

УДК 543.64:57.083.3:616.9

Применение средств экспресс-индикации патогенов при чрезвычайных ситуациях биологического характера

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73

© Технологии гражданской безопасности, 2022

П.В. Наумов, И.В. Шиленко, С.И. Третьяков, Ю.Н. Ишков, П.Н. Косырев

Аннотация

Статья открывает цикл публикаций по обеспечению гражданской защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в российской Арктике в условиях современных глобальных и региональных климатических изменений. На основе анализа перспективных направлений развития мировой и отечественной практики конкретизированы приоритетные направления обеспечения деятельности по предупреждению и ликвидации негативных воздействий чрезвычайных ситуаций ведущими участниками оперативного реагирования.

Ключевые слова: иммунохроматография; специфическая экспресс-индикация; патогенный биологический агент; иммунохроматографический тест; возбудитель сибирской язвы.

The Use of Pathogens Express Indication Means in Biological Emergencies

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73

© Civil Security Technology, 2022

P. Naumov, I. Shilenko, S. Tretyakov, Yu. Ishkov, P. Kosyrev

Abstract

The article opens a series of publications on the provision of civil protection against natural and man-made emergencies in the Russian Arctic in the conditions of modern global and regional climate changes. Based on the analysis of promising development areas of the world and domestic practice, priority areas of ensuring prevention and elimination of negative impacts of emergency situations by the leading participants of rapid response are specified.

Key words: immunochromatography; specific express indication; pathogenic biological agent; immunochromatographic test; anthrax causative agent.

22.02.2022

Борьба с инфекционными заболеваниями в последнее время приобретает все более масштабный характер, несмотря на достаточно высокий уровень современного развития медицины и ветеринарии в частности, науки и техники в целом. Отрасли медицинских наук развиваются очень динамично, но, видимо, патогенные микроорганизмы эволюционируют и подстраиваются под изменение условий еще быстрее. И пандемия вируса SARS-CoV-2 — яркое тому подтверждение.

Еще одним примером возникновения вспышки инфекционного заболевания, относящегося к тому же к особо опасным инфекциям (ООИ), может служить эпизоотия сибирской язвы (СЯ) среди северных оленей в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО), закончившаяся гибелью 2650 животных и заражением 36 человек, один из которых впоследствии скончался [3].

Основными причинами возникновения данной ЧС биологического характера названы: системное отсутствие настороженности в регионе в отношении СЯ, системное отсутствие иммунизации сельскохозяйственных животных на территории ЯНАО с 2007 г., недооценка данных эпизоотологических наблюдений прошлых лет, а также несвоевременная оценка ситуации и позднее реагирование на эпизоотию [3]. Анализируя последовательность произошедших событий и опыт ликвидации ЧС, можно сделать вывод, что ключевым моментом для минимизации ее последствий является время реагирования на ЧС, в частности, момент принятия решения по введению полного комплекса мер и действий всех необходимых для этого министерств, ведомств и служб. А принятие такого решения целиком и полностью зависит от времени и достоверности аналитического подтверждения присутствия патогена (в нашем случае — возбудителя сибирской язвы (ВСЯ)).

В случае вспышки СЯ в ЯНАО в 2016 г. задержка с подтверждением присутствия ВСЯ по ряду причин была непозволительно долгой. Перечень возможных причин может быть достаточно длинным: от отсутствия либо неисправности средств связи у оленеводческих бригад в условиях их удаленности друг от друга и населенных пунктов и проблем при отборе проб и их транспортировке к месту анализа до длительности используемых лабораторных методик по выявлению ВСЯ и организационно-бюрократических задержек. Но итоговым результатом стали несвоевременное выявление и поздняя локализация эпизоотии среди оленей: от первого случая гибели оленей (предположительно, 7 июля 2016 г.) до поступления 25 июля 2016 г. в местное Управление Роспотребнадзора предварительной информации о выявлении ВСЯ прошло около 3 недель [3]. Примечательным фактом является то, что данное сообщение поступило из ГАУ «Тюменская областная ветеринарная лаборатория» [3], которая находится на расстоянии более 1200 км от места возникновения эпизоотии.

Поэтому представляется актуальным рассмотреть все возможные меры для сокращения времени на подтверждение диагноза СЯ: от административных и научно-организационных (порядок и правила отбора проб, их виды, условия транспортировки) до технических (используемые методики и средства проведения

анализов на наличие ВСЯ). Ключевым моментом, возможно, является изучение современной системы лабораторного анализа и, в частности, существующие средства экспресс-индикации ВСЯ с их преимуществами и недостатками и возможность их применения (пусть даже и с некоторыми ограничениями и доработками процедур их использования) для сокращения временного промежутка от первых подозрений на присутствие патогена до твердой уверенности в его наличии и принятия решения на введение контрмер.

В настоящее время для выявления ВСЯ в лабораториях используется целый комплекс операций, включающий различные методы определения. Среди них можно выделить микроскопию (бактериоскопию), методы флуоресцирующих антител (МФА), полимеразной цепной реакции (ПЦР), иммуноферментного анализа (ИФА), реакции непрямой гемагглютинации (РНГА), реакции преципитации, иммунохроматографического анализа (ИХА) и классические методы биологического анализа [4]. Первым по порядку и наиболее используемым является метод световой микроскопии мазков, окрашенных по Граму, на обнаружение капсулы — по Ребигеру (опционально — по Михину и/или Романовскому-Гизма) и спор — по Цилю-Нильсену в соответствии с [2] и [1]. Анализ занимает порядка 2 часов.

Прочие методы специфической индикации (СИ) ВСЯ (МФА, ИФА и РНГА) позволяют дать предварительный результат анализа через 2–6 ч, за исключением ПЦР, на проведение которого требуется 8–12 ч [1]. Все перечисленные методы могут быть использованы исключительно в лабораторных условиях на сложном и дорогостоящем оборудовании высококвалифицированным персоналом. Классические методы биологического выявления присутствия патогенов в пробе могут занимать от 2 до 10 суток [1, 2, 4].

Применение иммунохроматографических тестов (ИХТ) предусматривается в [2] на начальном этапе комплексного анализа на ВСЯ для прямого определения споровой формы в пробах из объектов ОС (в течение 2 ч после начала анализа) и на более позднем этапе — для определения вегетативной формы ВСЯ после подращивания на плотных и жидких питательных средах (через 18, а затем через 36–48 ч после начала комплексного анализа). При этом выдача предварительного положительного ответа методом специфической индикации на основании результатов бактериоскопии, МФА, ИХ-теста, ИФА, РНГА и ПЦР происходит через 8–10 ч, а подтверждение предварительного ответа результатов СИ — через 24 ч после начала лабораторных исследований [2].

Использование ИХТ вообще не предусмотрено в [1]. Анализ проб из объектов ОС рекомендуется проводить методом РНГА.

При этом ИХТ для выявления споровой формы ВСЯ, серийно производимый ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, может выдавать предварительный положительный результат анализа уже через 5–15 мин, а предварительный отрицательный — не позднее, чем через 25–30 мин после начала анализа. Аналитическая чувствительность метода при этом составляет 1×10^6 м.к./мл [6].

Еще одним критически важным моментом является этап транспортировки проб от места их отбора к месту исследований. В случае ВСЯ анализ может быть произведен только в организации, аккредитованной для работы с патогенами не ниже II группы опасности. Это могут быть, например, лаборатории ООИ Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, противочумные учреждения и прочие, количество которых в условиях малонаселенной Арктической зоны крайне ограничено и может исчисляться 1–2 организациями на весь субъект РФ (на примере Ненецкого автономного округа (НАО)), что значительно сужает круг возможных мест анализа. В таких условиях транспортировка проб превращается в серьезную проблему, т.к. лаборатория с соответствующими техническими возможностями и квалифицированным персоналом может находиться на расстоянии сотен и даже тысяч километров. Видимо, этим и объясняются задержка с получением результатов анализов проб и тот факт, что об обнаружении ВСЯ в пробах в ЯНАО в 2016 г. первыми сообщили специалисты ветеринарной службы г. Тюмени, а не местных ведомств и служб.

Кроме того, существует проблема высоких требований к условиям транспортировки проб, включающим низкотемпературный режим хранения. Так, при 2–8 °С только образцы плазмы и сыворотки крови могут быть доставлены в микробиологическую лабораторию в течение 5 суток, остальные типы проб должны быть доставлены в течение всего суток [1, 2]. Хотя даже такой температурный режим (2–8 °С) при транспортировке не всегда возможно обеспечить, особенно при большом количестве отобранных проб. Организовать транспортировку при температурах минус 20 °С и минус 70 °С, которые тоже предлагается использовать в [1, 2], на практике в условиях Арктической зоны представляется еще более сложным. Применение ИХТ в полевых условиях прямо на месте отбора проб полностью решает эту проблему. Использование ИХТ в зоне отрицательных температур также возможно.

К тому же в условиях Севера выше вероятность того, что погодные условия могут повлиять на срок транспортировки в сторону его увеличения. Данный факт еще более увеличивает необходимость наличия максимально простых средств СИ ВСЯ, которые можно использовать на месте. И даже если недостаточная чувствительность ИХТ по ВСЯ не сможет выявить все случаи заражения животных и/или объектов окружающей среды (ОС), то в любом случае использование ИХТ в подобных ситуациях повышает шанс своевременного выявления ВСЯ, а значит, ускорит принятие решения на реагирование.

Еще одним позитивным моментом применения метода ИХА является то, что положительный результат анализа на ВСЯ позволяет поставить окончательный диагноз прямо на месте и полностью исключить риски распространения возбудителя в процессе его транспортировки на большие расстояния к месту анализа.

Рассмотрим общее устройство ИХТ, которые предлагается использовать для первичного экспресс-скрининга ВСЯ in situ, принцип их действия

и технические характеристики. ИХТ, разрабатываемые в ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, и укладки на их основе предназначены для идентификации патогенных биологических агентов (ПБА) на основе технологии ИХА и представляют собой наборы устройств и принадлежностей, обеспечивающих отбор и подготовку проб, а также их анализ.

Комплекты ИХТ позволяют отобрать и проанализировать пробы следующих типов:

смывы с поверхностей технологического оборудования и объектов окружающей среды;

жидкие пробы;

продукты питания;

почвы;

культуральные среды после стадии биологического обогащения;

пробы аэрозолей, отобранные на фильтры или в сорбирующую жидкость с помощью автоматических пробоотборных устройств биологических аэрозолей.

Метод ИХА основан на взаимодействии антител (АТ) и антигена (АГ) патогена. В нашем случае ИХА происходит в поровом пространстве аналитической мембраны (АМ) ИХТ, состоящем из нескольких, последовательно соединенных, мембран. Порция жидкой пробы вносится на соответствующую подложку АМ и под действием капиллярных сил перемещается вдоль ИХТ. В процессе этого перемещения происходит ряд иммунохимических взаимодействий между мечеными АТ конъюгата, молекулами АГ ПБА (если присутствует в пробе) и АТ в аналитической (АЗ) и контрольной (КЗ) зонах. Часть меченых АТ конъюгата при этом может задерживаться на АЗ, но только в случае, если до этого они образовали антигенный иммунный комплекс с АГ ПБА (если присутствует), а остальные АТ конъюгата иммобилизуются на КЗ (в любом случае). Положительным результатом анализа (ПБА присутствует в пробе в концентрации выше порога чувствительности) считается появление двух видимых полос в АЗ и КЗ ИХТ; отрицательным (ПБА отсутствует в пробе или его концентрация ниже порога чувствительности) — наличие только одной полосы в КЗ.

Среди средств экспресс-индикации ВСЯ, разработанных и серийно производимых ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, можно выделить соответствующий индикаторный иммунохроматографический элемент (ИИХЭ), который представляет собой моноаналитный ИХТ (рис. 1).

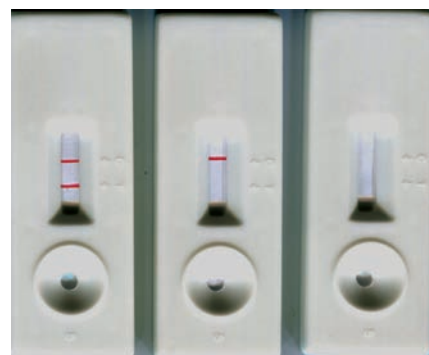


Рис. 1. Внешний вид моноаналитных ИХТ

Кроме этого ВСЯ в спорной форме может быть обнаружена с помощью мультианалитных ИХТ для выявления бактерий, в состав которых входят тест-полоски на возбудителей других бактериальных ООИ. Примеры мультианалитных ИХТ, разработанных ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, приведены на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид мультианалитных ИХТ

И моно-, и мультианалитные ИХТ в комплекте поставки имеют все необходимые аксессуары и принадлежности для отбора проб и их анализа.

Моно- и мультианалитные ИХТ на ВСЯ входят в состав упаковок для проведения экспресс-биоконтроля: УИХЭ-1, УИХЭ-1м, ЭкБ и ЭкБ-01. Они содержат средства специфической экспресс-индикации для определения бактерий, вирусов, риккетсий и токсинов бактериального и растительного происхождения. Поэтому эти средства могут быть использованы для обнаружения не только ВСЯ, но и других ПБА.

Укладка иммунохроматографических индикаторных элементов УИХЭ-1, предназначенная для индикации патогенов в объектах внешней среды [5], представлена на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид УИХЭ-1

В упаковку входит пять наименований ИИХЭ для выявления ботулинического токсина типа А (БТА), возбудителей чумы, сибирской язвы (спор), сапа, туляремии, а также ИИХЭ для выявления мешающих примесей. В упаковке имеются учебные ИИХЭ для выработки навыков работы оператора. Чувствительность выявления спор сибирской язвы — 1×10^6 м. к. /мл,

вегетативных форм бактерий — $5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ м. к. /мл, БТА — 300 нг/мл [5].

Укладка УИХЭ-1м создана на базе мультианалитных ИХТ [7] (рис. 4), предназначенных для выявления бактерий и токсинов.



Рис. 4. Внешний вид укладки УИХЭ-1м

В состав укладки включены средства для проведения ИХА при температурах окружающей среды ниже 10°C . Укладка УИХЭ-1м предназначена для анализа четырех проб, выявляет 10 наименований ПБА. Масса укладки — около 2 кг. Время разворачивания и подготовки УИХЭ-1м к работе 5 мин. Время анализа (без учета времени пробоподготовки) — 30 мин [5].

Комплект ЭкБ (рис. 5) для мобильных и стационарных лабораторий, а также его индивидуально носимая версия ЭкБ-01 (рис. 6) разработаны на базе мультианалитных ИХТ и предназначены для анализа 50 и 5 проб соответственно на наличие бактерий, вирусов, токсинов, а также среды накопления вирусов и риккетсий.



Рис. 5. Внешний вид составных частей комплекта ЭкБ

Особенностью комплекта ЭкБ является то, что в его состав включено рефлектометрическое устройство, которое позволяет регистрировать и фиксировать



Рис. 6. Внешний вид комплекта ЭкБ-01

рефлектограммы результатов ИХА в виде протоколов в памяти персонального компьютера, автоматически определять положительный результат и передавать протоколы через сеть Интернет по удаленным каналам связи [8].

Сводные данные по техническим характеристикам ИХТ и комплектов на их основе приведены в таблице.

Анализ описанных выше данных показывает возможность применять ИХТ для выявления ВСЯ, разработанные и серийно производимые ФГУП «ГосНИИБП», для экспресс-диагностики споровой формы ВСЯ на месте падежа оленей в случае возникновения эпизоотии. Пробы для проведения анализа в этом случае могут стать фекалии, слюна падших или заболевших оленей, а также почва и корма. Результат

анализа подготовленной пробы может быть получен в течение 25 минут. Пробоподготовка занимает не более 30 минут. Ограничением данного метода является температура воздуха и растворов ниже +5 °С, которое может быть устранено использованием дополнительного оборудования.

Главным недостатком метода ИХА может быть недостаточная аналитическая чувствительность. Данная проблема отчасти может быть решена использованием иммунных компонентов ИХТ высокого качества, в которых современные производители подобной продукции испытывают острый дефицит. Кроме того, данная проблема может быть решена путем создания ИХТ для анализа биологических проб зараженных и/или погибших животных, в которых содержание патогена может быть значительно выше.

Представляется весьма актуальным закрепить практику обязательного применения ИХТ как самостоятельного средства предварительного диагноза на начальном этапе анализа проб на наличие ВСЯ непосредственно на месте отбора проб в случае подозрения начала эпизоотии/эпидемии с внесением изменений в соответствующие руководящие документы. Особенно актуальной для начального этапа ликвидации последствий вспышки СЯ видится разработка ИХТ на вегетативную форму ВСЯ в объектах ОС и биологических пробах заболевших и/или павших животных и умерших людей.

Кроме того, перспективным представляется использование ИХТ на спорую форму ВСЯ для анализа проб из объектов ОС в следующих случаях:

Таблица

Основные технические характеристики ИХТ и комплектов на их основе, производимых ФГУП «ГосНИИБП»

Характеристика	Показатель
Выявляемые БПА	споры возбудителя сибирской язвы клетки возбудителей чумы, туляремии, сапа/melioidоза, бруцеллеза ботулинические токсины типов А и В стафилококковый энтеротоксин В рицин холерный экзотоксин ортопоксвирусы антигены вирусов геморрагических лихорадок Ласса/Мачупо, Крымской-Конго, лихорадок Западного Нила и денге среда накопления вирусов и риккетсий на основе растущего куриного эмбриона
Количество выявляемых БПА	от 5 до 17 (в зависимости от типа укладки)
Количество анализируемых проб	от 4 до 50 (в зависимости от типа укладки)
Время проведения анализа	не более 25 мин
Тип регистрации результатов анализа	визуальный/инструментальный
Чувствительность	споровые и вегетативные формы бактерий – не менее 1×10^6 м.к./мл; вирусы – не менее 1×10^6 БОЕ (ООЕ)/мл бактериальные токсины – не менее 500 нг/мл растительные токсины – не менее 250 нг/мл среда накопления вирусов и риккетсий на основе растущего куриного эмбриона – не менее 300 нг/мл
Специфичность	Вегетативные и споровые формы бактерий – на уровне вида; ортопоксвирусы, возбудители геморрагических лихорадок Ласса и Мачупо, возбудители сапа и мелиоидоза – на уровне рода
Рабочий диапазон температур	от плюс 10 до плюс 40 °С
Концентрация почвенной пыли в пробе	не более 0,1 мг/мл
Использование в полевых условиях	Да
Эксплуатация	1 оператор
Срок годности ИХТ	2 года

мониторинг проб почв с целью выявления моровых полей, сибирезвенных захоронений и стационарно неблагоприятных по ВСЯ пунктов;

мониторинг почв участков возможного бурения для последующей разработки месторождений нефти и газа.

Возможность проведения отбора необходимых проб ОС с последующим экспресс-определением наличия в них спор СЯ при помощи современных ИИХЭ, разработанных и производимых ФГУП «ГосНИИБП», впервые была исследована совместно с начальником отдела лабораторной диагностики Казенного учреждения НАО «Станция по борьбе с болезнями животных» и председателем Комитета по ветеринарии Департамента внутреннего контроля и надзора НАО в ходе межведомственного опытно-исследовательского учения по выполнению мероприятий по защите территорий, входящих в Арктическую зону Российской Федерации, от чрезвычайных ситуаций по отработке вводной «Эпизоотия, вызванная вспышкой сибирской язвы», г. Нарьян-Мар 07–08.09.2021 года.

Оснащение сил, выполняющих задачи радиационной, химической и биологической защиты, в том числе МЧС России, современными средствами радиационной, химической и биологической защиты является одним из основных направлений реализации Концепции радиационной, химической и биологической защиты населения [9].

Выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и созданию перспективных и конкурентоспособных технологий и современных средств радиационной, химической и биологической защиты населения целесообразно проводить совместно с основными производителями этих средств в рамках федерального центра науки и высоких технологий.

Литература

1. МУК 4.2.2413-08. Лабораторная диагностика и обнаружение возбудителя сибирской язвы: методические указания: дата введения: 01.09.2008 / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 69 с.
2. МУК 4.2.2941-11. Порядок организации и проведения лабораторной диагностики сибирской язвы для лабораторий территориального, регионального и федерального уровней: методические указания: дата введения: 14.07.2011 / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 55 с.
3. *Попова А. Ю.* Вспышка сибирской язвы в Ямало-Ненецком автономном округе в 2016 году, эпидемиологические особенности / А. Ю. Попова, Ю. В. Демина, Е. Б. Ежлова [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. 2016. № 4. С. 42–46.
4. Специфическая индикация патогенных биологических агентов: практическое руководство / Г. Г. Онищенко, С. Д. Кривуля, Ю. М. Федоров [и др.] / Под ред. Г. Г. Онищенко. М.: ЗАО «МП Гигиена», 2006. 288 с.
5. *Титов А. А.* Опыт разработки и внедрения компактной укладки, использующий принцип мультианалитного иммунохроматографического анализа для выявления бактерий и токсинов в окружающей среде / А. А. Титов, С. П. Ярков, И. В. Шиленко // Теоретические и практические аспекты создания, совершенствования средств и методов специальной обработки, индикации и идентификации опасных химических веществ и биологических поражающих агентов: Сб. статей научно-практической конференции в отрасли химической и биологической безопасности, г. Москва, 19–20 октября 2017. М., 2017. С. 60–72.
6. *Третьяков С. И.* Укладка иммунохроматографических индикаторных элементов УИХЭ-1 для выявления биологических агентов в объектах внешней среды / С. И. Третьяков, Л. А. Башарова, С. П. Ярков [и др.] // Актуальные вопросы теории и практики радиационной, химической и биологической защиты: Реферативн. сб. XXXVIII научной конференции, Вольск-18, 9–11 апреля 2008. Вольск-18: ЗЗ ЦНИИ МО РФ, 2008. С. 65–66.
7. *Шаулина Е. К.* Разработка мультианалитных иммунохроматографических устройств для выявления бактерий и токсинов / Е. К. Шаулина, И. В. Шиленко, С. П. Ярков [и др.] // Молекулярная диагностика: Сб. трудов конференции, г. Москва, 18–20 марта 2014 года. М., 2014. Т. 2. С. 382–383.
8. *Ярков С. П., Третьяков С. И., Шиленко И. В., Ишков Ю. Н.* Разработка комплекта технических средств для выявления патогенных микроорганизмов и токсинов в содержимом пробоотборников биологических аэрозолей // Исследование вопросов радиационной, химической и биологической защиты в мирное и военное время: Сб. статей I Всероссийской научно-практической конференции, г. Кострома, 11–12 ноября 2020 г. М.: ВА РХБЗ МО РФ, 2020. С. 424–428.
9. Концепция радиационной, химической и биологической защиты населения. Утверждена решением коллегии МЧС России от 04.12.2019 № 8/II.

Сведения об авторах

Наумов Павел Вячеславович: к.х.н., ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, с.н.с. отд. спектральных методов анализа. Москва, Россия. SPIN-код: 7552-1410.

Шиленко Инесса Владимировна: к.т.н., ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, в.н.с. отдела спектральных методов анализа. Москва, Россия. SPIN-код: 7454-1019.

Третьяков Сергей Иванович: к.т.н., ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, в.н.с. отдела спектральных методов анализа. Москва, Россия. SPIN-код: 7026-3534.

Ишков Юрий Николаевич: к.т.н., ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России, заместитель директора института. Москва, Россия. SPIN-код: 1669-7602.

Косырев Павел Николаевич: к.т.н., с.н.с., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), в.н.с. науч.-исслед. центра. Москва, Россия. SPIN-код: 6708-2678.

Сведения об авторах

Naumov Pavel V.: PhD (Chemical Sc.), State Research Institute of Biological Instrumentation, Senior Researcher, Department of Spectral Methods of Analysis. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 7552-1410.

Shilenko Inessa V.: PhD (Technical Sc.), State Research Institute of Biological Instrumentation, Leading Researcher, Department of Spectral Methods of Analysis. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 7454-1019.

Tretyakov Sergey I.: PhD (Technical Sc.), State Research Institute of Biological Instrumentation, Leading Researcher, Department of Spectral Methods of Analysis. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 7026-3534.

Ishkov Yuri N.: PhD (Technical Sc.), State Research Institute of Biological Instrumentation, Deputy Director of the Institute. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 1669-7602.

Kosyrev Pavel N.: PhD (Technical Sc.), Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Leading Researcher, Research Center. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 6708-2678.