Использование платформ на основе ИМТ имеет большое значение для решения текущих проблем с растущими требованиями. Электрохимические биосенсоры лишены преимуществ миниатюризации, портативности, селективности и возможностей РОСТ, которые способствуют их использованию в клинических условиях даже в глобальном масштабе [12].

Обнаружение аналита с помощью встроенного электрохимического биосенсора IoT на основе графена показано на рисунке 3 [18].

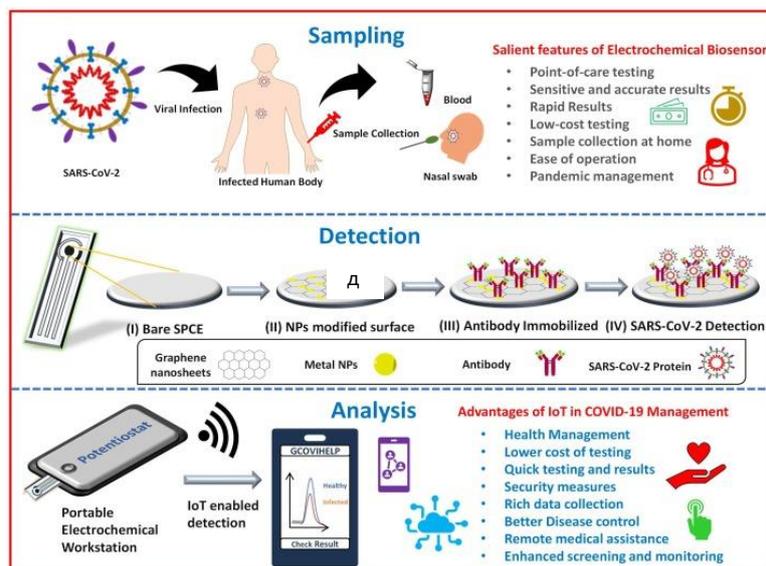


Рисунок 3-Графическая интерпретация отбора проб, обнаружения и анализа интегрированного электрохимического биосенсора IoT на основе графена. Авторские права из ссылки [18].

## Обсуждение научных результатов

Благодаря высокой специфичности, простоте массового производства, экономичности и возможности применения на месте, а также способности давать быстрые результаты устройства РОС на основе биосенсоров стали важными диагностическими подходами для диагностики заболеваний и мониторинга терапевтического ответа. Традиционные подходы являются дорогостоящими, трудоемкими и трудоемкими. Биосенсоры постепенно заменяют традиционные методы обнаружения аналитов. Для обнаружения аллергенов, токсинов, гормонов, микробов, пестицидов и других соответствующих химических веществ они обеспечивают более быструю, точную и более гибкую методику. Рынок носимых датчиков, вероятно, сильно изменится в ближайшие годы. Прогнозируется, что популярность биосенсоров будет расти по мере роста популярности носимых медицинских устройств как на медицинском, так и на потребительском рынках. В целом, сенсорные устройства, такие как системы бокового потока, бумажные тест-полоски и электрохимические биосенсоры, можно использовать для простого скрининга или выборочного количественного определения материалов в сочетании с компьютерными инструментами для сбора и анализа данных.

Портативные считыватели и инструменты, интегрированные с информационными технологиями, такие как смартфоны со встроенными датчиками или портативные

потенциостатические устройства с возможностью передачи сигнала, предлагают преимущество полного количественного измерения [19]. Например, связь ближнего поля для считывания сигналов является важным достижением в области бумажных сенсорных инструментов (БСИ). Эти инструменты позволяют передавать данные посредством взаимодействия и интеграции с IoT. Это обеспечивает более строгую связь, связанную с медицинской информацией в сценариях пандемии, что важно для мониторинга, контроля и прекращения передачи инфекции. Более того, интеграция инструментов ИИ с диагностическими системами позволила более оперативно управлять эпидемиологическими данными из соответствующей области во время пандемии COVID-19 [20,21]. Нынешний сценарий биозондирования кажется многообещающим.

Каждый месяц выпускаются новые сенсорные платформы с повышенной аналитической производительностью. Несмотря на такую высокую производительность, разработка биоаналитических гаджетов по-прежнему в значительной степени зависит от проб и ошибок на протяжении всего процесса производства и оптимизации. Несмотря на то, что до сих пор этот метод был успешным, важно подчеркнуть, что изменения часто незначительны и лишь в редких случаях успешно реализуются на рынке. В связи с этим мы считаем, что разработчикам может быть полезен более компьютеризированный подход, который позволил бы их гаджетам работать более эффективно и с аналитической точки зрения [22-25]. На рынок. Кроме того, использование моделей ИИ во время анализа данных может стать полезным инструментом для улучшения специфичности и чувствительности датчика без необходимости изменения биологических или аппаратных компонентов [22]. Помимо технологических препятствий и отсутствия единой модели диагностики заболеваний, необходимо учитывать определенные социально-экономические факторы, чтобы организовать широкомасштабную кампанию по использованию диагностических устройств.

Кроме того, даже высокочувствительный анализ, способный выявлять многие биомаркеры инфекционных агентов, сам по себе может не дать однозначно положительного или отрицательного результата из-за различий в профиле специфических биомаркеров пациента, которые могут быть связаны со многими другими факторами. медицинские расстройства. Вследствие этого квалифицированный микробиолог должен постоянно осматривать результаты анализов и другие симптомы больного. В контексте массового диагностического тестирования это влечет за собой обучение и развертывание большого числа медицинских работников, а также определенные изменения существующих инфраструктур для хранения и утилизации образцов. Еще одна трудность заключается в уравнивании последствий такого диагноза на жизнь пациента. Например, пациенту, у которого диагностирован определенный недуг, может потребоваться психологическая помощь, которая должна быть оказана сразу после получения результатов анализов. Это требует дополнительных профессиональных консультаций для наблюдения за пациентами в течение всей процедуры скрининга [26]. Помимо психологического напряжения обследования, пациент должен быть уверен, что его результаты не будут доступны третьим лицам. Действительно, нарушение безопасности данных может привести к значительному увеличению расходов на здравоохранение и страхование жизни, а также к дискриминации на работе. В результате становится очевидным, что для успешного осуществления крупномасштабной программы выявления заболеваний требуется прочная социально-экономическая основа, которая может быть достигнута за счет использования аддитивного производства [27,28].

Химики и биологи-химики могут внести значительный вклад в разработку биосенсорных устройств против инфекционных агентов, включая бактерии, вирусы, грибки и паразиты. Нам еще многое предстоит узнать о микробной популяции, их генетике, биохимических путях и способах взаимодействия с рецепторами биологических клеток. Исследователи могут использовать химические знания, чтобы связать микробную активность с генами и ферментами. На уровне сигнального пути производятся и используются низкомолекулярные зонды для изучения взаимодействия микробиоты и иммунной системы. Исследователи могут использовать химические знания, чтобы связать микробную активность с генами и ферментами и, следовательно, использовать их для обнаружения конкретных микробных компонентов, которые влияют на инфекции или иммунную систему хозяина.

Чтобы в полной мере осознать потенциал методов биозондирования для лечения и профилактики инфекционных заболеваний, мы должны преодолеть серьезные препятствия,

связанные с изменением состава и функций этих сложных сообществ. Химики могут помочь в разработке стратегий биосенсора следующего поколения с помощью новой конструкции материалов, которые обладают улучшенной химической функциональностью, высокой электропроводностью, увеличенной площадью поверхности и другими настраиваемыми физико-химическими свойствами. В дополнение к их полезности в качестве инструментов, такие химические вещества могут иметь терапевтические перспективы. В целом, наше более глубокое понимание процессов, лежащих в основе взаимодействия хозяина и патогена, наряду с новыми технологиями изготовления мультиплексных, миниатюрных, высокопроизводительных инструментов биосенсора, обещает обеспечить инновационные стратегии борьбы с инфекционными заболеваниями, которые являются серьезной проблемой здравоохранения во всем мире.

### **Заключение**

Интеграцию электрохимических устройств с микрофлюидной платформой в сочетании с платформой ИМТ для анализа больших данных и облачных вычислений можно считать революцией в области биозондирования. Мультиплексные и сверхчувствительные миниатюрные устройства могут обеспечить необходимую клиническую чувствительность и специфичность для диагностики инфекционных заболеваний. При правильном этическом управлении и уходе это может снизить финансовую нагрузку на системы здравоохранения, а также улучшить результаты микробной инфекции. В совокупности прогресс в области биозондирования может стать благом для общества и может быть полезен в борьбе с нынешними и будущими эпидемиями и пандемиями с точки зрения лучшей готовности.

### **Список литературы**

1. Садик М.А., Ядав С., Ранджан П. и соавт. Высокоэффективные противовирусные наносистемы в качестве щита для подавления вирусных инфекций: SARS-CoV-2 в качестве модельного примера. *J Mater Chem B*. – 2021; 9(23): 4620-4642.
2. Парихар А., Сингхал А., Кумар Н., Хан Р., Хан М., Шривастава А.К. Интеллектуальные электрохимические аптасенсоры следующего поколения на основе МХе<sub>п</sub> для диагностики рака по месту оказания медицинской помощи. *Нано-Микро Летт.* – 2022. – 14(1): 1-34.
3. Сингхал А., Садик М.А., Кумар Н. и др. Многофункциональные углеродные наноматериалы украшают гибридные полимеры с молекулярными отпечатками для эффективного электрохимического обнаружения антибиотиков. *J Environ Chem Eng.* – 2022. – 10:107703.
4. Сингхал А., Парихар А., Кумар Н., Хан Р. Высокопроизводительные электрохимические наносенсоры на основе молекулярно-импринтированных полимеров для диагностики COVID-19 в местах оказания медицинской помощи. *Матер Летт.* 2022 г.; 306:130898.
5. Сингхал А., Ядав С., Садик М.А. и соавт. Молекулярно импринтированный полимер, модифицированный МХе<sub>п</sub>, как платформа искусственного биораспознавания для эффективного электрохимического зондирования: прогресс и перспективы. *Phys Chem Chem Phys.* – 2022. – 24: 19164-19176.
6. Парихар А., Ранджан П., Санги С.К., Сривастава А.К., Хан Р. Биосенсорная диагностика COVID-19 в месте оказания медицинской помощи обещает бороться с текущими и будущими пандемиями. *ACS Appl Biol Mater.* – 2020. – 3(11): 7326-7343.
7. Хоссейн М.Г., Уеда К. Исследование нового ускользящего мутанта поверхностного антигена вируса гепатита В (HBsAg), влияющего на иммуногенность. *ПЛОС Один.* – 2017. – 12(1):e0167871.
8. Рахман М.М., Лим С., Парк Ю.С. Разработка маркера триплексной ПЦР на основе однонуклеотидного полиморфизма (SNP) для обнаружения серотип-специфичной кишечной палочки. *Возбудители.* – 2022. – 11(2): 115.
9. Тевено Д.Р., Тот К., Дерст Р.А., Уилсон Г.С. Электрохимические биосенсоры: рекомендуемые определения и классификация. *Биосенс Биоэлектрон.* – 2001. – 16(1): 121-131.

10. Ранджан П., Ядав С., Садик М.А., Хан Р., Чаурасия Дж.П., Шривастава А.К. Функциональные ионные жидкости декорировали углеродные гибридные наноматериалы для электрохимических биосенсоров. Биосенсоры. – 2021. – 11(11): 414.
11. Бисвас Г.К., Чоудхури С., Раббани М.М., Дас Дж. Обзор потенциальных электрохимических тестов по месту оказания медицинской помощи, направленных на выявление пандемических инфекционных заболеваний: COVID-19 в качестве эталона. Хемосенсоры. – 2022. – 10(7): 269.
12. Macovei D-G, Irimes MB, Hosu O, Cristea C, Tertis M. Электрохимическое тестирование биомаркеров в местах оказания медицинской помощи, связанных с воспалительными и связанными с воспалением заболеваниями. Анальный биоанальный хим. – 2022. – 1- 31.
13. Карбелькар А.А., Фурст А.Л. Электрохимическая диагностика бактериальных инфекционных заболеваний. ACS Infect Dis. – 2020. – 6(7): 1567-1571.
14. Кордейро ТАР, де Резенде МАК, Мораес СКС, Франко Д.Л., Перейра А.С., Феррейра Л.Ф. Электрохимические биосенсоры для забытых тропических болезней: обзор. Таланта. – 2021. – 234:122617.
15. Гоуд К.Ю., Редди К.К., Хоршед А. и др. Электрохимическая диагностика инфекционных вирусных заболеваний: тенденции и проблемы. Биосенс Биоэлектрон. – 2021. – 180:113112.
16. Чесевски Э., Джонсон Б.Н. Электрохимические биосенсоры для обнаружения патогенов. Биосенс Биоэлектрон. – 2020. – 159:112214.
17. Чжао З., Хуан С., Хуан З. и др. Достижения в области электрохимического биозондирования для обнаружения респираторных вирусов: обзор. Trends Analyt Chem. 2021; 139:116253. Абубакар Садик М., Ядав С., Ранджан П., Акрам Хан М., Кумар А., Хан Р. Быстрое обнаружение SARS-CoV-2 с использованием усовершенствованного электрохимического биосенсора, интегрированного в Интернет вещей на основе графена. Матер Летт. – 2021. – 305:130824.
18. Абубакар Садик М., Ядав С., Ранджан П., Акрам Хан М., Кумар А., Хан Р. Быстрое обнаружение SARS-CoV-2 с использованием интегрированного усовершенствованного электрохимического биосенсора Интернета вещей на основе графена. Матер Летт. 2021;305:130824. [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.4467efbd-651e7e5c-d3258177-74722d776562/https/pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36540867/](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.4467efbd-651e7e5c-d3258177-74722d776562/https/pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36540867/).
19. Тингам П., Сиангпрох В., Тонтисирин С. и др. Портативный амперометрический иммуносенсор на базе смартфона с поддержкой NFC для обнаружения вируса гепатита В. Приводы Sens B. – 2021. – 326:128825.
20. Каушик А.К., Дхау Дж.С., Гохел Х. и др. Электрохимическое обнаружение SARS-CoV-2 в местах оказания медицинской помощи и искусственный интеллект для интеллектуального управления COVID-19. Приложение ACS Bio Mater. – 2020. – 3(11): 7306-7325.
21. Pham QV, Nguyen DC, Huynh-The T, Hwang WJ, Pathirana PN. Искусственный интеллект (ИИ) и большие данные для пандемии коронавируса (COVID-19): обзор современного состояния. IEEE-доступ. – 2020. – 8:130820.
22. Бреретон Р.Г., Янсен Дж., Лопес Дж. и соавт. Хемометрика в аналитической химии: часть I - история, дизайн эксперимента и инструменты анализа данных. Анальный биоанальный хим. – 2017; 409(25): 5891-5899.
23. Джалали-Херави М., Аррастия М., Гомес Ф.А. Как хемометрия может улучшить микрофлюидику. Anal Chem. 7 апреля 2015; 87 (7): 3544-55. doi: 10.1021 /ac504863u. Epub 2015, 17 февраля.
24. Мартышко Е., Кирсанов Д. Применение хемометрики в биосенсинге: краткий обзор. Биосенсоры. 2020; 10(8): 100.
25. Зингер С. Психосоциальные последствия рака. Психоонкология. Спрингер; 2018: 1-11.
26. Парихар А., Пандита В., Кумар А. и др. 3D-печать: прогресс в биогенеративной инженерии для борьбы с нехваткой органов и биоприменяемых материалов. Regen Eng Transl Med. 2021; 8:1- 27.

27. Парихар А., Пандита В., Хан Р. Органоиды человека, напечатанные на 3D-принтере: высокопроизводительная система для скрининга и тестирования лекарств в условиях текущей пандемии COVID-19. *Биотехнология Биоинж.* 2022 г.; 119(10): 2669-2688.

### References

1. Sadique MA, Yadav S, Ranjan P, et al. High-performance antiviral nano-systems as a shield to inhibit viral infections: SARS-CoV-2 as a model case study. *J Mater Chem B.* 2021; 9(23): 4620-4642. (In Russian).
2. Parihar A, Singhal A, Kumar N, Khan R, Khan M, Srivastava AK. Next-generation intelligent MXene-based electrochemical aptasensors for point-of-care cancer diagnostics. *Nano-Micro Lett.* 2022; 14(1): 1- 34. (In Russian).
3. Singhal A, Sadique MA, Kumar N, et al. Multifunctional carbon nanomaterials decorated molecularly imprinted hybrid polymers for efficient electrochemical antibiotics sensing. *J Environ Chem Eng.* 2022; 10:107703. (In Russian).
4. Singhal A, Parihar A, Kumar N, Khan R. High throughput molecularly imprinted polymers based electrochemical nanosensors for point-of-care diagnostics of COVID-19. *Mater Lett.* 2022; 306:130898. (In Russian).
5. Singhal A, Yadav S, Sadique MA, et al. MXene-modified molecularly imprinted polymer as an artificial bio-recognition platform for efficient electrochemical sensing: progress and perspectives. *Phys Chem Chem Phys.* 2022; 24: 19164-19176. (In Russian).
6. Parihar A, Ranjan P, Sanghi SK, Srivastava AK, Khan R. Point-of-care biosensor-based diagnosis of COVID-19 holds promise to combat current and future pandemics. *ACS Appl Biol Mater.* 2020; 3(11): 7326- 7343. (In Russian).
7. Hossain MG, Ueda K. Investigation of a novel hepatitis B virus surface antigen (HBsAg) escape mutant affecting immunogenicity. *PLoS One.* 2017; 12(1):e0167871. (In Russian).
8. Rahman M-M, Lim S, Park Y-C. Development of single nucleotide polymorphism (SNP)-based triplex PCR marker for serotype-specific *Escherichia coli* detection. *Pathogens.* 2022; 11(2): 115. (In Russian).
9. Thévenot D.R., Toth K., Durst R.A., Wilson G.S. Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. *Biosens Bioelectron.* 2001; 16(1): 121- 131. (In Russian).
10. Ranjan P., Yadav S., Sadique M.A., Khan R., Chaurasia J.P., Srivastava A.K. Functional ionic liquids decorated carbon hybrid nanomaterials for the electrochemical biosensors. *Biosensors.* 2021; 11(11): 414. (In Russian).
11. Biswas G.C., Choudhury S., Rabbani M.M., Das J. A review on potential electrochemical point-of-care tests targeting pandemic infectious disease detection: COVID-19 as a reference. *Chemosensors.* 2022; 10(7): 269. (In Russian).
12. Macovei D-G, Irimes M-B, Hosu O, Cristea C, Tertis M. Point-of-care electrochemical testing of biomarkers involved in inflammatory and inflammatory-associated medical conditions. *Anal Bioanal Chem.* 2022; 1-31. (In Russian).
13. Karbelkar A.A., Furst A.L. Electrochemical diagnostics for bacterial infectious diseases. *ACS Infect Dis.* 2020; 6(7): 1567-1571. (In Russian).
14. Cordeiro TAR, de Resende MAC, Moraes SCS, Franco D.L., Pereira A.C., Ferreira L.F. Electrochemical biosensors for neglected tropical diseases: a review. *Talanta.* 2021; 234:122617.
15. Goud K.Y., Reddy K.K., Khorshed A., et al. Electrochemical diagnostics of infectious viral diseases: trends and challenges. *Biosens Bioelectron.* 2021; 180:113112. (In Russian).
16. Cesewski E., Johnson B.N. Electrochemical biosensors for pathogen detection. *Biosens Bioelectron.* 2020; 159:112214. (In Russian).
17. Zhao Z., Huang C., Huang Z., et al. Advancements in electrochemical biosensing for respiratory virus detection: a review. *Trends Analyt Chem.* 2021; 139:116253. Abubakar Sadique M., Yadav S., Ranjan P., Akram Khan M., Kumar A., Khan R. Rapid detection of SARS-CoV-2 using graphene-based IoT integrated advanced electrochemical biosensor. *Mater Lett.* 2021; 305:130824. (In Russian).

18. Abubakar Sadique M., Yadav S., Ranjan P., Akram Khan M., Kumar A., Khan R. Rapid detection of SARS-CoV-2 using graphene-based IoT integrated advanced electrochemical biosensor. *Mater Lett.* 2021;305:130824. (In Russian).
19. Teengam P., Siangproh W., Tontisirin S., et al. NFC-enabling smartphone-based portable amperometric immunosensor for hepatitis B virus detection. *Sens Actuators B.* 2021; 326:128825.
20. Kaushik A.K., Dhau J.S., Gohel H., et al. Electrochemical SARS-CoV-2 sensing at point-of-care and artificial intelligence for intelligent COVID-19 management. *ACS Appl Bio Mater.* 2020; 3(11): 7306- 7325. (In Russian).
21. Pham Q-V., Nguyen D.C., Huynh-The T., Hwang W-J., Pathirana P.N. Artificial intelligence (AI) and big data for coronavirus (COVID-19) pandemic: a survey on the state-of-the-arts. *IEEE Access.* 2020; 8:130820. (In Russian).
22. Tortorella S., Cinti S. How can Chemometrics Support the Development of Point of Need Devices? ACS Publications; 2021. (In Russian).
23. Brereton R.G., Jansen J., Lopes J., et al. Chemometrics in analytical chemistry: part I-history, experimental design and data analysis tools. *Anal Bioanal Chem.* 2017; 409(25): 5891-5899. (In Russian).
24. Martynko E., Kirsanov D. Application of chemometrics in biosensing: a brief review. *Biosensors.* 2020; 10(8): 100. (In Russian).
25. Singer S. Psychosocial impact of cancer. *Psycho-Oncology.* Springer; 2018: 1- 11. (In Russian).
26. Parihar A., Pandita V., Kumar A., et al. 3D printing: advancement in biogenerative engineering to combat shortage of organs and bioapplicable materials. *Regen Eng Transl Med.* 2021; 8: 1- 27. (In Russian).
27. Parihar A., Pandita V., Khan R. 3D printed human organoids: high throughput system for drug screening and testing in current COVID-19 pandemic. *Biotechnol Bioeng.* 2022; 119(10): 2669-2688. (In Russian).

### **З.Н. Теміржанова**

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А  
e-mail: zukhra\_94g@mail.ru

## **МИКРОБТЫҚ ЗЕРТТЕУ САЛАСЫНДАҒЫ БИОСЕНСОРДЫҢ СОҒҒЫ ЖЕТИСТІКТЕРІ**

Бұл мақалада біз микробтық патогендерді, соның ішінде бактерияларды, вирустарды, саңырауқұлақтарды және паразиттерді анықтауға арналған көмек көрсету нүктесін тексеру (POST) құрылғыларының әзірленуі мен өндірісін талқыладық. Микрофлюидтік негіздегі тәсілдер мен смартфон мен заттар интернеті (IoM) және медициналық заттардың интернетінің (IoMT) біріктірілген жүйелері негізіндегі тәсілдерден тұратын біріктірілген электрохимиялық платформалар тұрғысынан электрохимиялық әдістер мен саладағы ағымдағы жетістіктер қамтылды. Сонымен қатар, микробтық қоздырғыштарды анықтауға арналған коммерциялық биосенсорлардың болуы туралы хабарланатын болады. Соңында биосенсорларды күту нүктесінде (POC) жасаудағы қиындықтар және биосенсорлық технологиядағы күтілетін болашақ жетістіктер талқыланды. IoM/IoMT бар интеграцияланған биосенсорға негізделген платформалар әдетте қоғамда жұқпалы аурулардың таралуын бақылау үшін деректерді жинайды, бұл ағымдағы және болашақтағы пандемияға жақсырақ дайындық тұрғысынан пайдалы және әлеуметтік және экономикалық шығындардың алдын алады деп күтілуде.

Соңғы онжылдықта биосенсорлар ғылымы ауруларды диагностикалауда орасан зор прогреске қол жеткізді. Дәрі-дәрмекке төзімді бактериялар дәрі-дәрмек табу күш-жігерінен асып түседі, заманауи антибиотиктерге қауіп төндіреді және әдеттегідей қабылданатын көптеген еріксіз медициналық процедураларға қауіп төндіреді. Бұл дүниежүзілік қауіппен күресу жұқпалы аурулардың кеңірек диагностикасын ойлап табуды және қолдануды талап етеді.

**Түйін сөздер:** электрохимиялық, жұқпалы ауру, медициналық заттардың интернеті, жергілікті медициналық көмек көрсету сынақтары, нуклеин қышқылын күшейту әдістері, нуклеин қышқылдары, бір нуклеотидтік полиморфизмдер, қағаз негізіндегі сенсорлық құралдар, микрофлюидтік тестілеу, COVID-19.

**Z.N. Temirzhanova**

Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, st. Glinka, 20 A  
e-mail: zukhra\_94g@mail.ru

## RECENT ADVANCES OF THE BIOSENSOR IN MICROBIAL SENSING

*In this review, we discussed the design and manufacture of point-of-care test (POST) devices for the detection of microbial pathogens, including bacteria, viruses, fungi, and parasites. Electrochemical methods and current advances in the field were highlighted in terms of integrated electrochemical platforms, which include mainly microfluidic based approaches and integrated smartphone and Internet of things (IoM) and internet of medical things (IoMT) systems. In addition, the availability of commercial biosensors for the detection of microbial pathogens will be reported. At the end, challenges in point-of-care (POC) biosensor fabrication and expected future advances in biosensor technology were discussed. Integrated biosensor-based platforms with IoM/IoMT typically collect data to track the spread of infectious diseases in the community, which would be useful in terms of better preparedness for current and future pandemics and is expected to prevent social and economic losses.*

*In the last decade, the science of biosensors has made tremendous progress in diagnosing diseases. Drug-resistant bacteria are outperforming drug discovery efforts, jeopardizing modern antibiotics and threatening many inevitable medical procedures that are taken for granted. Combating this worldwide threat will require the invention and application of ever-wider diagnostics of infectious diseases.*

**Key words:** *electrochemical, infectious disease, internet of medical things, point-of-care tests, nucleic acid amplification methods, nucleic acids, single nucleotide polymorphisms, paper-based sensory instruments, microfluidic testing in situ, COVID-19.*

### Сведения об авторах

**З.Н. Темиржанова** – магистр технических наук, специалист центра коммерциализации и инновации; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; zukhra\_94g@mail.ru.

### Авторлар туралы мәліметтер

**З.Н. Темиржанова** – техника ғылымдарының магистрі, коммерцияландыру және инновациялар орталығының маманы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; zukhra\_94g@mail.ru.

### Information about the authors

**Z.N. Temirzhanova** – Master of Technical Sciences, Specialist of the Center for Commercialization and Innovation; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; zukhra\_94g@mail.ru.

*Материал поступил в редакцию 29.05.2023 г.*