

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.233.01 ПО ЗАЩИТЕ  
ДИССЕРТАЦИЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК, НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БИОТЕХНОЛОГИИ» РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК В ВИДЕ НАУЧНОГО ДОКЛАДА

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 13 октября 2022 г. № 9  
о присуждении Жердеву Анатолию Виталиевичу, гражданство Российская Федерация,  
ученой степени доктора химических наук

Диссертация в виде научного доклада «Иммунохроматографические системы: Молекулярные закономерности функционирования и практические приложения» по специальности 1.5.4. Биохимия принята к защите 26 мая 2022 г. (протокол № 8) Диссертационным советом 24.1.233.01 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук», 119071, Москва, Ленинский проспект, дом 33, строение 2. Совет утвержден Рособназдором Министерства образования и науки РФ, приказ № 2249-1602 от 16.11.2007 г. с учетом изменений в составе Совета и переименования Совета в соответствии с приказами Минобрнауки России от 13.02.2013 г. № 74/нк, от 10.02.2014 г. №55/нк, от 30.09.2015 г. № 1166/нк, от 13.03.2019 г., №222/нк и от 03.06.2021 №561/нк.

**Соискатель**

Жердев Анатолий Виталиевич (1961 года рождения) в июне 1983 г. окончил Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет по специальности «Биофизика», прошел обучение в очной аспирантуре Института биохимии им. А.Н. Баха АН СССР и в 1989 г. защитил кандидатскую

диссертацию «Иммуноферментный анализ  $\alpha$ -амилазы и щелочной протеазы *Bacillus subtilis*» в Диссертационном совете Института биохимии им. А.Н. Баха АН СССР по специальности 03.00.04 – «Биохимия». С июля 1990 г. А.В. Жердев работает в лаборатории иммунобиохимии Института биохимии им. А.Н. Баха АН СССР (с 1993 г. – Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, с 2015 г. – Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН), с 2011 г. по настоящее время – в должности ведущего научного сотрудника.

А.В. Жердев является членом редколлегии журналов «Биохимия», «International Journal of Molecular Sciences» и «Food and Agricultural Immunology», редакционного совета журнала «Прикладная биохимия и микробиология», экспертом Российского научного фонда.

Диссертационную работу соискатель А.В. Жердев выполнял в лаборатории иммунобиохимии Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук».

#### **Научный консультант**

**Дзантиев Борис Борисович**, доктор химических наук, профессор, руководитель отдела лиганд-рецепторных взаимодействий и биосенсорики, заведующий лабораторией иммунобиохимии Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук».

#### **Официальные оппоненты:**

**Завриев Сергей Кириакович**, член-корреспондент РАН, профессор, доктор биологических наук, заведующий лабораторией молекулярной диагностики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова Российской академии наук.

**Курочкин Илья Николаевич**, профессор, доктор химических наук, директор, заведующий лабораторией химической физики биоаналитических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики имени Н. М. Эмануэля Российской академии наук.

**Дыкман Лев Абрамович**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунохимии Института биохимии и физиологии растений и

микроорганизмов – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук».

Выбор официальных оппонентов был обусловлен тем, что:

член-корреспондент РАН, профессор, доктор биологических наук Завриев Сергей Кириакович является одним из ведущих отечественных специалистов в области разработки и характеристики систем молекулярной диагностики;

профессор, доктор химических наук Курочкин Илья Николаевич является одним из ведущих отечественных специалистов в области разработки и характеристики био- и иммуносенсорных систем;

доктор биологических наук Дыкман Лев Абрамович является одним из ведущих отечественных специалистов в области применения наночастиц в качестве носителей и маркеров в биохимических аналитических системах.

Квалификация оппонентов подтверждается наличием у них большого числа публикаций в рецензируемых российских и международных журналах.

Все три официальных оппонента дали положительные отзывы на диссертацию Жердева А.В.

#### **Ведущая организация:**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", Химический институт им. А.М.Бутлерова.**

Ведущая организация в своем положительном отзыве, подготовленном и подписанном Геннадием Артуровичем Евтюгиным, доктором химических наук, профессором, заведующим кафедрой аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова, и утвержденном исполняющим обязанности ректора Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" Дмитрием Альбертовичем Таюрским, доктором физико-математических наук, профессором, указала, что диссертационная работа Жердева А.В. отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (редакция от 26.09.2022) "О порядке присуждения ученых степеней" (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней"), которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, являясь научно-

квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области иммунохроматографического анализа, а ее автор, Жердев А.В., заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 1.5.4. Биохимия (отрасль науки – химические).

Выбор ведущей организации был обусловлен тем, что Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", Химический институт им. А.М.Бутлерова, является признанным отечественным научным центром в области биохимических методов анализа и имеет в своем составе подразделения, специализирующиеся на исследованиях свойств био- и иммуноаналитических реагентов, функционирования био- и иммуноаналитических систем разных видов. Таким образом, сотрудники Химического института им. А.М. Бутлерова Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", в том числе подготовивший и подписавший отзыв доктор химических наук, профессор Г.А. Евтюгин, являются высококвалифицированными специалистами, ведущими исследования, непосредственно связанные с тематикой диссертационной работы А.В. Жердева.

В целом, высокая квалификация оппонентов и сотрудников ведущей организации позволяет объективно оценить научную и практическую ценность данной диссертационной работы.

### **Публикации**

Основные научные результаты диссертационной работы А.В. Жердева представлены в 120 научных публикациях и 25 патентах, перечисленных ниже. В списке приведено 118 статей в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК РФ (26 статей в отечественных изданиях и 92 – в зарубежных), и 2 главы в книгах. По результатам исследования получено 15 патентов Российской Федерации на изобретения, 8 патентов Российской Федерации на полезные модели и 2 инновационных патента Республики Казахстан на изобретения.

Диссертационная работа А.В. Жердева представлена в Диссертационный совет 24.1.233.01 18 мая 2022 г. Тем самым условия защиты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора наук в форме научного доклада определяются требованиями постановления Правительства РФ от 20 марта 2021 г. № 426 и приказа

Министерства науки и высшего образования РФ от 7 июня 2021 г. № 458 с учетом порядка применения этих требований в 2022 г., установленного постановлением Правительства РФ от 19 марта 2022 г. № 414. В соответствии с этими требованиями (при условии их достижения до вступления в силу постановления Правительства РФ от 19 марта 2022 г. № 414), изложенными в п. 13 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции на дату представления работы А.В. Жердева в диссертационный совет: количество публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук, оформленной в виде научного доклада, должно быть за последние 10 лет: не менее 30 в научных изданиях первого и второго квартилей, индексируемых международными базами данных.

Список публикаций диссертационной работы А.В. Жердева содержит 82 статьи, вышедшие в 2013–2021 гг. в журналах, относящихся к первому или второму квартилям международных баз данных: 80 статей согласно базе Web of Science и 82 статьи согласно базе Scopus. Это дает основание для защиты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора химических наук в форме научного доклада.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ С ВЫХОДНЫМИ ДАННЫМИ**

### **Статьи:**

1. Бызова Н.А., Сафенкова И.В., Чирков С.Н., **Жердев А.В.**, Блинцов А.Н., Дзантиев Б.Б., Атабеков И.Г. Разработка иммунохроматографических тест-систем для экспрессной детекции вирусов растений // Прикладная биохимия и микробиология. – 2009. – Т. 45, № 2. – С. 225–231. (Английская версия: Byzova N.A., Safenkova I.V., Chirkov S.N., **Zherdev A.V.**, Blintsov A.N., Dzantiev B.B., Atabekov I.G. Development of immunochromatographic test systems for express detection of plant viruses // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2009. – V. 45, N 2. – P. 204–209.)
2. Бызова Н.А., Свиридов В.В., Гаврилова Н.Ф., Распопова Е.Н., Яковлева И.В., Генералова А.Н., Лукин Ю.В., Черкасова В.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографическая и латекс-агглютинационная системы детекции дифтерийного токсина // Биоорганическая химия. – 2009. – Т. 35, № 4. – С. 533–541. (Английская версия: Byzova N.A., **Jerdev A.V.**, Dzantiev B.B., Sviridov V.V., Gavrilova N.F., Raspopova E.N., Jakovleva I.V., Generalova A.N., Lukin J.V., Cherkasova V.V. Immunochromatographic and latex-agglutination systems for diphtheria toxin detection // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. – 2009. – V. 35, N 4. – P. 482-489.)

3. Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Бикетов С.Ф., Дзантиев Б.Б. Разработка иммунохроматографической системы для экспресс-детекции клеток *Mycobacterium tuberculosis* // Биотехнология. – 2010, № 3. – С. 70–77.

4. Бызова Н.А., Сафенкова И.В., Чирков С.Н., Авдиенко В.Г., Гусева А.Н., Митрофанова И.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б., Атабеков И.Г. Взаимодействие вируса шарки сливы с антителами, конъюгированными с коллоидным золотом, и разработка иммунохроматографической тест-системы для детекции вируса // Биохимия. – 2010. – Т. 75, № 11. – С. 1583–1595. (Английская версия: Vyzova N.A., Safenkova I.V., Chirkov S.N., Avdienko V.G., Guseva A.N., Mitrofanova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Atabekov J.G. Interaction of plum pox virus with specific colloidal gold-labeled antibodies and development of immunochromatographic assay of the virus // Biochemistry (Moscow). – 2010. – V. 75, N 11. – P. 1393–1403.)

5. Бызова Н.А., Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Андреев И.В., Санков М.Н., Мартынов А.И., Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографический анализ специфического сывороточного IgE человека для диагностики аллергии на пыльцу тимopheевки луговой // Иммунология. – 2010. – Т. 31, № 1. – С. 47–51.

6. Vyzova N.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Immunochromatographic assay for rapid determination of atrazine and other triazine herbicides in foodstuffs // Journal of AOAC International. – 2010. – V. 93, N 1. – P. 36–43.

7. Vyzova N.A., Zvereva E.A., **Zherdev A.V.**, Eremin S.A., Dzantiev B.B. Rapid pretreatment-free immunochromatographic assay of chloramphenicol in milk // Talanta. – 2010. – V. 81, N 3. – P. 838–848.

8. Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Correlation between the composition of multivalent antibody conjugates with colloidal gold nanoparticles and their affinity // Journal of Immunological Methods. – 2010. – V. 357, N 1–2. – P. 17–25.

9. Бызова Н.А., Зверева Е.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографический метод экспрессного определения ампициллина в молоке и кисло-молочных продуктах // Прикладная биохимия и микробиология. – 2011. – Т. 47, № 6. – С. 685–693. (Английская версия: Vyzova N.A., Zvereva E.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Immunochromatographic technique for express determination of ampicillin in milk and dairy products // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2011. – V. 47, N 6. – P. 627–634.)

10. Урусов А.Е., Костенко С.Н., Свешников П.Г., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Определение охратоксина А иммунохроматографическим методом // Журнал аналитической химии. – 2011. – Т. 66, № 8. – С. 884–890. (Английская версия: Urusov

A.E., Kostenko S.N., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Sveshnikov P.G. Immunochromatographic assay for the detection of ochratoxin A // *Journal of Analytical Chemistry*. – 2011. – V. 66, N 8. – P. 770–776.)

11. Byzova N.A., Zvereva E.A., **Zherdev A.V.**, Eremin S.A., Sveshnikov P.G., Dzantiev B.B. Pretreatment-free immunochromatographic assay for the detection of streptomycin and its application to the control of milk and dairy products // *Analytica Chimica Acta*. – 2011. – V. 701, N 2. – P. 209–217.

12. Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Ескендинова С.З., Балтин К.К., Унышева Г.Б., Муканов К.К., Раманкулов Е.М., Дзантиев Б.Б. Разработка иммунохроматографической тест-системы для экспрессной детекции липополисахаридного антигена и клеток возбудителя бруцеллеза крупного рогатого скота // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2012. – Т. 48, № 6. – С. 653–661. (Английская версия: Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Eskendirova S.Z., Baltin K.K., Unysheva G.B., Mukanov K.K., Ramankulov E.M. Development of immunochromatographic test system for rapid detection of the lipopolysaccharide antigen and cells of the causative agent of bovine brucellosis // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2012. – V. 48, N 6. – P. 590–597.)

13. Сафенкова И.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Применение атомно-силовой микроскопии для характеристики единичных межмолекулярных взаимодействий // *Успехи биологической химии*. – 2012. – Т. 52. – С. 281–314. (Английская версия: Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Application of atomic force microscopy for characteristics of single intermolecular interactions // *Biochemistry (Moscow)*. – 2012. – V. 77, N 13. – P. 1536–1552.)

14. Safenkova I., **Zherdev A.**, Dzantiev B. Factors influencing the detection limit of the lateral-flow sandwich immunoassay: a case study with potato virus X // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2012. – V. 403, N 6. – P. 1595–1605.

15. Бызова Н.А., Лухверчик Л.Н., **Жердев А.В.**, Пивень Н.В., Бураковский А.И., Дзантиев Б.Б. Разработка иммунохроматографической тест-системы для детекции эпидермального фактора роста человека // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2013. – Т. 49, № 6. – С. 606–612. (Английская версия: Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Lukhverchik L.N., Piven N.V., Burakovskii A.I. Development of an immunochromatographic test system for the detection of human epidermal growth factor // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2013. – V. 49, N 6. – P. 606–612.)

16. Berlina A.N., Taranova N.A., **Zherdev A.V.**, Sankov M.N., Andreev I.V., Martynov A.I., Dzantiev B.B. Quantum-dot-based immunochromatographic assay for total IgE in

human serum // PLOS One. – 2013. – V. 8, N 10. – Article e77485. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

17. Berlina A.N., Taranova N.A., **Zherdev A.V.**, Vengerov Y.Y., Dzantiev B.B. Quantum dot-based lateral flow immunoassay for detection of chloramphenicol in milk // Analytical and Bioanalytical Chemistry. – 2013. – V. 405, N 14. – P. 4997-5000. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

18. Dzantiev B.B., **Zherdev A.V.** Antibody-based biosensors // Chapter 6. In: “Portable Biosensing of Food Toxicants and Environmental Pollutants” (Dimitrios Nikolelis, Theodoros Varsakas, Arzum Erdem, Georgia-Paraskevi Nikoleli, eds.). – 2013. – Taylor & Francis, London – New York. – ISBN 9781466576322. – P. 161–196.

19. Taranova N.A., Byzova N.A., Zaiko V.V., Starovoitova T.A., Vengerov Yu.Yu., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Integration of lateral flow and microarray technologies for multiplex immunoassay: application to the determination of drugs // Microchimica Acta. – 2013. – V. 180, N 11-12. – P. 1165–1172. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

20. Dzantiev B.B., Byzova N.A., Urusov A.E., **Zherdev A.V.** Immunochromatographic methods in food analysis. Trends in Analytical Chemistry. – 2014. – V. 55. – P. 81–93. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

21. Safenkova I.V., Zaitsev I.A., Pankratova G.K., Varitsev Yu.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Lateral flow immunoassay for rapid detection of potato ring rot caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2014. – V. 50, N 6. – P. 675–682.

22. Urusov A.E., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Use of gold nanoparticle-labeled secondary antibodies to improve the sensitivity of an immunochromatographic assay for aflatoxin B1 // Microchimica Acta. 2014. – V. 181, N 15–16. – P. 1939–1946. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

23. Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Свешников П.Г., Садыхов Э.Г., Дзантиев Б.Б. Разработка иммунохроматографической тест-системы для детекции антигенов *Helicobacter pylori*. // Прикладная биохимия и микробиология. – 2015. – Т. 51, № 5. – С. 520–530. (Английская версия: Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Sveshnikov P.G., Sadykhov E.G., Dzantiev B.B. Development of an immunochromatographic test system for the detection of *Helicobacter pylori* antigens // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2015. – V. 51, N 5. – P. 608–617.)

24. Петракова А.В., Урусов А.Е., Возняк М.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Разработка иммунохроматографической тест-системы для детекции Т-2 токсина. // Прикладная биохимия и микробиология. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 616–623.

(Английская версия: Petrakova A.V., Urusov A.E., Voznyak M.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Immunochromatographic test system for the detection of T-2 toxin // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2015. – V. 51, N 6. – P. 688–694.)

25. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Авдиенко В.Г., Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографическая серодиагностика туберкулеза с использованием конъюгата коллоидное золото – антиген // *Биотехнология*. – 2015, № 2. – С. 76–81. (Английская версия: Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Avbienko V.G., Dzantiev B.B. Immunochromatographic assay for serodiagnosis of tuberculosis using an antigen–colloidal gold conjugate // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2015. – V. 51, N 8. – P. 834–839.)

26. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Детекция межмолекулярных взаимодействий, основанная на регистрации поверхностного плазмонного резонанса // *Успехи биологической химии*. – 2015. – Т. 55. – С. 391–420. (Английская версия: Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Detection of intermolecular interactions based on surface plasmon resonance registration // *Biochemistry (Moscow)*. – 2015. – V. 80, N 13. – P. 1820–1832.) (Scopus – Q2).

27. Lei H., Mu H., Wang B., Xu Z., Tian Y., Shen Y., Eremin S.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Stereospecific recognition and quantitative structure-activity relationship between antibodies and enantiomers: ofloxacin as model hapten // *Analyst*. – 2015. – V. 140, N 4. – P. 1037–1045. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

28. Sotnikov D.V., Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Eskendirova S.Z., Baltin K.K., Mukanov K.K., Ramankulov E.M., Sadykhov E.G., Dzantiev B.B. Express immunochromatographic detection of antibodies against *Brucella abortus* in cattle sera based on quantitative photometric registration and modulated cut-off level // *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*. – 2015. – V. 36, N 1. – P. 80–90.

29. Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Development and application of a label-free fluorescence method for determining the composition of gold nanoparticle–protein conjugates // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2015. – V. 16, N 1. – P. 907–923. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

30. Taranova N.A., Berlina A.N., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. «Traffic light» immunochromatographic test based on multicolor quantum dots for simultaneous detection of several antibiotics in milk // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2015. – V. 63. – P. 255–261. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

31. Taranova N.A., Kruglik A.S., Zvereva E.A., Shmanai V.V., Vashkevich I.I., Semyonov D.A., Eremin S.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Highly sensitive

immuno-chromatographic identification of tetracycline antibiotics in milk // International Journal of Analytical Chemistry. – 2015. – V. 2015. – Article 347621.

32. Urusov A.E., Petrakova A.V., Kuzmin P.G., **Zherdev A.V.**, Sveshnikov P.G., Shafeev G.A., Dzantiev B.B. Application of gold nanoparticles produced by laser ablation for immuno-chromatographic assay labeling // Analytical Biochemistry. – 2015. – V. 491. – P. 65–71. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).

33. Zvereva E.A., Byzova N.A., Sveshnikov P.G., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Cut-off on demand: Adjustment of the threshold level of an immuno-chromatographic assay for chloramphenicol // Analytical Methods. – 2015. – V. 7, N 15. – P. 6378–6384. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

34. Panferov V.G., Safenkova I.V., Varitsev Y.A., Drenova N.V., Kornev K.P., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Development of the sensitive lateral flow immunoassay with silver enhancement for the detection of *Ralstonia solanacearum* in potato tubers // Talanta. – 2016. – V. 152. – P. 521–530. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

35. Safenkova I.V., Pankratova G.K., Zaitsev I.A., Varitsev Yu.A., Vengerov Yu.Yu., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Multiarray on a test strip (MATS): Rapid multiplex immunodetection of priority potato pathogens // Analytical and Bioanalytical Chemistry. – 2016. – V. 408, N 22. – P. 6009–6017. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

36. Safenkova I.V., Slutskaya E.S., Panferov V.G., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Complex analysis of concentrated antibody – gold nanoparticle conjugates' mixtures using asymmetric flow field-flow fractionation // Journal of Chromatography A. – 2016. – V. 1477. – P. 56–63. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

37. Urusov A.E., Petrakova A.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. «Multistage in one touch» design with a universal labelling conjugate for high-sensitive lateral flow immunoassays // Biosensors and Bioelectronics. – 2016. – V. 86. – P. 575–579. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

38. Петракова А.В., Урусов А.Е., **Жердев А.В.**, Лью Л., Ксю Ч., Дзантиев Б.Б. Применение наночастиц магнетита для разработки высокочувствительных иммунохроматографических тест-систем для определения микотоксинов // Прикладная биохимия и микробиология. – 2017. – Т. 53, № 4. – С. 420–426. (Английская версия: Petrakova A.V., Urusov A.E., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Liu L., Xu C. Application of magnetite nanoparticles for the development of highly sensitive immuno-chromatographic test systems for mycotoxin detection // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2017. – V. 53, N 4. – P. 470–475.)

39. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Математическое моделирование биоаналитических систем // Успехи биологической химии. – 2017. – Т. 57. – С. 385–438. (Английская версия: Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Mathematical modeling of bioassays // Biochemistry (Moscow). – 2017. – V. 82, N 13. – P. 1744–1766.) (Scopus – Q2).
40. Урусов А.Е., Петракова А.В., Бартош А.В., Губайдуллина М.К., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографический анализ Т-2 токсина с использованием меченых антивидовых антител // Прикладная биохимия и микробиология. – 2017. – Т. 53, № 5. – С. 528–533. (Английская версия: Urusov A.E., Petrakova A.V., Bartosh A.V., Gubaydullina M.K., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Immunochromatographic assay of T-2 toxin using labeled anti-species antibodies // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2017. – V. 53, N 5. – P. 594–599.)
41. Урусов А.Е., Петракова А.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Применение магнитных наночастиц в иммуноанализе // Российские нанотехнологии. – 2017. – Т. 12, № 9–10. – С. 3–13. (Английская версия: Urusov A.E., Petrakova A.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Application of magnetic nanoparticles in immunoassay // Nanotechnologies in Russia. – 2017. – V. 12, N 9–10. – P. 471–479.)
42. Berlina A.N., **Zherdev A.V.**, Xu C., Eremin S.A., Dzantiev B.B. Development of lateral flow immunoassay for rapid control and quantification of the presence of the colorant Sudan I in spices and seafood // Food Control. – 2017. – V. 73, part B. – P. 247–253. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
43. Byzova N.A., Safenkova I.V., Slutskaya E.S., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Less is more: Comparison of antibodies – gold nanoparticle conjugates of different ratio // Bioconjugate Chemistry. – 2017. – V. 28, N 11. – P. 2737–2746. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
44. Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Vengerov Yu.Yu., Starovoitova T.A., Dzantiev B.B. A triple immunochromatographic test for simultaneous determination of cardiac troponin I, fatty acid binding protein, and C-reactive protein biomarkers // Microchimica Acta. – 2017. – V. 184, N 2. – P. 463–471. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
45. Panferov V.G., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Setting up the cut-off level of a sensitive barcode lateral flow assay with magnetic nanoparticles // Talanta. – 2017. – V. 164. – P. 69–76. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
46. Petrakova A.V., Urusov A.E., Gubaydullina M.K., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. «External» antibodies as the simplest tool for sensitive immunochromatographic tests // Talanta. – 2017. – V. 175. – P. 77–81. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

47. Safenkova I.V., Zaitsev I.A., Varitsev Yu.A., Byzova N.A., Drenova N.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Development of lateral flow immunoassay for rapid diagnosis of potato blackleg caused by *Dickeya* species // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2017. – V. 409, N 7. – P. 1915–1927. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).
48. Sotnikov D.V., Zherdev A.V., Dzantiev B.B. Mathematical model of serodiagnostic immunochromatographic assay // *Analytical Chemistry*. – 2017. – V. 89, N 8. – P. 4419–4427. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
49. Taranova N.A., Urusov A.E., Sadykhov E.G., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Bifunctional gold nanoparticles as agglomeration enhancing tool for high sensitive lateral flow test: a case study with procalcitonin // *Microchimica Acta*. – 2017. – V. 184, N 10. – P. 4189–4195. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
50. Urusov A.E., Petrakova A.V., Gubaydullina M.K., **Zherdev A.V.**, Eremin S.A., Kong D., Liu L., Xu C., Dzantiev B.B. High-sensitivity immunochromatographic assay for fumonisin B1, based on indirect antibody labelling // *Biotechnology Letters*. – 2017. – V. 39, N 5. – P. 751–758. (Scopus – Q2).
51. Берлина А.Н., Бартош А.В., Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Ху Ч., Дзантиев Б.Б. Комплексы золотых наночастиц с антителами в иммунохроматографии: Сравнение прямой и непрямой иммобилизации антител при детекции антибиотиков // *Российские нанотехнологии*. – 2018. – V. 13, № 7–8. – С. 80–87. (Английская версия: Berlina A.N., Bartosh A.V., Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Xu C., Dzantiev B.B. Complexes of gold nanoparticles with antibodies in immunochromatography: Comparison of direct and indirect immobilization of antibodies for the detection of antibiotics // *Nanotechnologies in Russia*. – 2018. – V. 13, N 7–8. – P. 430–438.)
52. Губайдуллина М.К., Урусов А.Е., **Жердев А.В.**, Ху Ч., Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографические тест-системы с использованием конъюгата антивидовые антитела – коллоидное золото: Особенности и возможности на примере определения охратоксина А // *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*. – 2018. – Т. 59, № 2. – С. 144–150. (Английская версия: Gubaidullina M.K., Urusov A.E., **Zherdev A.V.**, Xu C., Dzantiev B.B. Immunochromatographic test systems using the conjugate anti-species antibodies – colloid gold: Features and benefits on the example of determination of ochratoxin A // *Moscow University Chemistry Bulletin*. – 2018. – V. 73, N 2. – P. 62–67.)
53. Зверева Е.А., Шпакова Н.А., **Жердев А.В.**, Ху Ч., Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографический метод высокочувствительного определения бета-агониста рактопамина в пищевых продуктах // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2018. – Т. 54, № 4. – С. 421–426. (Английская версия: Zvereva E.A., Shpakova N.A., **Zherdev**

**A.V.**, Xu C., Dzantiev B.B. Highly sensitive immunochromatographic assay for qualitative and quantitative control of beta-agonist ractopamine in foods // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2018. – V. 54, N 4. – P. 436–441.)

54. Панфёров В.Г., Сафенкова И.В., Самохвалов А.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Изучение роста нативных и модифицированных белками наночастиц золота и их конъюгатов в присутствии гидроксилamina и тетрахлораурата // *Российские нанотехнологии*. – 2018. – Т. 13, № 11–12. – P. 59–67. (Английская версия: Panferov V.G., Samokhvalov A.V., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Study of growth of bare and protein-modified gold nanoparticles in the presence of hydroxylamine and tetrachloroaurate // *Nanotechnologies in Russia*. – 2018. – V. 13, N 11–12. – P. 614–622.)

55. Berlina A.N., Bartosh A.V., **Zherdev A.V.**, Xu C., Dzantiev B.B. Development of lateral flow immunoassay for determination of tetracycline in human serum // *Antibiotics*. – 2018. – V. 7, N 4. – Article 99. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

56. Byzova N.A., Urusov A.E., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Multiplex highly sensitive immunochromatographic assay based on the use of non-processed antisera // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2018. – V. 410, N 7. – P. 1903–1910. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

57. Byzova N.A., Vinogradova S.V., Porotikova E.V., Terechova Y.D., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Lateral flow immunoassay for rapid detection of grapevine leafroll associated virus // *Biosensors*. – 2018. – V. 8, N 4. – Article 111. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

58. Mu H., Xu Z., Liu Y., Sun Y., Wang B., Sun X., Wang Z., Eremin S., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Lei H. Probing the molecular interaction of ofloxacin enantiomers with corresponding monoclonal antibodies by multiple spectrometry // *Spectrochimica Acta A*. – 2018. – V. 194. – P. 83–91. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

59. Panferov V.G., Safenkova I.V., Byzova N.A., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Silver-enhanced lateral flow immunoassay for highly-sensitive detection of potato leafroll virus // *Food and Agricultural Immunology*. – 2018. – V. 29, N 1. – P. 445–457. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

60. Panferov V.G., Safenkova I.V., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Enhancement of lateral flow immunoassay by alkaline phosphatase: a simple and highly sensitive test for potato virus X // *Microchimica Acta*. – 2018. – V. 185, N 1. – Article 25. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

61. Panferov V.G., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Post-assay growth of gold nanoparticles as a tool for highly sensitive lateral flow immunoassay. Application to the

detection of potato virus X // *Microchimica Acta*. – 2018. – V. 185, N 11. – Article 506. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

62. Razo S.C., Panferov V.G., Safenkova I.V., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Double-enhanced lateral flow immunoassay for potato virus X based on a combination of magnetic and gold nanoparticles // *Analytica Chimica Acta*. – 2018. – V. 1007. – P. 50–60. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

63. Razo S.C., Panferov V.G., Safenkova I.V., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Pakina E.N., Dzantiev B.B. How to improve sensitivity of sandwich lateral flow immunoassay for corpuscular antigens on the example of potato virus Y? // *Sensors*. – 2018. – V. 18, N 11. – Article 3975. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

64. Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Theoretical and experimental comparison of different formats of immunochromatographic serodiagnostics // *Sensors*. – 2018. – V. 18, N 1. – Article 36. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

65. Urusov A.E., Gubaydullina M.K., Petrakova A.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. A new kind of highly sensitive competitive lateral flow assay displaying direct analyte-signal dependence. Application to the determination of the mycotoxin deoxynivalenol // *Microchimica Acta*. – 2018. – V. 185, N 1. – Article 29. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

66. **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Ways to reach lower detection limits in lateral flow immunoassays // Chapter 2. In: "Rapid Test – Advances in Design, Format and Diagnostic Applications" (Ed. L. Anfossi). – London: InTechOpen, 2018. – ISBN 978-1-78923-902-7. – P. 9–43.

67. **Zherdev A.V.**, Vinogradova S.V., Byzova N.A., Porotikova E.V., Kamionskaya A.M., Dzantiev B.B. Methods for diagnosis of grapevine viral infections // *Agriculture*. – 2018. – V. 8, N 12. – Article 195. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

68. Zvereva E.A., **Zherdev A.V.**, Xu C., Dzantiev B.B. Highly sensitive immunochromatographic assay for qualitative and quantitative control of beta-agonist salbutamol and its structural analogs in foods // *Food Control*. – 2018. – V. 86. – P. 50–58. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

69. Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Придворова С.М., Дзантиев Б.Б. Разработка экспрессной иммунохроматографической тест-системы для детекции D-димера // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 293–302. (Английская версия: Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Pridvorova S.M., Dzantiev B.B. Development of rapid immunochromatographic test system for D-dimer detection // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2019. – V. 55, N 3. – P. 305–312.)

70. Barshevskaya L.V., Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Khassenov B.B., Baltin K.K., Eskendirova S.Z., Mukanov K.K., Mukantaev K.K., Dzantiev B.B. Triple immunochromatographic system for simultaneous serodiagnosis of bovine brucellosis, tuberculosis, and leukemia // *Biosensors*. – 2019. – V. 9, N 4. – Article 115. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).
71. Berlina A.N., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. ELISA and lateral flow immunoassay for the detection of food colourants: State of the art // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. – 2019. – V. 49, N 3. – P. 209-223. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
72. Buglak A.A., **Zherdev A.V.**, Lei H.T., Dzantiev B.B. QSAR analysis of immune recognition for triazine herbicides based on immunoassay data for polyclonal and monoclonal antibodies // *PLOS One*. – 2019. – V. 14, N 4. – Article e0214879. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).
73. Byzova N.A., Vengerov Yu.Yu., Voloshchuk S.G., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Development of a lateral flow highway: Ultra-rapid multitracking immunosensor for cardiac markers // *Sensors*. – 2019. – V. 19, N 24. – Article 4594. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).
74. Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Simultaneous immunochromatographic assay of several antibiotics: Modulation of detection limits and working ranges // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2019. – V. 35, N 6. – P. 1634–1639.
75. Ivanov A.V., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Recombinase polymerase amplification combined with a magnetic nanoparticle-based immunoassay for fluorometric determination of troponin T // *Microchimica Acta*. 2019. – V. 186, N 8. – Article 549. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).
76. Petrakova A.V., Urusov A.E., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Gold nanoparticles of different shape for bicolor lateral flow test // *Analytical Biochemistry*. – 2019. – V. 568. – P. 7–13. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).
77. Razo S.C., Panferova N.A., Panferov V.G., Safenkova I.V., Drenova N.V., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Pakina E.N., Dzantiev B.B. Enlargement of gold nanoparticles for sensitive immunochromatographic diagnostics of potato brown rot // *Sensors*. – 2019. – V. 19, N 1. – Article 153. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).
78. Safenkova I.V., Panferova N.A., Panferov V.G., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Alarm lateral flow immunoassay for detection of the total infection caused by the five viruses // *Talanta*. – 2019. – V. 195. – P. 739–744. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

79. Sobolev A.M., Byzova N.A., Goryacheva I.Yu., **Zherdev A.V.** Silanized quantum dots as labels in lateral flow test strips for C-reactive protein. // *Analytical Letters*. – 2019. – V. 51, N 12. – P. 1874–1887.

80. Sotnikov D.V., Berlina A.N., Ivanov V.S., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Adsorption of proteins on gold nanoparticles: One or more layers? // *Colloids and Surfaces B*. – 2019. – V. 173. – P. 557–563. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

81. Urusov A.E., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Towards lateral flow quantitative assays: Detection approaches // *Biosensors*. – 2019. – V. 9, N 3. – Article 89. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

82. Bartosh A.V., Sotnikov D.V., Hendrickson O.D., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Design of multiplex lateral flow tests: A case study for simultaneous detection of three antibiotics // *Biosensors*. – 2020. – V. 10, N 3. – Article 17. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

83. Bartosh A.V., Urusov A.E., Petrakova A.V., **Zherdev A.V.**, Kuang H., Dzantiev B.B. Highly sensitive zearalenone lateral flow test with indirect labeling in baby food // *Food and Agricultural Immunology*. – 2020. – V. 31, N 1. – P. 653–666. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

84. Byzova N.A., Serchenya T.S., Vashkevich I.I., **Zherdev A.V.**, Sviridov O.V., Dzantiev B.B. Lateral flow immunoassay for rapid qualitative and quantitative control of veterinary drug bacitracin in milk // *Microchemical Journal*. – 2020. – V. 156. – Article 104884. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

85. Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Khlebtsov B.N., Burov A.M., Khlebtsov N.G., Dzantiev B.B. Advantages of highly spherical gold nanoparticles as labels for lateral flow immunoassay // *Sensors*. – 2020. – V. 20, N 12. – Article 3608. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

86. Hendrickson O.D., Zvereva E.A., Popravko D.S., **Zherdev A.V.**, Xu C., Dzantiev B.B. An immunochromatographic test system for the determination of antibiotic lincomycin in food stuffs // *Journal of Chromatography B*. – 2020. – V. 1141. – Article 122014. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).

87. Hendrickson O.D., Zvereva E.A., **Zherdev A.V.**, Godjevargova T., Xu C., Dzantiev B.B. Development of the double immunochromatographic test system for simultaneous determination of lincomycin and tylosin antibiotics in foodstuffs // *Food Chemistry*. – 2020. – V. 318. – Article 126510. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

88. Ivanov A.V., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Nucleic acid lateral flow assay with recombinase polymerase amplification: solutions for high-sensitive detection of

RNA virus // *Talanta*. – 2020. – V. 210. – Article 120616. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

89. Ivanov A.V., Shmyglya I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Safenkova I.V. The challenge for rapid detection of high-structured circular RNA: Assay of potato spindle tuber viroid based on recombinase polymerase amplification and lateral flow tests // *Plants*. – 2020. – V. 9, N 10. – Article 1369. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

90. Komova N.S., Berlina A.N., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Immune recognition of closed and open lactam ring and its influence on immunoassays of ampicillin antibiotics // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2020. – V. 36, N 1. – P. 21–25.

91. Panferov V.G., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Urchin peroxidase-mimicking Au@Pt nanoparticles as a label in lateral flow immunoassay: impact of nanoparticle composition on detection limit of *Clavibacter michiganensis* // *Microchimica Acta*. – 2020. – V. 187. – Article 268. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

92. Safenkova I.V., Ivanov A.V., Slutskaya E.S., Samokhvalov A.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Key significance of DNA-target size in lateral flow assay coupled with recombinase polymerase amplification // *Analytica Chimica Acta*. – 2020. – V. 1102. – P. 109–118. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

93. Serebrennikova K.V., Hendrickson O.D., Zvereva E.A., Popravko D.S., **Zherdev A.V.**, Xu C., Dzantiev B.B. A comparative study of approaches to improve the sensitivity of lateral flow immunoassay of antibiotic lincomycin // *Biosensors*. – 2020. – V. 10, N 12. – Article 198. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

94. Sotnikov D.V., Barshevskaya L.V., **Zherdev A.V.**, Khassenov B.B., Baltin K.K., Eskendirova S.Z., Mukanov K.K., Mukantaev K.K., Dzantiev B.B. Immunochromatographic system for serodiagnostics of cattle brucellosis using gold nanoparticles and signal amplification with quantum dots // *Applied Sciences*. – 2020. – V. 10, N 3. – Article 738. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).

95. Sotnikov D.V., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Avdienko V.G., Kozlova I.V., Babayan S.S., Gergert V.Y., Dzantiev B.B. A mechanism of gold nanoparticle aggregation by immunoglobulin G preparation // *Applied Sciences*. – 2020. – V. 10, N 2. – Article 475. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).

96. Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Byzova N.A., Zvereva E.A., Bartosh A.V., Dzantiev B.B. Mathematical modeling of the immunochromatographic test-systems in competitive format: Analytical and numerical approaches // *Biochemical Engineering Journal*. – 2020. – V. 164. – Article 107763. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

97. Zvereva E.A., Byzova N.A., Hendrickson O.D., Popravko D.S., Belichenko K.A., Dzantiev B.B., **Zherdev A.V.** Immunochromatographic detection of myoglobin as a specific biomarker of porcine muscle tissues in meat products // *Applied Sciences*. – 2020. – V. 10, N 21. – Article 7437. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).

98. Zvereva E.A., Hendrickson O.D., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Immunochromatographic tests for the detection of microcystin-LR toxin in water and fish samples // *Analytical Methods*. – 2020. – V. 12, N 3. – P. 392–400. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

99. Zvereva E.A., Popravko D.S., Hendrickson O.D., Vostrikova N.L., Chernukha I.M., Dzantiev B.B., **Zherdev A.V.** Lateral flow immunoassay to detect the addition of beef, pork, lamb, and horse muscles in raw meat mixtures and finished meat products // *Foods*. 2020. – V. 9, N 11. – Article 1662. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

100. Зверева Е.А., Гендриксон О.Д., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографические тест-системы для детекции микроцистина-LR в морепродуктах // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 303–310. (Английская версия: Zvereva E.A., Hendrickson O.D., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Immunochromatographic test systems for detection of microcystin-LR in seafood // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2021. – V. 57, N 3. – P. 403–409.)

101. Панфёров В.Г., Сафенкова И.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способы улучшения чувствительности иммунохроматографических тест-систем с колориметрической детекцией (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 107–116. (Английская версия: Panferov V.G., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Methods for increasing sensitivity of immunochromatographic test systems with colorimetric detection (review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2021. – V. 57, N 2. – P. 143–151.)

102. Berlina A.N., Komova N.S., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Combination of phenylboronic acid and oligocytosine for selective and specific detection of lead(II) by lateral flow test strip // *Analytica Chimica Acta*. – 2021. – V. 1155. – Article 338318. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

103. Hendrickson O.D., Byzova N.A., Zvereva E.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Sensitive lateral flow immunoassay of an antibiotic neomycin in foodstuffs // *Journal of Food Science and Technology – Mysore*. – 2021. – V. 58, N 1. – P. 292–301. (Scopus – Q2).

104. Hendrickson O.D., Zvereva E.A., Dzantiev B.B., **Zherdev A.V.** Sensitive lateral flow immunoassay for detection of pork additives in raw and cooked meat products // *Food Chemistry*. – 2021. – V. 359. – Article 129927. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

105.Hendrickson O.D., Zvereva E.A., Vostrikova N.L., Chernukha I.M., Dzantiev B.B., **Zherdev A.V.** Lateral flow immunoassay for sensitive detection of undeclared chicken meat in meat products // *Food Chemistry*. – 2021. – V. 344. – Article 128598. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

106.Ivanov A.V., Popravko D.S., Safenkova I.V., Zvereva E.A., Dzantiev B.B., **Zherdev A.V.** Rapid full-cycle technique to control adulteration of meat products: Integration of accelerated sample preparation, recombinase polymerase amplification, and test strip detection // *Molecules*. – 2021. – V. 26, N 22. – Article 6804. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

107.Ivanov A.V., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Multiplex assay of viruses integrating recombinase polymerase amplification, barcode / anti-barcode pairs, blocking anti-primers, and lateral flow assay // *Analytical Chemistry*. – 2021. – V. 93, N 40. – P. 13641–13650. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

108.Ivanov A.V., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Recombinase polymerase amplification assay with and without nuclease-dependent-labeled oligonucleotide probe // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2021. – V. 22, N 21. – Article 11885. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

109.Panferov V.G., Byzova N.A., Biketov S.F., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Comparative study of in situ techniques to enlarge gold nanoparticles for highly sensitive lateral flow immunoassay of SARS-CoV-2 // *Biosensors*. – 2021. – V. 11, N 7. – Article 229. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

110.Panferov V.G., Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Peroxidase-mimicking nanozyme with surface-dispersed Pt atoms for the colorimetric lateral flow immunoassay of C-reactive protein // *Microchimica Acta*. – 2021, N 9. – V. 188. – Article 309. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

111.Panferov V.G., Safenkova I.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. The steadfast Au@Pt soldier: Peroxide-tolerant nanozyme for signal enhancement in lateral flow immunoassay of peroxidase-containing samples // *Talanta*. – 2021. – V. 225. – Article 121961. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

112.Razo S.C., Elovenkova A.I., Safenkova I.V., Drenova N.V., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Comparative study of four colored nanoparticle labels in lateral flow immunoassay // *Nanomaterials*. – 2021. – V. 11, N 12. – Article 3277. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

113.Razo S.C., Safenkova I.V., Drenova N.V., Kharchenko A.A., Tsybmal Y.S., Varitsev Y.A., **Zherdev A.V.**, Pakina E.N., Dzantiev B.B. New lateral flow immunoassay for on-site

detection of *Erwinia amylovora* and its application on various organs of infected plants // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2021. – V. 114. – Article 101637. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).

114.Serebrennikova K.V., Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Khlebtsov N.G., Khlebtsov B.N., Biketov S.F., Dzantiev B.B. Lateral flow immunoassay of SARS-CoV-2 antigen with SERS-based registration: Development and comparison with traditional immunoassays // Biosensors. – 2021. – V. 11. N 12. – Article 510. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

115.Sotnikov D.V., Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Retention of activity by antibodies immobilized on gold nanoparticles of different sizes: Fluorometric method of determination and comparative evaluation // Nanomaterials. – 2021. – V. 11, N 11. – Article 3117. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

116.Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Lateral flow serodiagnosis in the double-antigen sandwich format: Theoretical consideration and confirmation of advantages // Sensors. – 2021. – V. 21, N 1. – Article 39. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

117.Sotnikov D.V., **Zherdev A.V.**, Zvereva E.A., Eremin S.A., Dzantiev B.B. Changing cross-reactivity for different immunoassays using the same antibodies: Theoretical description and experimental confirmation // Applied Sciences. – 2021. – V. 11, N 14. – Article 6581. (Web of Science – Q2; Scopus – Q2).

118.Taranova N.A., Byzova N.A., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Comparative assessment of different gold nanoflowers as labels for lateral flow immunosensors // Sensors. – 2021. – V. 21, N 21. – Article 7098. (Web of Science – Q1; Scopus – Q2).

119.Taranova N.A., Slobodenuyk V.D., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B. Network of gold conjugates for enhanced sensitive immunochromatographic assays of troponins // RSC Advances. – 2021. – V. 11, N 27. – P. 16445–16452. (Web of Science – Q2; Scopus – Q1).

120.Wang J., Shen X., Zhong P., Li Z., Tang Q., Huang X., **Zherdev A.V.**, Dzantiev B.B., Eremin S.A., Xiao Z., Lei H., Li X. Heterologous immunoassay strategy for enhancing detection sensitivity of banned dye rhodamine B in fraudulent food // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. – 2021. – V. 8. – Article 17. (Web of Science – Q1; Scopus – Q1).

#### **Патенты:**

1. **Жердев А.В.**, Бызова Н.А., Сотников Д.В., Дзантиев Б.Б. Способ определения антител к возбудителю туберкулеза // Патент РФ на изобретение № 2395092 от 17 сентября 2008 г.

2. Дзантиев Б.Б., Бызова Н.А., Зверева Е.А. **Жердев А.В.**, Еремин С.А., Грачев О.В., Горбовский А.Д., Свешников П.Г. Способ иммунохроматографического

определения антибиотиков в молоке и молочных продуктах // Патент РФ на изобретение № 2406090 от 18 февраля 2009 г.

3. Ескендинова С.З., Дзантиев Б.Б., Бызова Н.А., Сотников Д.В., Балтин К.К., **Жердев А.В.**, Раманкулов Е.М., Муканов К.К., Булашев А.К., Шенжанов К.Т., Унышева Г.Б. Экспресс-способ серологической диагностики бруцеллеза крупного рогатого скота на основе иммунохроматографического анализа // Инновационный патент Республики Казахстан на изобретение № 25460 от 23 декабря 2010 г.

4. Ескендинова С.З., Дзантиев Б.Б., Бызова Н.А., Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Балтин К.К., Унышева Г.Б., Булашев А.К., Муканов К.К., Раманкулов Е.М. Способ экспресс-обнаружения и идентификации *Brucella abortus* в биологическом материале на основе иммунохроматографического анализа // Инновационный патент Республики Казахстан на изобретение № 25922 от 23 августа 2011 г.

5. Урусов А.Е., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ снижения предела обнаружения иммунохроматографических методов контроля содержания низкомолекулярных соединений // Патент РФ на изобретение № 2497126 от 30 декабря 2011 г.

6. **Жердев А.В.**, Урусов А.Е., Дзантиев Б.Б. Способ повышения диагностической эффективности иммунохроматографических систем определения патогенов // Патент РФ на изобретение № 2557936 от 25 декабря 2012 г.

7. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Тест-полоска для высокочувствительного иммунохроматографического анализа // Патент РФ на изобретение № 2523393 от 19 марта 2013 г.

8. Сотников Д.В., Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Метод получения межмолекулярных конъюгатов для иммунохроматографического определения специфических антител // Патент РФ на изобретение № 2530560 от 28 июня 2012 г.

9. Сотников Д.В., Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ проведения иммунохроматографического анализа для серодиагностики // Патент РФ на изобретение № 2532352 от 28 июня 2012 г.

10. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ проведения иммунохроматографического анализа с диссоциирующей флуоресцентной меткой // Патент РФ на изобретение № 2535061 от 26 июля 2012 г.

11. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ иммунохроматографического определения специфических антител // Патент РФ на изобретение № 2545909 от 19 марта 2013 г.

12. Урусов А.Е., Петракова А.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ проведения иммунохроматографического анализа, основанный на обратимой иммобилизации иммунореагентов в магнитном поле // Патент РФ на изобретение № 2575840 от 31 октября 2013 г.

13. Розиев Р.А., Соколов В.А., Орешкина И.В., Гончарова А.Я., Касмынина Ю.С., Дзантиев Б.Б., Бызова Н.А., **Жердев А.В.** Иммунохроматографическая тест-система // Патент РФ на полезную модель № 158294 от 11 ноября 2014 г.

14. Урусов А.Е., Таранова Н.А., Семейкина А.А., Петракова А.В., Губайдуллина М.К., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ проведения иммунохроматографического анализа с высокой степенью выявления маркера // Патент РФ на изобретение № 2623075 от 30 декабря 2015 г.

15. Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Устройство для иммунохроматографической экспрессной внелабораторной диагностики заболевания винограда, вызываемого вирусом скручивания листьев // Патент РФ на полезную модель № 192778 от 1 октября 2019 г.

16. Бызова Н.А., Таранова Н.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Устройство для иммунохроматографической экспрессной лабораторной и внелабораторной одновременной детекции токсичных контаминантов – поверхностно активных веществ нонилфенола и бисфенола А в питьевых, бытовых, природных и сточных водах // Патент РФ на полезную модель № 196383 от 27 февраля 2020 г.

17. Бызова Н.А., Таранова Н.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Устройство для иммунохроматографической одновременной индивидуальной детекции фторхинолоновых антибиотиков офлоксацина, энрофлоксацина и ципрофлоксацина в продуктах питания // Патент РФ на полезную модель № 196919 от 20 марта 2020 г.

18. Урусов А.Е., Шпакова Н.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Карта сравнения для количественной интерпретации результатов иммунохроматографических тестов // Патент РФ на полезную модель № 200112 от 7 октября 2020 г.

19. Панфёров В.Г., Сафенкова И.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Устройство для мультиплексного иммунохроматографического анализа патогенов вирусной и бактериальной природы с дополнительной стадией усиления сигнала // Патент РФ на полезную модель № 201487 от 17 декабря 2020 г.

20. Сотников Д.В., Баршевская Л.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ повышения чувствительности иммунохроматографического серодиагностического анализа с использованием двух маркеров // Патент РФ на изобретение № 2739752 от 28 декабря 2020 г.

21. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ иммунохроматографической серодиагностики с последовательным добавлением реагентов // Патент РФ на изобретение № 2741199 от 22 января 2021 г.

22. Бызова Н.А., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Устройство для иммунохроматографической экспрессной лабораторной и внелабораторной одновременной индивидуальной детекции токсичных контаминантов в воде // Патент РФ на полезную модель № 202181 от 5 февраля 2021 г.

23. Панфёров В.Г., Сафенкова И.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Устройство для иммунохроматографической высокочувствительной и внелабораторной детекции фитопатогенной бактерии *Clavibacter michiganensis*, основанное на повышении интенсивности регистрируемого колориметрического сигнала за счет каталитических свойств наномаркера // Патент РФ на полезную модель № 202193 от 5 февраля 2021 г.

24. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ высокочувствительного иммунохроматографического анализа с двойной конкуренцией // Патент РФ на изобретение № 2748901 от 1 июня 2021 г.

25. Сотников Д.В., **Жердев А.В.**, Дзантиев Б.Б. Способ иммунохроматографического анализа для серодиагностики с комбинированной схемой связывания антител // Патент РФ на изобретение № 2753237 от 12 августа 2021 г.

В перечисленных публикациях отражены результаты выполненных работ, направленных на достижение цели и решения задач диссертационного исследования Жердева А.В. Публикации и диссертационная работа представляют проведенное изучение образования, превращения и функционирования надмолекулярных комплексов, моделирование биохимических процессов, что соответствует направлению исследований № 4, установленному паспортом научной специальности 1.5.4. «Биохимия» (химические науки).

За разработки иммуноаналитических систем А.В. Жердев в составе авторского коллектива удостоен Премии Правительства Российской Федерации 2010 года в области науки и техники. В 2011 г. А.В. Жердев в составе авторского коллектива удостоен диплома Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам в номинации «100 лучших изобретений России», в 2012 г. – премии издательства «МАИК-Наука» за лучшие публикации в журналах РАН. В 2021 г. А.В. Жердев награжден медалью Минобрнауки РФ «За вклад в реализацию государственной политики в области научно-технического развития».

Результаты, полученные в ходе исследований и вошедшие в диссертационную работу, были представлены более чем на 80 научных мероприятиях в России и за рубежом и опубликованы в материалах этих мероприятий, включая такие значимые мероприятия, как Московские международные конгрессы «Биотехнология: Состояние и перспективы развития» (Москва, 2009, 2010, 2011, 2013, 2015, 2017), Всероссийские конференции по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика» (Йошкар-Ола, 2009; Светлогорск, 2014, Углич, 2016; Пермь, 2019), VI, VII Symposiums on Hormone and Veterinary Drug Residue Analysis (Гент, Бельгия, 2010, 2014), V, VIII, IX International Symposiums on Recent Advances in Food Analysis (Прага, Чехия, 2011, 2017, 2019), Международные симпозиумы «Астана Биотех» (Астана, Казахстан, 2011, 2018), IV Nanotechnology International Forum (Москва, 2011), V, VI Nanoscience with Nanocrystals Conferences (Фуенжерола, Испания, 2012; Бад Хофгастейн, Австрия, 2014), II и III Съезды аналитиков России (Московская обл., 2013, 2017), XXXVIII, XLIV FEBS Congresses (Санкт-Петербург, 2013; Краков, Польша, 2019), ISM – MycoRed International Conference Europe 2013 (Мартина-Франка, Италия, 2013), XVIII European Conference in Analytical Chemistry (Бордо, Франция, 2015), IX, X, XI, XII International Conferences on Instrumental Methods of Analysis (Каламата, Греция, 2015, 2017, 2019, 2021), XI Workshop on Biosensors and Bioanalytical Microtechniques in Environmental, Food and Clinical Analysis (Регенсбург, Германия, 2015), International Conferences «Biocatalysis: Fundamentals and Applications» (Московская обл., 2015, 2017), V, VI Съезды биохимиков России (Дагомыс, 2016, 2019), International Conference «Mycotoxin Research in Agricultural Products» (Шанхай, Китай, 2017), International Workshop of Pesticide Risk Assessment Model Building (Сиань, Китай, 2017), APEC Conference «Advanced Capacity Building for Mycotoxin Prevention and Control in Food and Feed Commodities in Asia-Pacific» (Пекин, Китай, 2017), XL International Conference on Environmental and Food Monitoring (Сантьяго-де-Компостелла, Испания, 2018), World Conference on Analytical and Bio Analytical Chemistry (Барселона, Испания, 2018), XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (Санкт-Петербург, 2019), XIX International Symposium on Soil and Plant Analysis (Вагенинген, Нидерланды, 2019), XXXI Anniversary World Congress on Biosensors (2021), Online European Biotechnology Congress (2021), VI International Congress on Biomaterials and Biosensors (Олудениц, Турция, 2021).

Итоговые доклады, отражающие основные результаты диссертационной работы, представлены А.В. Жердевым на Международном конгрессе «Биотехнология:

состояние и перспективы развития» (Москва, 2019), Euroanalysis XX Conference (Стамбул, Турция, 2019), V Международной конференции «Наноматериалы и живые системы» (Казань, 2019), II Всероссийской конференции «Химия биологически активных веществ» (Саратов, 2019) и XIV Международном биотехнологическом форуме «РосБиоТех» (Москва, 2020).

Диссертационная работа представлена 1 апреля 2022 г. на межлабораторном семинаре, по результатам которого 14 апреля 2022 г. дано заключение ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН как организации, в которой выполнялась работа.

#### **На диссертацию поступили следующие отзывы:**

Отзыв официального оппонента члена-корреспондента РАН, профессора, доктора биологических наук **Завриева Сергея Кириаковича** (положительный). Отзыв содержит следующие вопросы и замечания:

- Процессы иммунохроматографии основаны на движении реагентов по пористому носителю и их взаимодействиях с реагентами, иммобилизованными на волокнах мембран. Однако сведения о влиянии размерных характеристик мембран на количество и динамику образования детектируемых комплексов в диссертации не представлены.
- Диссертант резонно отмечает, что бивалентное взаимодействие антител с эпитопами, повторяющимися на поверхности корпускулярных антигенов (таких как вирусные частицы и клетки микроорганизмов), существенно повышает аффинность комплексообразования и влияет на характеристики аналитических систем. Однако для оценки выраженности этих эффектов было бы полезно более конкретное рассмотрение таких поливалентных антигенов с сопоставлением фактических расстояний между эпитопами с требованиями к эффективному бивалентному связыванию.
- В рамках диссертационного исследования предложен ряд подходов, снижающих пределы обнаружения при проведении иммунохроматографии. Однако не прояснен вопрос о возможностях сочетания этих подходов. Чем определяется минимальное выявляемое содержание аналитов? Может ли оно в рамках иммунохроматографии быть снижено до единичных молекул в пробе?
- Работа направлена на решение многих прикладных проблем, получено 25 патентов, однако в ней ничего не дано информации о внедрении в производство систем, описанных в настоящем исследовании.

Отзыв официального оппонента профессора, доктора химических наук **Курочкина Ильи Николаевича** (положительный). Отзыв содержит следующие вопросы и замечания:

- Так на Рис. 27 (стр.28) приведена гистограмма распределения сил взаимодействия антител с вирусом на подложке. Какую ценную информацию дают эти данные? Условия измерения сил сильно отличаются от взаимодействия в реальных образцах. Разве это можно пересчитать в реальные константы?
- Таблица 2 (стр. 20) – чем объяснить такой немонотонный, скорее хаотичный характер изменения измеряемой константы при изменении мольного соотношения антитело:наночастица?
- Глава 2 (стр.41) – из текста диссертации и статей автора не виден какой именно комплекс математических моделей был разработан.
- Глава 3 (стр.44) – при обсуждении процессов образования полислоев белковых глобул на поверхности НЧ золота как-то размыт вопрос о причинах (механизме) образования нескольких слоев белковых молекул. Так данные Рис.18 и табл.2 не соответствуют друг другу. Так для БСА данные таблицы 2 говорят о том, что там и одного слоя не образуется. За счет чего отрицательно заряженная молекула БСА взаимодействует поверхностью наночастиц золота? Нет объяснения того, почему при связывании антител максимум приходится на величины рН, близкие к изоэлектрической точке антител, а связывание при рН10 больше, чем при рН 4-5. Кроме того, учитывая соизмеримость размеров молекул антител и наночастиц необходимо рассматривать и поликомплексы, содержащие несколько наночастиц.
- При описании конкурентного иммуноанализа и оценке теоретических ограничений и аналитических параметров в главе 4 и в публикациях автора несколько удивляет отсутствие ссылок на более ранние работы, в которых даны теоретические расчеты и оценены факторы, определяющие аналитические возможности этого типа анализа. Я имею в виду, прежде всего, книгу С.Д. Варфоломеев, С.В. Зайцев «Кинетические методы в биохимических исследованиях», изд. МГУ 1982 год и работу Ekins R.P., Newman G.B., O Riordan J.L.H. (1968) Radioisotopes in Medicine, in Vitro Studies, p.59-101, US Atomic Energy Commission, OAK Ridge.
- Вопрос математического моделирования иммунохроматографических систем (Глава 2) на мой взгляд в диссертации и в статьях автора (С39, С116, С117) рассмотрен без детальной проработки. Требуется пояснения вклад автора именно в макрокинетическое рассмотрение вопросов иммунохроматографии. Описание процессов только

системой дифференциальных уравнений без учета пространственных особенностей мне кажется не достаточным и, в известной степени, тривиальным.

Отзыв официального оппонента доктора биологических наук **Дыкмана Льва Абрамовича** (положительный). Отзыв содержит следующие вопросы:

- Какая из используемых меток все же предпочтительнее при создании тест-полосок?
- Какие размер и форма наночастиц золота приводят к лучшему результату анализа, исходя из критериев чувствительности и специфичности?

Отзыв ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", Химический институт им. А.М. Бутлерова, подписанный **Геннадием Артуровичем Евтюгиным**, доктором химических наук, профессором, заведующим кафедрой аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова, и утвержденный исполняющим обязанности ректора Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" **Дмитрием Альбертовичем Таюрским**, доктором физико-математических наук, профессором (положительный). Отзыв содержит следующие вопросы и замечания:

- Достаточно очевидно, что формат защиты по научному докладу является новым и для него нет устоявшихся шаблонов оформления диссертации. Однако одним из мотивов введения данной формы защиты явилось желание уменьшить трудоемкость оформления работы за счет исключения литературного обзора. В этой связи введение в каждой главе описания современного состояния дел, пусть и очень короткого, представляется не вполне логичным и оправданным. То же касается и некоторых иллюстраций (в целом имеющих просто потрясающее качество, достойное монографии солидного издательства) – достаточно странным было бы предполагать, что научная аудитория будет незнакома с общими принципами иммунохроматографии или движением реагентов в ходе выполнения собственно измерения.
- Следует отметить, что деление материала на главы имело безусловный методический смысл, однако а priori не могло быть свободным от недостатков. В частности, одни и те же методические приемы, такие как использование

наночастиц – носителей антител, оптимизация состав конъюгатов, «игра» со стадиями массопереноса, – оказались в разных главах и обсуждались независимо друг от друга. Анонсирование (совершенно справедливое) универсальности предлагаемых алгоритмов предполагает большую сопряженность глав в части обсуждения общим подходом.

- Метрологическое обеспечение результатов измерений в ряде случаев грешит огрехами. Не везде графики сопровождаются доверительными интервалами экспериментальных точек, не указывается число параллельных измерений, в большинстве случаев мерой чувствительности измерения приводится предел обнаружения (иногда вместе с константами связывания). В табл. 7 предел обнаружения приводится как среднее с доверительным интервалом значений, что неверно. Возможно, имело бы смысл указывать на пределы определяемых концентраций, особенно учитывая сигмовидный характер концентрационных зависимостей. Впрочем, такие претензии скорее констатируют сложившуюся практику представления результатов иммуноанализа в целом.
- Работа носит очень цельный характер, а совокупность объектов анализа имеет строгое и в целом понятное обоснование. Тем более странным было включение в нее одного примера создания тест-систем на основе аптамеров (рис. 43).

**На автореферат поступил 21 положительный отзыв от:**

**Буркина Максима Алексеевича**, доктора биологических наук, заведующего лабораторией биоконъюгатов ФГНБУ «Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток имени И.И. Мечникова. В отзыве имеются следующие замечания:

- Изменения же концентрационных соотношений антител и конкурирующих антигенов могут в некоторой степени видоизменять профиль перекрестной реактивности, если не придерживаться оптимальной интенсивности сигнала системы. Однако, при соблюдении этого критерия, влияющего на точность определения, эти изменения, как правило, незначительны. К сожалению, результаты подобного экспериментального сравнения не представлены;
- Дополнительный столбец в Таблице 9 со ссылками на соответствующие публикации автора был бы весьма уместен и для поиска конкретной работы;

- В настоящее время при контроле безопасности сельскохозяйственной и пищевой продукции низкомолекулярными токсикантами, обнаружении экотоксикантов и мониторинга фармпрепаратов общепринято сочетание скринингового и подтверждающего методов, основанных на разных методических принципах, о чем упоминает сам автор (стр 53). В этой связи, представленные в диссертационной работе результаты стрип-тестов и данные о позитивных образцах следовало бы сопровождать хроматографическим подтверждением;
- На рисунке 9 следовало бы указать значение стрелок 1 и 2. Варианты 3 и 4 в классификации форматов иммуноанализа неотличимы. Также загадкой остался принцип анализа «двух-сайтового формата (сэндвич-анализа) с мечением антигенов»;
- Таблица 67. Преимущества, достигнутые при использовании альтернативных наночастиц-маркеров, должны указываться для конкретных аналитов, а не для групп соединений (микотоксины, антибиотики);
- Рисунки 20Б, 39А, 43. Отсутствуют легенды к представленным кривым и результатам;
- Рисунок 23Б. Улучшение предела обнаружения аналита в пробах при ухудшении его детекции в более концентрированных растворах метанола не находит объяснение в тексте и в представленной ссылке [С38];
- Пример проточного мембранного анализа ионов тяжелых металлов с использованием аптамеров несомненно украшает и без того весьма масштабный труд диссертанта, но выходит за рамки иммунохроматографии, обозначенной в названии работы.

**Гмошинского Ивана Всеволодовича**, доктора биологических наук, и.о. главного научного сотрудника лаборатории пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», замечаний нет;

**Горячевой Ирины Юрьевны**, доктора химических наук, профессора, директора Института химии ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского» и **Бурмистровой Наталии Анатольевны**, доктора химических наук, профессора кафедры общей и неорганической химии того же университета, замечаний нет;

**Гулий Ольги Ивановны**, доктора биологических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории биохимии Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», замечаний нет;

**Деева Сергея Михайловича**, доктора биологических наук, профессора, академика РАН, руководителя лаборатории молекулярной иммунологии ФГБУН

«Институт биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова» РАН, замечаний нет;

**Дятлова Ивана Алексеевича**, доктора медицинских наук, профессора, академика РАН, директора ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Российской Федерации, замечаний нет;

**Ермолаевой Татьяны Николаевны**, доктора химических наук, профессора кафедры химии ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», замечаний нет;

**Жамсарановой Сэсэгмы Дашиевны**, доктора биологических наук, профессора кафедры «Биотехнология» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, замечаний нет;

**Жарниковой Ирины Викторовны**, доктора биологических наук, ведущего научного сотрудника научно-производственной лаборатории препаратов для диагностики особо опасных и других инфекций ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, замечаний нет;

**Карякина Аркадия Аркадиевича**, доктора химических наук, профессора, заведующего лабораторией электрохимических методов кафедры аналитической химии Химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и **Андреева Егора Андреевича**, кандидата химических наук, старшего научного сотрудника кафедры химической энзимологии Химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. В отзыве имеются следующие вопросы и замечания:

- чем вызвано немонотонное изменение предела обнаружения тропонина I при размерах наночастиц золота в диапазоне 19–48 нм (Таблица 7, с. 49);
- каков требуемый рабочий диапазон определения тетрациклина в крови человека (Глава 7);
- в тексте автореферата используется различная разрядность средней величины и доверительного интервала (например, Рис. 20 –  $89 \pm 6.1$  нм);

**Кичкайло Анны Сергеевны**, доктора биологических наук, руководителя лаборатории ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения РФ; замечаний нет;

**Козициной Алисы Николаевны**, доктора химических наук, заведующей кафедры аналитической химии Химико-технологического института ФГАОУ ВО

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», замечаний нет;

**Кононенко Галины Пантелеевны**, доктора биологических наук, профессора, заведующего лабораторией микотоксикологии и санитарии кормов, главного научного сотрудника Всероссийского научно-исследовательского института ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиала ФГБНУ «ФНЦ – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН», замечаний нет;

**Муканова Касыма Касеновича**, доктора ветеринарных наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории прикладной генетики РГП «Национальный центр биотехнологии» Министерства здравоохранения Республики Казахстан и **Мукантаева Канатбека Найзабековича**, доктора биологических наук, заведующего лабораторией иммунохимии и иммунобиотехнологии того же центра, замечаний нет;

**Русановой Татьяны Юрьевны**, доктора химических наук, заведующей кафедрой аналитической химии и химической экологии ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», замечаний нет;

**Свиридова Олега Васильевича**, доктора химических наук, заведующего лабораторией химии белковых гормонов Института биоорганической химии НАН Беларуси, замечаний нет;

**Супрун Елены Владимировны**, доктора биологических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории биоэлектрохимии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича», замечаний нет;

**Хлебцова Николая Григорьевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией нанобиотехнологии ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», замечаний нет;

**Храмцова Павла Викторовича**, кандидата биологических наук, старшего научного сотрудника лаборатории клеточной иммунологии и нанобиотехнологий ФГБУН Института экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения РАН, замечаний нет;

**Шеховцовой Татьяны Николаевны**, доктора химических наук, профессора кафедры аналитической химии Химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. В отзыве имеются следующие замечания:

- На рис. 9, очевидно, допущена погрешность – двухсайтные форматы абсолютно ничем не различаются, что, наверное, не совсем верно;
- Некорректна, не отражает смысла рис. 17 подпись к нему – «Принцип измерения состава ... комплексов ...»;
- Смущает использование непривычных терминов – «элюция» (элюирование!) (с. 51), «кандидатные» (потенциальные компоненты (с. 52)).

**Штыкова** Сергея Николаевича, доктора химических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, профессора кафедры аналитической химии и химической экологии ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», замечаний нет.

#### **С вопросами выступили:**

д.б.н. Шумянцева В.В. (ФГБНУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича»),

к.б.н. Зарайский Е.И. (Институт прикладной механики РАН),

д.х.н., профессор Варламов В.В. (ФИЦ Биотехнологии РАН),

д.б.н., профессор Юрина Н.П. (ФИЦ Биотехнологии РАН).

Соискатель ответил на высказанные при рассмотрении диссертационной работы вопросы и замечания.

#### **В дискуссии приняли участие:**

д.х.н., профессор, академик РАН Попов В.О. (ФИЦ Биотехнологии РАН),

д.б.н., профессор, академик РАН Деев С.М. (Институт биоорганической химии РАН),

д.б.н. Топунов А.Ф. (ФИЦ Биотехнологии РАН),

д.б.н., профессор, Капрельянц А.С. (ФИЦ Биотехнологии РАН),

к.б.н. Зарайский Е.И. (Институт прикладной механики РАН).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие **основные результаты:**

- установлен вклад поливалентных взаимодействий антиген–антитело в формирование иммунных комплексов и характеристики иммунохроматографических систем;
- предложена иерархическая классификация гетерогенных иммуноаналитических систем на основании видов образующихся и регистрируемых комплексов и

последовательности взаимодействий иммунореагентов; показаны ее возможности для систематизации вариантов проведения иммунохроматографии;

- разработан ряд математических моделей для описания иммунохроматографических систем; на основании рассмотрения моделей предложены и экспериментально проверены рекомендации по изменению характеристик этих систем;
- исследована модуляция параметров иммунохроматографических систем посредством варьирования состава комплексов антиген – белковый носитель и антитело – нанодисперсный носитель;
- предложен и экспериментально подтвержден ряд подходов для обеспечения низких пределов обнаружения аналитов при проведении иммунохроматографии, основанных на изменениях состава регистрируемых комплексов и последовательности их формирования в движущемся потоке реагентов и на поверхности мембран.

В целом в рамках исследования сформированы теоретические основы функционирования иммунохроматографических систем. Совокупность положений, разработанных на основании выполненных исследований, имеет важное значение для развития биохимии, разработки и эффективного применения новых биоаналитических и биосенсорных систем.

Тем самым диссертация А.В. Жердева соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» в части требований к диссертации на соискание ученой степени доктора наук, являясь **научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.**

**Теоретическая значимость исследования** заключается в том, что:

- установлены зависимости изменений характеристик иммунохроматографических систем при варьировании концентраций иммунореагентов, длительности и констант их взаимодействия;
- определена степень изменения реакционной способности антител в адсорбционных комплексах с нанодисперсными носителями в зависимости от состава комплексов и размеров носителей;
- выявлены параметры наночастиц, определяющие их эффективность в качестве носителей и маркеров в иммунохроматографических системах;
- описаны факторы, которые при разных режимах взаимодействий в проточных мембранных системах лимитируют формирование меченых иммунных комплексов.

### **Практическая значимость работы** заключается в:

создании научного инструментария для эффективной разработки иммунохроматографических аналитических систем, включающего:

- принципы установления факторов, лимитирующих минимальные достоверно выявляемые концентрации аналитов;
- критерии оценки возможностей наночастиц – носителей и маркеров для разрабатываемых аналитических систем;
- способы проведения иммунохроматографии с усилением регистрируемого сигнала.

получении и характеристике экспериментальных образцов иммунохроматографических систем для выявления и оценки содержания ряда аналитов – представителей:

- токсичных контаминант разных классов в сельскохозяйственной продукции, пищевых продуктах и объектах окружающей среды,
- белковых маркеров патологических процессов в организме человека,
- маркеров, обеспечивающих идентификацию сырья в мясных продуктах,
- специфических антител, выявляемых для серодиагностики инфекционных заболеваний и аллергических реакций,
- возбудителей заболеваний человека, животных и растений.

Проведенная апробация разработанных иммуноаналитических систем подтвердила универсальность созданного научного инструментария, его пригодность для решения различных задач, имеющих социальное и хозяйственное значение.

### **Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

- использованные методики исследования и проведенные расчеты корректны;
- постулируемые корреляции и отличия подтверждаются высокой степенью воспроизводимости результатов, статистическим анализом измеряемых величин, и не вызывают сомнений;
- закономерности, следующие из результатов математического моделирования, подтверждены при экспериментальном изучении иммунохроматографических систем;
- из соблюдения установленных закономерностей для различных сочетаний антигенов и антител, систем для обнаружения аналитов различной природы следует их общий характер;

- выводы диссертационной работы четко сформулированы и доказательно обосновываются полученными результатами.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- выборе направления работ и постановке решаемых задач;
- планировании экспериментов,
- получении, обработке и интерпретации результатов,
- подготовке публикуемых материалов.

В рамках проведенного исследования соискатель осуществил:

- анализ соответствия теоретических представлений и экспериментальных данных,
- описание и обобщение результатов по характеристике иммунохимических взаимодействий и функционирования иммунохроматографических систем,
- разработку способов обеспечения низких пределов обнаружения и управления селективностью иммунохроматографических систем,
- оценку возможностей и конкурентных преимуществ разрабатываемых систем.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация Жердева А.В. является законченной научно-квалификационной работой, что подтверждается ее логичным планированием, использованием эффективных взаимодополняющих современных методов, убедительной интерпретацией полученных результатов и успешным решением поставленных задач, а также публикациями – 118 статей в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 2 главы в книгах, 25 патентов. Из подготовленных материалов и представления диссертации на защите следует, что соискателем установлены общие закономерности функционирования иммунохроматографических систем, подтвержденные для широкого ряда антигенов и обеспечившие их выявление в существенно более низких концентрациях по сравнению с традиционными форматами иммунохроматографии. Совокупность теоретических положений, разработанных на основании выполненных исследований, можно квалифицировать как научное достижение, важное для развития биохимии, разработки и эффективного применения новых биоаналитических и биосенсорных систем. Тем самым работа А.В. Жердева соответствует критериям, установленным для диссертации на соискание ученой степени доктора наук.

На заседании 13 октября 2022 г. Диссертационный совет принял решение присудить Жердеву Анатолию Виталиевичу ученую степень доктора химических наук по специальности 1.5.4. Биохимия.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов химических наук, 11 докторов биологических наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав Диссертационного совета 24.1.233.01, проголосовал следующим образом.

«За» присуждение ученой степени – 19,

«Против» – нет,

Недействительных бюллетеней – нет.

И.О. председателя Диссертационного совета 24.1.233.01

ФИЦ Биотехнологии РАН,

доктор биологических наук, профессор

Н.П. Юрина

Ученый секретарь Диссертационного совета 24.1.233.01

ФИЦ Биотехнологии РАН,

кандидат биологических наук



А.Ф. Орловский

13 октября 2022 г.