

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

Читать онлайн
Read onlineАбрамов И.А.¹, Недачин А.Е.¹, Тымчук С.Н.², Карбовничая К.В.²

Сравнительная оценка эффективности сорбции вирусов из воды на картриджном фильтре со стекловолокном и методов концентрирования, рекомендованных нормативными документами

¹ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;

²ЗАО «РОСА», 119297, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Питьевая вода относится к важным стратегическим ресурсам. Мониторинг эпидемической безопасности водных объектов по санитарно-вирусологическим показателям подразумевает концентрирование больших объёмов воды (от 10 до 100 л). Необходимость исследования проб такого объёма требует пересмотра, модернизации и унификации санитарно-вирусологических методов и прежде всего оптимизации процессов концентрирования, режимов и способов пробоподготовки для повышения их эффективности и сокращения времени от момента отбора проб воды до начала её исследования.

Цель – сравнение эффективности сорбции вирусов тремя методами концентрирования: с использованием картриджка с фильтром из стекловолокна, с использованием анионобменной смолы и на проточном мембранным фильтрующим модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с позитивно заряженными микрофильтрационными полиамидными мембранными в режиме микрофильтрации.

Материалы и методы. Тест-вирус – вакциновый вирус полиомиелита Sabin 1 в концентрациях 2; 3 и 4 lg TCID₅₀/10 л. Экспериментальные водоёмы готовили на основе дехлорированной водопроводной воды.

Результаты. Все три метода пробоподготовки пригодны для качественного определения вируса полиомиелита в водопроводной воде при концентрации 2 lg TCID₅₀/10 л и выше.

Ограничения исследования. Оценка эффективности трёх способов концентрирования вирусов из воды осуществлялась качественным методом. Исследование проводилось с использованием модельных водяных, созданных на основе водопроводной воды централизованной водопроводной сети Москвы.

Заключение. Способ концентрирования вирусов с применением метода фильтрации на картриджном фильтре из стекловолокна для пробоподготовки может быть рекомендован при проведении санитарно-вирусологического исследования воды на наличие возбудителей кишечных инфекций вирусной природы наряду с методами концентрирования с использованием анионобменной смолы и на проточном мембранным фильтрующим модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с позитивно заряженными микрофильтрационными полиамидными мембранными в режиме микрофильтрации.

Ключевые слова: полиомиелит; санитарная вирусология; концентрирование вирусов; водопроводная вода

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует предоставления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Абрамов И.А., Недачин А.Е., Тымчук С.Н., Карбовничая К. В. Сравнительная оценка эффективности сорбции вирусов из воды на картриджном фильтре со стекловолокном и методов концентрирования, рекомендованных нормативными документами. Гигиена и санитария. 2025; 104(12): 1764–1771. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1764-1771> <https://elibrary.ru/hwgtsa>

Для корреспонденции: Абрамов Иван Алексеевич, e-mail: IAABramov@cspfmbs.ru

Участие авторов: Абрамов И.А. – концепция и дизайн исследования, проведение экспериментов, анализ литературы и экспериментальных данных, визуализация, написание текста, структурирование рукописи, редактирование; Недачин А.Е., Тымчук С.Н. – концепция и дизайн исследования, проведение экспериментов, редактирование; Карбовничая К.В. – проведение экспериментов. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование проведено в рамках договора 01-12/03-24 от 19.03.2024 г. с ЗАО «РОСА».

Поступила: 13.02.2025 / Поступила после доработки: 09.09.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликована: 15.01.2026

Ivan A. Abramov¹, Aleksandr E. Nedachin¹, Sergey N. Tymchuk², Ksenia V. Karbovничая²

Comparative assessment of the efficiency of virus sorption on a cartridge filter from water with fiberglass in comparison with the methods recommended by regulatory documents

¹Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation;

²CJSC ROSSA, Moscow, 119297, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Drinking water is an important strategic resource. Monitoring for the epidemiological safety of water bodies for sanitary and virological indicators involves concentrating large volumes of water (from 10 to 100 liters). The need to study samples of such volume requires revision, modernization, and unification of sanitary and virological methods and, above all, optimization of concentration processes, modes and methods of sample preparation, to increase their efficiency and reduce the time from the moment of water sampling to the beginning of its study.

The aim of the study is to compare the efficiency of virus sorption using three different concentration methods: a cartridge with a glass fiber filter; an anion exchange resin; on a flow membrane filter module with tangential-radial movement of liquid with positively charged microfiltration polyamide membranes in microfiltration mode.

Materials and methods. Test virus – polio vaccine virus Sabin 1 in concentrations of 2, 3, and 4 lg TCID₅₀/10 L. Experimental reservoirs were prepared on the basis of dechlorinated tap water.

Results. All three methods of sample preparation are suitable for the qualitative determination of the polio virus in tap water at a concentration of $2 \text{ lg TCID}_{50}/10 \text{ L}$ and higher.

Limitations. The effectiveness of the three methods of concentrating viruses from water was assessed using a qualitative method. The study was conducted using model reservoirs created on the basis of tap water from the centralized water supply network of Moscow.

Conclusions. The method of concentrating viruses using the filtration method on a fiberglass cartridge filter for sample preparation can be recommended for use in conducting sanitary and virological research of water for the presence of pathogens of intestinal infections of a viral nature along with concentration methods using anion exchange resin; on a flow membrane filter module with tangential-radial fluid movement with positively charged microfiltration polyamide membranes in the microfiltration mode.

Keywords: poliomyelitis; sanitary virology; virus concentration; tap water

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of a biomedical ethics committee opinion or other documents.

For citation: Abramov I.A., Nedachin A.E., Tymchuk S.N., Karbovnicaya K.V. Comparative assessment of the efficiency of virus sorption on a cartridge filter from water with fiberglass in comparison with the methods recommended by regulatory documents. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(12): 1764–1771. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-12-1764-1771> <https://elibrary.ru/hwgtsa> (In Russ.)

For correspondence: Ivan A. Abramov, e-mail: IAAbramov@cspfmba.ru

Contribution: Abramov I.A. – study concept and design, experiments, literature and experimental data analysis, visualization, writing, design and editing of the manuscript; Nedachin A.E., Tymchuk S.N. – study concept and design, experiments, editing of the manuscript; Karbovnicaya K.V. – experiments. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study was conducted under the agreement 01-12/03-24 dated March 19, 2024 with CJSC ROSSA.

Received: February 13, 2025 / Revised: September 9, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: January 15, 2026

Введение

Питьевая вода относится к важным стратегическим ресурсам, её качество в значительной степени влияет на здоровье и благополучие населения. Согласно статье 18 Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ, водные объекты, используемые в целях питьевого и хозяйствственно-бытового водоснабжения, а также в лечебных, оздоровительных и рекреационных целях, в том числе водные объекты, расположенные в границах городских и сельских населённых пунктов (далее – водные объекты), не должны быть источниками биологических, химических и физических факторов вредного воздействия на человека. Кроме того, в соответствии со статьёй 19 закона № 52-ФЗ питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства. Использование недоброкачественной воды может приводить к возникновению острых кишечных инфекций бактериальной, паразитарной и вирусной природы. Поэтому постоянный мониторинг эпидемической опасности питьевой воды и других водных объектов является не просто актуальной, но первоочередной задачей государства для обеспечения безопасности населения.

Оценка эпидемической опасности воды как объекта окружающей среды осуществляется в основном косвенно – путём определения санитарных показателей, отражающих степень её фекального загрязнения. Как правило, используются бактериологические показатели ввиду простоты их определения, скорости и информативности, однако с водой могут передаваться и более 150 вирусов, вызывающих различные кишечные инфекции человека и теплокровных животных. По сравнению с бактериями вирус гепатита А, enterovirus, adenovirus и другие простоорганизованные вирусы обладают более высокой устойчивостью к различным методам обеззараживания [1–10], поэтому бактериологические показатели не всегда объективно отражают эффективность и качество подготовки питьевой воды или опасность водного объекта в отношении вирусных инфекций.

Повышенное внимание к контролю воды по вирусологическим показателям отражено в СанПиН 1.2.3685–21, которые в отличие от предыдущих нормативных документов регламентируют определение показателя «возбудители кишечных инфекций вирусной природы» для всех типов вод. Также в документе установлен единый нормируемый объём проб для разных типов вод – 10 л.

Сложность санитарно-вирусологических исследований воды заключается в низких концентрациях содержания вирусных частиц в объектах. Такого количества вирусных частиц достаточно для реализации водного пути передачи вирусной инфекции, но недостаточно для определения существующими вирусологическими методами из-за их низкой чувствительности. Поэтому анализ проб водных объектов по санитарно-вирусологическим показателям подразумевает исследование больших объёмов воды (от 10 до 100 л), для чего во всех методах вирусологического анализа присутствует этап концентрирования пробы [11–15]. Необходимость исследования проб такого объёма требует пересмотра, модернизации и унификации санитарно-вирусологических методов и прежде всего оптимизации процессов концентрирования, режимов и способов пробоподготовки для повышения их эффективности и сокращения времени от момента отбора проб воды до начала её исследования [16].

Многие методические документы по проведению санитарно-вирусологического исследования различных типов вод, действующие на территории Российской Федерации, регламентируют методы концентрирования, которые имеют как преимущества, так и недостатки.

Метод концентрирования вирусов с использованием анионоактивных смол несложен в исполнении, позволяет сконцентрировать нормируемый объём пробы воды, однако концентрирование пробы и обработка элюата требуют значительных временных затрат (до 18 ч), что ограничивает возможность экстренного реагирования на вирусное загрязнение в случае профилактических и противоэпидемических мероприятий.

Метод концентрирования вирусов с использованием фильтрующего мембранных модуля с тангенциально-радиальным движением жидкости с позитивно заряженными микрофильтрационными полиамидными мембранами в режиме микрофильтрации (далее – метод модульной мембранный фильтрации) удобен в реализации, время концентрирования 10 л пробы воды составляет в среднем 1,5–2,5 ч, существуют мобильные версии мембранных модуля для работы в полевых условиях. Главным недостатком метода является чувствительность фильтрационных мембран к засорению взвешенными частицами, что ограничивает использование метода модульной мембранный фильтрации преимущественно для исследования проб питьевых и подземных вод [17].

Существует ещё один метод, который лишён многих недостатков двух предыдущих, но который в настоящее время не входит в методические документы, действующие на территории Российской Федерации. Это метод концен-

трирования пробы с использованием картриджа с фильтром из стекловолокна (далее – метод картриджной фильтрации), который является адаптированным методом французского стандарта ХР Т90-451-1996, широко используемого в странах ЕС. Метод картриджной фильтрации зарекомендовал себя как быстрый и относительно простой метод концентрирования энтеровирусов из всех типов вод, позволяющий исследовать большие объёмы воды – от 10 до 100 л [18, 19].

Цель работы – сравнение эффективности сорбции вирусов тремя методами концентрирования: с использованием картриджа с фильтром из стекловолокна, с использованием анионообменной смолы и на проточном мембранным фильтрующим модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с позитивно заряженными микрофильтрационными полиамидными мембранами в режиме микрофильтрации.

Материалы и методы

На основании МУК 4.2.2357–08 «Организация и проведение вирусологических исследований материалов из объектов окружающей среды на полиовирусы, другие (неполио) энтеровирусы» для экспериментальных исследований в качестве тест-вируса выбран вакциновый вирус полиомиелита *Sabin 1* в концентрациях 2; 3 и 4 лг ТЦД₅₀/10 л.

Тест-вirus культивировался на культуре клеток НЕР-2. Используемые концентрации суспензии вакцинового вируса полиомиелита создавались методом десятикратных разведений в 0,9%-м физиологическом растворе непосредственно перед созданием экспериментальных водоёмов, которые готовили из дехлорированной водопроводной воды с добавлением 200 мг тиосульфата натрия на 10 л воды.

Концентрирование вирусов методом с использованием ионообменных смол и методом модульной мембранный фильтрации проводили в соответствии с МУК 4.2.2029–05 «Санитарно-вирусологический контроль водных объектов».

Концентрирование вирусов методом картриджной фильтрации на фильтре из стекловолокна проводили следующим образом. Для картриджей диаметром 40 мм готовили три навески стекловолокна по 13 г. В эмалированный лоток наливали ~ 1,5 л дистиллированной воды и помещали в него навески, разместив каждую отдельно. Увлажнённые навески стекловолокна по очереди помещали в картридж с открытым нижним краном и запрессовывали с помощью специального устройства, после чего закручивали крышку картриджа. Картридж закрепляли вертикально в штативе, затем при помощи водоструйного насоса последовательно пропускали через фильтр:

- 200 мл раствора 1 М HCl;
- 500 мл дистиллированной воды;
- 200 мл раствора 1 М NaOH;
- 2000 мл дистиллированной воды.

После промывки входной и выходной шланги картриджа соединяли при помощи быстросъёмных разъёмов, укладывали в новый полиэтиленовый пакет и помещали в ходильник.

Концентрирование модельной пробы выполняли с помощью фильтровальной установки, состоящей из насоса, ёмкости для напорного фильтрования объёмом 10 л, стерильного входного шланга для каждого картриджа, самого картриджа с подготовленным фильтром из стекловолокна, краном и выводным шлангом.

Подготовленный картридж доставали из пакета, закрепляли на штативе, размыкали штуцеры быстросъёмных соединений. Стерильный входной шланг одним концом подсоединяли к выходному шлангу ёмкости для напорного фильтрования, а другим концом – к входному шлангу картриджа. Выходной шланг картриджа опускали в горловину ёмкости с концентратором штатного дезинфицирующего средства для сбора и обеззараживания фильтрованной воды из экспериментального водоёма.

Аккуратно залив подготовленную воду экспериментального водоёма в ёмкость для напорного фильтрования,

плотно закрывали крышку. Открыв кран на картриidge, включали насос и регулировали расход воды на уровне ~ 1 л/мин. После прохождения всего объёма воды выключали насос и закрывали кран на картридже. По окончании фильтрования спускали давление в системе, затем входной шланг аккуратно отсоединяли от выходного шланга ёмкости для напорного фильтрования и от картриджа и помещали в широкогорлую ёмкость с раствором дезинфицирующего средства для обеззараживания.

Не сливая свободную воду из картриджа, его входной шланг подсоединяли к шлангу перистальтического насоса для проведения элюирования: с помощью перистальтического насоса пропускали 300 мл элюента, не допуская осушения стекловолокна и оставляя над поверхностью фильтра столб жидкости ~ 1 см. Элюат собирали в стерильную ёмкость вместимостью 500 мл. Помещали в ёмкость стерильный магнит и устанавливали флакон на магнитную мешалку, добившись равномерного перемешивания раствора, и доводили значение pH элюата до 3,5, измеряя значение с помощью pH-метра и добавляя по каплям раствор 3 М HCl. Затем ёмкость с элюатом помещали на горизонтальный шейкер для равномерного перемешивания в течение 45 мин. По окончании перемешивания извлекали магнит из раствора и делили элюат на 6 центрифужных флаконов по 50 мл для последующего центрифугирования при 3500 г при температуре плюс 4 ± 1 °C в течение 45 мин. После центрифугирования надосадочную жидкость осторожно сливали в отдельный флакон и добавляли туда перекись водорода до конечной концентрации 6% для обеззараживания. Осадок ресуспенсировали последовательно от пробирки к пробирке многократным пипетированием в 5 мл раствора 0,15 М Na₂HPO₄. Ресуспенсированный осадок переносили в стерильную центрифужную пробирку и доводили объём концентрата до 10 мл.

Для антибактериальной обработки перед вирусологическим исследованием полученный элюат отбирали в стерильный трёхкомпонентный шприц объёмом 20 мл, после чего элюат продавливали сквозь стерильную насадку с фильтром 0,22 мкм в стерильный флакон.

Для сравнительной оценки эффективности концентрирования вируса полиомиелита на разных системах были выбраны две перевиваемые культуры клеток: НЕР-2 и BGM. Выбор культуры клеток НЕР-2 обусловлен тем, что суспензия тест-вируса полиомиелита, которая использовалась для заражения, была получена на данной культуре. Выбор культуры клеток BGM обусловлен тем, что данная культура клеток наименее «капризна» при введении чистой культуры, дольше сохраняет свою чувствительность к вирусу полиомиелита, а потому более пригодна к рутинной санитарно-вирусологической практике как одна из двух культур клеток для выделения и дифференциации энтеровирусов из воды.

Качественное определение цитопатического действия (ЦПД) вируса на культурах клеток проводили в соответствии с МУК 4.2.2029–05 «Санитарно-вирусологический контроль водных объектов».

Результаты

Результаты проведённых исследований представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, концентрирование вирусов методом картриджной фильтрации на фильтрах из стекловолокна (K1–K9) и методом модульной мембранный фильтрации на проточном мембранным фильтрующим модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с использованием позитивно заряженных микрофильтрационных полиамидных мембран в режиме микрофильтрации (M1–M9) позволило определить наличие вируса полиомиелита в экспериментальных водоёмах, контамированных тест-вирусом в наименьшей внесённой концентрации (2 лг ТЦД₅₀/10 л) и выше, уже при исходном заражении на обеих использованных культурах клеток.

Таблица 1 / Table 1

Результаты обнаружения вируса полиомиелита качественным культуральным методом элюатов, полученных путём концентрирования модельных проб с тестовым штаммом полiovirus, тремя методами пробоподготовки

Results of the detection of poliomyelitis virus by a qualitative cultural method of eluates obtained by concentrating model samples contaminated with a test strain of poliovirus by three methods of sample preparation

Метод концентрирования Concentrating method	Концентрация вируса в водоёме, ТЦД ₅₀ /10 л Concentration of the virus in the reservoir, TCID ₅₀ /10 L	Шифр образца Sample code	Исходное заражение Initial contamination		Первый пассаж First passage	
			HEP-2	BGM	HEP-2	BGM
С использованием картриджа с фильтром из стекловолокна Using a fiberglass filter cartridge	Без вируса / No virus 2 lg 2 lg 2 lg 3 lg 3 lg 3 lg 4 lg 4 lg 4 lg	K0 K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9	— + + + + + + + + +	— + + + + + + + + +	— + + + + + + + + +	— + + + + + + + + +
С использованием анионообменной смолы Using anion exchange resin	Без вируса / No virus 2 lg 2 lg 2 lg 3 lg 3 lg 3 lg 4 lg 4 lg 4 lg	C0 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9	— — — — ± — — + + +	— — — — + — ± + + +	— + + + + + + + + +	— + + + + + + + + +
На проточном мембранным фильтрующим модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с использованием позитивно заряженных микрофильтрационных полiamидных мембран в режиме микрофильтрации On a flow-through membrane filter module with tangential-radial movement of liquid with positively charged microfiltration polyamide membranes in microfiltration mode	Без вируса / No virus 2 lg 2 lg 2 lg 3 lg 3 lg 3 lg 4 lg 4 lg 4 lg	M0 M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9	— + + + + + + + + +	— + + + + + + + + +	— + + + + + + + + +	— + + + + + + + + +

П р и м е ч а н и е. «+» — положительный результат, наличие ЦПД в двух фляконах T25 одного элюата; «—» — отрицательный результат, отсутствие ЦПД в двух фляконах T25 одного элюата; «±» — неоднозначный результат, требующий подтверждения последующим пассажем, наличие ЦПД только в одном фляконе T25.

N o t e. “+” — positive result, presence of CPE in two T25 vials of one eluate; “—” — negative result, absence of CPE in two T25 vials of one eluate; “±” — ambiguous result requiring confirmation by subsequent passage, presence of CPE in only one T25 vial.

Концентрирование вирусов методом с анионоактивными смолами не позволило выделить тестовый вирус полиомиелита из экспериментальных водоёмов, контамированных дозами в концентрациях 2 и 3 lg ТЦД₅₀/10 л (C1–C6) при первичном заражении. Однако при последующем слепом пассаже материала из «отрицательных» фляконов ЦПД было выявлено, что подтвердило наличие ЦПА (тест-вируса) в исследуемых элюатах. Метод концентрирования на анионообменных смолах позволил обнаружить тестовый вирус только при исходном заражении экспериментального водоёма дозой тест-вируса 4 lg ТЦД₅₀/10 л.

Образцы с шифрами K0, C0, M0 получены из контрольных водоёмов, в которые тестовый штамм вируса не вносили. При исследовании элюатов контрольных проб ЦПА или токсический эффект (ТЭ) обнаружены не были, что свидетельствует об отсутствии в элюатах любых цитопатогенных или цитотоксических агентов как биологической, так и небиологической природы.

С учётом вышеизложенного можно утверждать, что использованные в работе методы концентрирования отличаются по своей эффективности, но все они пригодны для определения наличия вируса полиомиелита в водопроводной воде при уровнях контаминации от 2 lg ТЦД₅₀/10 л и выше.

Обсуждение

Проведённое исследование показало неравнозначную эффективность пробоподготовки для вирусологического анализа при использовании разных методов концентрирования вирусов. Наименьшую эффективность продемонстрировал метод сорбции на анионоактивных смолах. Его чувствительность оказалась на два порядка ниже по сравнению с методами картриджной фильтрации на стекловолокне и модульной мембранный фильтрации, а длительность пробоподготовки составила ~ 18 ч. Тем не менее данный метод продемонстрировал свою пригодность для санитарно-вирусологического анализа воды. Недостаточную эффективность сорбции на анионоактивных смолах компенсирует то, что из-за низких концентраций вирусов в объектах окружающей среды при вирусологическом анализе элюатов проб на перевиваемых культурах клеток обязательно проведение не менее двух слепых пассажей, что повышает чувствительность метода в целом.

Методы концентрирования на картриджах со стекловолокном и фильтрации на проточном мембранным фильтрующим модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с использованием позитивно заряженных микрофильтрационных полиамидных мембран в режиме микрофильтрации показали сходную эффективность, а время их реализации было сравнимо. Тем не менее метод картриджной фильтрации обладает рядом неявных преимуществ. Фильтрация через картридж со стекловолокном позволяет концентрировать до 100 л пробы, в то время как метод модульной мембранный фильтрации – только 10 л, при этом длительность пробоподготовки при использовании картриджной фильтрации возрастёт незначительно, так как ос-

новное время занимают элюзия и вторичное концентрирование, а не фильтрация. Концепция сменных картриджей упрощает исследование нескольких последовательных проб, так как не требует обеззараживания оборудования между пробами, даёт возможность отбора проб на месте и упрощает доставку проб с места отбора в лабораторию.

Фильтрующие модули с тангенциально-радиальным движением жидкости с позитивно заряженными микрофильтрационными полиамидными мембранами в режиме микрофильтрации также могут использоваться в полевом варианте, но это сопряжено с рядом сложностей и не имеет широкого применения.

Тем не менее следует помнить, что в рутинной практике при исследовании различных типов вод на наличие ПБА вирусной этиологии эффективность пробоподготовки имеет большое, но не единственное значение. При выборе способа пробоподготовки следует учитывать весь комплекс критериев, таких как возможности конкретной лаборатории, доступность расходных материалов, наличие оборудования, скорость и экономическая рентабельность используемого метода и др. Критерии выбора методов пробоподготовки представлены в табл. 2.

В результате сравнительной оценки эффективности сорбции вирусов тремя методами концентрирования установлено, что эффективность метода концентрирования вирусов с использованием картриджной фильтрации на стекловолокне не уступает методу концентрирования вирусов с применением проточного мембранныго фильтрующего модуля с тангенциально-радиальным движением жидкости с позитивно заряженными микрофильтрационными полиамидными мембранами в режиме микрофильтрации и превышает эффективность метода концентрирования вирусов

Таблица 2 / Table 2

Критерии выбора метода концентрирования ПБА вирусной природы из воды Criteria for selecting a method for concentrating a pathogenic biological agent of viral nature from water

Критерий Criteria	Методы концентрирования / Concentrating methods		
	С использованием картриджа с фильтром из стекловолокна Using a fiberglass filter cartridge	С использованием анионообменной смолы Using anion exchange resin	На проточном мембранным фильтрующем модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с использованием позитивно заряженных микрофильтрационных полиамидных мембран в режиме микрофильтрации On a flow-through membrane filter module with tangential-radial movement of liquid using positively charged microfiltration polyamide membranes in microfiltration mode
Эффективность концентрирования тест-вируса при исходной концентрации Concentration efficiency of test virus at initial concentration	От 2 lg ТЦД ₅₀ /10 л и выше 2 lg TCID ₅₀ /10 L and above	От 2 lg ТЦД ₅₀ /10 л и выше (при условии накапливания вируса путём проведения обязательных слепых пассажей) From 2 lg TCID ₅₀ /10 L and higher (subject to accumulation of the virus by conducting mandatory blind passages)	От 2 lg ТЦД ₅₀ /10 л и выше From 2 lg TCID ₅₀ /10 L and above
Проблемы внедрения метода Problems of implementation of the method	Нет данных об эффективности сорбции разных типов стекловолокна There is no data on the sorption efficiency of different types of glass fiber	Имеется большое количество исследований использования разных типов анионитов, однако отсутствуют коммерческие стандартизованные наборы подготовленной смолы и элюента There are a large number of studies on the use of different types of anion exchangers, but there are no commercially available standardized sets of prepared resin and eluent	Применяются только стандартизованные коммерческие наборы (фильтры) с известными параметрами и готовые фильтровальные установки Only standardized commercial kits (filters) with known parameters and ready-made filter units are used

Окончание Таблицы 2 на стр. 1769 / End of Table 2 on page 1769

Окончание Таблицы 2. Начало на стр. 1768 / End of Table 2. Beginning on page 1768

Критерии Criteria	Методы концентрирования / Concentrating methods		
	С использованием картриджа с фильтром из стекловолокна Using a fiberglass filter cartridge	С использованием анионообменной смолы Using anion exchange resin	На проточном мембранным фильтрующим модуле с тангенциально-радиальным движением жидкости с использованием позитивно заряженных микрофильтрационных полиамидных мембран в режиме микрофильтрации On a flow-through membrane filter module with tangential-radial movement of liquid using positively charged microfiltration polyamide membranes in microfiltration mode
Доступность / Availability			
Материалы и реактивы Materials and reagents	Метод не требует дорогих или труднодоступных материалов, реактивов The method does not require expensive or hard-to-find materials or reagents	Метод не требует дорогих или труднодоступных материалов, реактивов The method does not require expensive or hard-to-find materials or reagents	Метод не требует дорогих или труднодоступных материалов, реактивов The method does not require expensive or hard-to-find materials or reagents
Оборудование для концентрирования Equipment for concentration	Метод подразумевает монтаж собственной фильтровальной установки, изготовление картриджей и установки для запрессовывания стекловолокна в картридж The method involves installing your own filter unit, manufacturing cartridges and a unit for pressing fiberglass into the cartridge	Метод подразумевает изготовление и монтаж собственных колонок The method involves the production and installation of your own columns	Метод подразумевает покупку коммерческого фильтровального модуля The method involves purchasing a commercial filter module
Сложность освоения метода Difficulty of mastering the method	Метод не сложен в освоении The method is not difficult to master	Метод требует определённой сноровки и сложен в освоении The method requires a certain amount of skill and is difficult to master	Метод прост в освоении The method is easy to learn
Возможность концентрирования проб в месте отбора Possibility of concentrating samples at the sampling site	Метод позволяет проводить концентрирование проб в месте отбора при наличии источника, оборудованного соответствующим разъёмом для подключения установки, без необходимости транспортирования большого объёма воды в лабораторию The method allows for the concentration of samples at the sampling site, provided that a source equipped with an appropriate connector is available, without the need to transport a large volume of water to the laboratory	Метод требует транспортирования больших объёмов воды в лабораторию The method requires transporting large volumes of water to the laboratory	Метод позволяет проводить концентрирование проб в месте отбора [16], однако из-за специфики концентрирования рекомендуется вариант лабораторного, а не полевого использования The method allows conducting sample concentration at the sampling site [16], however, due to the specific nature of concentration, laboratory rather than field use is recommended
Скорость / Speed			
Время пробоподготовки одной пробы объёмом 10 л Sample preparation time for one sample of 10 L volume	~ 3 ч / h	~ 18 ч / h	~ 1.5 ч / h
Возможность параллельного концентрирования нескольких проб Possibility of parallel concentration of several samples	Нет / No	Да / Yes	Нет / No
Ориентировочная стоимость (концентрирование одной пробы без учёта стоимости электроэнергии и зарплаты сотрудников) Estimated cost (for concentrating 1 sample excluding the cost of electricity and employee salaries)	~ 7000 руб. / RUB	~ 2000 руб. / RUB	~ 5000 руб. / RUB

с использованием анионоактивных смол. Все три метода позволяют определять наличие вируса полиомиелита в дехлорированной водопроводной воде в концентрации от 2 лг ТЦД₅₀/10 л и выше, однако метод концентрирования на анионоактивных смолах требует проведения дополнительных слепых пассажей после первичного заражения культур клеток.

Каждый из трёх изученных методов имеет достоинства и недостатки, следовательно, можно подобрать оптимальный метод для конкретных лабораторий и для решения различных задач в рамках санитарно-вирусологического исследования воды.

Ограничения исследования. Исследование эффективности концентрирования трёх методов проводилось качественно, а не количественно, поэтому не было возможности оценить минимальную предельную концентрацию для каждого метода, чтобы ранжировать их по эффективности.

В исследовании использовали модельные водоёмы, созданные на основе водопроводной воды централизованной водопроводной сети Москвы. При концентрировании вируса из воды с другими химическими и органолептическими

показателями, влияющими на материалы и реактивы, используемые в методиках, но не превышающими установленные гигиенические нормативы для водопроводной воды, результат может иметь незначительные погрешности.

Заключение

Метод концентрирования вирусов с использованием картриджной фильтрации на фильтре из стекловолокна может быть рекомендован для пробоподготовки при санитарно-вирусологическом исследовании воды на наличие возбудителей кишечных инфекций вирусной природы.

Использование и внедрение в рутинную практику санитарно-микробиологических лабораторий удобных, доступных, быстрых и эффективных методов концентрирования вирусов из различных типов вод позволит улучшить санитарно-эпидемиологический контроль и надзор за ОКИ с водным путём передачи, а также проводить своевременную оценку эпидемической безопасности воды, используемой населением в питьевых и хозяйствственно-бытовых целях.

Литература

(п.п. 3–9, 14, 15 см. References)

1. Мокиенко А.В., Гоженко А.И., Петренко Н.Ф., Пономаренко А.Н. *Вода и водно-обусловленные инфекции. Том I*. Одесса: Лерадрук; 2008.
2. Хотько Н.И., Дмитриев А.П. *Водный фактор в передаче инфекций*. Пенза; 2002.
10. Дмитриева Р.А., Доскина Т.В., Загайнова А.В., Недачин А.Е., Абрамов И.А., Булатова К.В. Изучение циркуляции вирусов в воде поверхностных водоёмов и в сточных водах. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1201–5. <https://elibrary.ru/pwsnxm>
11. Недачин А.Е., Дмитриева Р.А., Лаврова Д.В., Санамян А.Г., Доскина Т.В. Методы концентрирования вирусов из воды при санитарно-микробиологическом контроле. *Гигиена и санитария*. 2006; 85(2): 81–3. <https://elibrary.ru/htanvt>
12. Багдасарян Г.А. *Актуальные вопросы санитарной вирусологии некоторых объектов внешней среды*: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 1972.
13. Дмитриева Р.А. Гигиенические вопросы водного пути передачи вирусных гепатитов. *Гигиена и санитария*. 1988; 67(8): 56.
16. Загайнова А.В., Юдин С.М., Абрамов И.А., Недачин А.Е., Аслanova М.М., Лукашина М.В. и др. Определение перечня потенциально патогенных и патогенных микроорганизмов бактериальной, вирусной и паразитарной природы, циркулирующих в сточных и поверхностных водах. *Медицинская паразитология и паразитарные болезни*. 2021; (2): 50–63. <https://elibrary.ru/bacglw>
17. Малышев В.В., Змеева Т.А., Сбоячаков В.Б., Потапова Т.А. Мембранные технологии в полевой микробиологии. Проблемы и решения. В кн.: *Микробиология военной медицине и здравоохранению. Современные технологии: наука, практика, инновации: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня основания кафедры микробиологии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова*. СПб.; 2023: 97–101. <https://elibrary.ru/jmllrp>
18. Конторович В.Б., Кашкарова Г.П. Вирусологическое обследование различных вод Московского региона. *Гигиена и санитария*. 2002; 81(2): 65–7.
19. Конторович В.Б. Многолетнее вирусологическое обследование вод Московского региона. В кн.: *ЭКВАТЕК – 2002: Материалы конгресса*. М.; 2002.

References

1. Mokienko A.V., Gozhenko A.I., Petrenko N.F., Ponomarenko A.N. *Water and Water-Borne Infections. Volume I [Voda i vodno-obuslovlennye infektsii. Tom I]*. Odessa: Leradruk; 2008. (in Russian)
2. Khot'ko N.I., Dmitriev A.P. *Water Factor in Infection Transmission [Vodnyi faktor v peredache infektsii]*. Penza; 2002. (in Russian)
3. Symonds E.M., Griffin D.W., Breitbart M. Eukaryotic viruses in wastewater samples from the United States. *Appl. Environ. Microbiol.* 2009; 75(5): 1402–9. <https://doi.org/10.1128/AEM.01899-08>
4. Carducci A., Morici P., Pizzi F., Battistini R., Rovini E., Verani M. Study of the viral removal efficiency in a urban wastewater treatment plant. *Water Sci. Technol.* 2008; 58(4): 893–7. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.437>
5. Osuolale O., Okoh A. Human enteric bacteria and viruses in five wastewater treatment plants in the Eastern Cape, South Africa. *J. Infect. Public Health*. 2017; 10(5): 541–7. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2016.11.012>
6. Fernández-Molina M.C., Álvarez A., Espigares M. Presence of hepatitis A virus in water and its relationship with indicators of fecal contamination. *Water Air Soil Poll.* 2004; 159(1): 197–208. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000049176.30748.0b>
7. Lucena F., Finance C., Jofre J., Sancho J., Schwartzbrod L. Viral pollution determination of superficial waters (river water and sea-water) from the urban area of Barcelona (Spain). *Water Res.* 1982; 16(2): 173–7. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(82\)90107-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(82)90107-5)
8. Lin J., Singh A. Detection of human enteric viruses in Umgeni River, Durban, South Africa. *J. Water Health*. 2015; 13(4): 1098–112. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.238>
9. Sattar S.A., Westwood J.C. Viral pollution of surface waters due to chlorinated primary effluents. *Appl. Environ. Microbiol.* 1978; 36(3): 427–31. <https://doi.org/10.1128/aem.36.3.427-431.1978>
10. Dmitrieva R.A., Doskina T.V., Zagainova A.V., Nedachin A.E., Abramov I.A., Bulatova K.V. The study of circulation of viruses in surface waters and in wastewater. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(11): 1201–5. <https://elibrary.ru/pwsnxm> (in Russian)
11. Nedachin A.Ye., Dmitrieva R.A., Lavrova D.V., Sanamyan A.G., Doskina T.V. Methods for concentrating viruses from water during sanitary and microbiological control. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2006; 85(2): 81–3. <https://elibrary.ru/htanvt> (in Russian)
12. Bagdasaryan G.A. *Actual issues of sanitary virology of some environmental objects*: Diss. Moscow; 1972. (in Russian)
13. Dmitrieva R.A. Hygienic issues of water transmission of viral hepatitis. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1988; 67(8): 56. (in Russian)
14. Bosch A., Pinto R.M., Blanch A.R., Jofre J.T. Detection of human rotavirus in sewage through two concentration procedures. *Water Res.* 1988; 22(3): 343–8. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(88\)90200-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(88)90200-X)
15. Gajardo R., Bouchrifi N., Pinto R.M., Bosch A. Genotyping of rotaviruses isolated from sewage. *Appl. Environ. Microbiol.* 1995; 61(9): 3460–2. <https://doi.org/10.1128/aem.61.9.3460-3462.1995>
16. Zagainova A.V., Yudin S.M., Abramov I.A., Nedachin A.E., Aslanova M.M., Lukashina M.V., et al. Definition of the list of potentially pathogenic and pathogenic microorganisms of bacterial, viral and parasitic nature circulating in waste and surface waters. *Meditinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*. 2021; (2): 50–63. <https://elibrary.ru/bacglw> (in Russian)
17. Malyshev V.V., Zmeeva T.A., Sboichakov V.B., Potapova T.A. Membrane technologies in field microbiology. Problems and solutions. Microbiology of military medicine and healthcare. In: *Modern Technologies: Science, Practice, Innovation: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Founding of the Department of Microbiology of the S.M. Military Medical Academy [Sovremennyye tekhnologii: nauka, praktika, innovatsii: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya osnovaniya kafedry mikrobiologii Voeno-meditinskoi akademii imeni S.M. Kirova]*. St. Petersburg; 2023: 97–101. <https://elibrary.ru/jmllrp> (in Russian)

18. Kontorovich V.B., Kashkarova G.P. Virological examination of various waters of the Moscow region. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2002; 81(2): 65–7. (in Russian)
19. Kontorovich V.B. Long-term virological examination of waters of the Moscow region. In: *EKVATEK – 2002: Congress Proceedings [EKVATEK – 2002: Materialy kongressa]*. Moscow; 2002. (in Russian)

Сведения об авторах

Абрамов Иван Алексеевич, мл. науч. сотр. лаб. микробиологии паразитологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: IAAbramov@cspfmba.ru

Недачин Александр Евгеньевич, канд. мед. наук, вед. биолог лаб. микробиологии паразитологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия

Тымчук Сергей Николаевич, канд. мед. наук, начальник отд. биологических методов анализа ЗАО «РОСА», 119297, Москва, Россия

Карбовничая Ксения Валентиновна, вирусолог 1-й категории отд. биологических методов анализа ЗАО «РОСА», 119297, Москва, Россия

Information about the authors

Ivan A. Abramov, junior researcher, Laboratory of Microbiology of Parasitology, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7433-7728> E-mail: IAAbramov@cspfmba.ru

Aleksandr E. Nedachin, PhD, leading biologist, Laboratory of Microbiology of Parasitology, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6544-2959>

Sergey N. Tymchuk, PhD, head, Department of Biological Methods of Analysis of CJSC ROSSA, Moscow, 119297, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9471-1281>

Ksenia V. Karbovничaya, virologist 1st category, Department of Biological Methods of Analysis of CJSC ROSSA, Moscow, 119297, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0005-2449-6252>