

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.0.027.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ РОССИЙСКОГО ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ИНСТИТУТА БИОХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ  
Н. М. ЭМАНУЭЛЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело  
№ \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета  
от «21» июня 2022 № 7

О присуждении Арляпову Вячеславу Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Микробные биосенсоры для экспресс-определения биохимического потребления кислорода» по специальности 1.5.6. Биотехнология принята к защите «15» марта 2022 года (протокол заседания № 3) диссертационным советом 99.0.027.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики имени Н.М. Эмануэля Российской академии наук (125047, Москва, Миусская площадь, 9, приказ о создании диссертационного совета от «28» сентября 2016 года №1172/нк)

Соискатель Арляпов Вячеслав Алексеевич, «29» апреля 1983 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук «Применение низкоселективных биосенсоров для определения биохимического потребления кислорода и анализа многокомпонентных смесей» защитил в 2009 году в диссертационном совете, созданном на базе Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московская государственная академия тонкой химической технологии имени М.В. Ломоносова» Министерства образования и науки Российской Федерации.

С 30 октября 2015 г. по 29 октября 2018 г. обучался в докторантуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет».

Работает ведущим научным сотрудником лаборатории биологически активных соединений и биокompозитов в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре химии естественнонаучного института Тульского государственного университета Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор химических наук, доцент Понаморева Ольга Николаевна, заведующий кафедрой биотехнологии Тульского государственного университета.

*Официальные оппоненты:*

**Дзантиев Борис Борисович**, доктор химических наук, профессор, работает руководителем отдела лиганд-рецепторных взаимодействий и биосенсорики, заведующим лабораторией иммунобиохимии федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук»;

**Ефременко Елена Николаевна**, доктор биологических наук, профессор, работает заведующим лабораторией экобиокатализа, ведущим научным сотрудником кафедры химической

энзимологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»;

**Сироткин Александр Семенович**, доктор технических наук, профессор, работает деканом факультета пищевых технологий, заведующим кафедрой промышленной биотехнологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»;

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (Иркутск) в своем **положительном** отзыве, подписанном Тимофеевой Светланой Семеновной, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, указала, что диссертация В.А. Арляпова полностью соответствует требованиям пп 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 в действующей редакции), а ее автор Арляпов Вячеслав Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.5.6. Биотехнология (отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности 24 мая 2022 г., протокол № 12).

Соискатель имеет 62 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 62 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 45 работ. Общий объем публикаций составляет 610 страниц. **В диссертации отсутствуют** недостоверные сведения об опубликованных работах. Все работы по теме диссертации опубликованы с соавторами; личный вклад соискателя составляет не менее 70 % и состоит в разработке концепции исследования, постановке задач, выполнении исследований и интерпретации полученных результатов. Результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на международных и всероссийских научных конференциях и форумах; опубликована 1 монография, соискатель не имеет депонированных рукописей.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Arlyapov V.A.** BOD biosensor based on the yeast *Debaryomyces hansenii* immobilized in poly(vinyl alcohol) modified by N-vinylpyrrolidone / **V.A. Arlyapov**, N. Yu. Yudina, L.D. Asulyan, S.V. Alferov, V.A. Alferov, A.N. Reshetilov // Enzyme and Microbial Technology. – 2013. – № 53. – P. 257–262.(Web of Science, Scopus).
2. Yudina N.Yu. A yeast co-culture-based biosensor for determination of waste water contamination levels / N.Yu. Yudina, **V.A. Arlyapov**, M.A. Chepurnova, S.V. Alferov, A.N. Reshetilov // Enzyme and Microbial Technology. – 2015. – №78. – P. 46–53. (Web of Science, Scopus).
3. **Arlyapov V.A.** Use of biocompatible redox-active polymers based on carbon nanotubes and modified organic matrices for development of a highly sensitive BOD biosensor / **V.A. Arlyapov**, A.S. Kharkova, S.K. Kurbanaliyeva, L.S. Kuznetsova, A.V. Machulin, S.E. Tarasov, P.V. Melnikov, O.N. Ponamoreva, V.A. Alferov, A.N. Reshetilov // Enzyme and Microbial Technology. – 2021. – V. 143. – № 109706. (Web of Science, Scopus).

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов, **все положительные**. В отзывах указывается, что представленная к защите диссертационная работа характеризуется высокой актуальностью, научной ценностью и имеет большое значение для теории и практики экономического развития Российской Федерации. Отзывы направили:

1. Атрощенко Юрий Михайлович, доктор химических наук, профессор, директор центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого». В качестве замечания отмечено, что в автореферате не приводятся сведения о стабильности разработанных биокатализаторов и о максимальном или оптимальном времени их возможного использования.
2. Дворецкий Дмитрий Станиславович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических

производств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». В качестве замечаний отмечено, что из текста автореферата непонятно решалась ли задача оптимизации при подборе величины биомассы в гидрогеле, которая составила 200 мг/мл (стр. 20)? Эта величина одинакова как для дрожжей, их ассоциации, так и для бактерий? С чем связано значительное отличие времени работы биосенсора, созданного с применением ассоциации дрожжей и биосенсора, созданного с применением подхода послойной иммобилизации ассоциации дрожжей? Какое соотношение применяемых микроорганизмов было в созданной ассоциации? Каждый слой биосенсора, созданного с применением подхода послойной иммобилизации ассоциации дрожжей, содержал только один штамм дрожжей (стр. 21-22)?

3. Евтушенко Людмила Ивановна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, руководитель отдела «Всероссийская коллекция микроорганизмов» Института биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г.К. Скрыбина Российской академии наук Федерального исследовательского центра «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук». В качестве замечания отмечено, что в пункте 1.1. автореферата указано, что содержание клеток микроорганизмов во всех биорецепторах было одинаковым – не следовало ли предварительно подобрать оптимальную концентрацию микроорганизмов для каждого отдельного случая? В таблице 13 приведены основные параметры созданных БПК-сенсоров, однако никак не помечен лучший из разработанных вариантов. не совсем четко отражено, почему в коммерческом экспресс-анализаторе в качестве основного биокатализатора было решено использовать именно дрожжи *D. hansenii*, иммобилизованные в поливиниловый спирт.
4. Казаринов Иван Алексеевич, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». Отзыв замечаний не содержит.
5. Мезенова Ольга Яковлевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет». Отзыв замечаний не содержит.
6. Ткачев Алексей Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». Отзыв замечаний не содержит.
7. Терентьев Александр Олегович, доктор химических наук, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий лабораторией исследования гомолитических реакций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института органической химии имени Н. Д. Зелинского Российской академии наук. В качестве замечаний отмечено, что как указано в Таблице 7 на стр. 19, свойства и проницаемость гелевой матрицы были оптимизированы посредством изменения степени сшивки полимера и соотношения реагентов, что позволило значительно увеличить чувствительность метода. Тем не менее, условия, признанные диссертантом оптимальными (строка 6), не приводят к получению наиболее чувствительного биосенсора: при меньшей степени сшивки в 42 % (строка 3) достигается более низкая граница определяемых значений. По какой причине матрица с более высокой степенью сшивки и меньшей чувствительностью была признана оптимальной?
8. Фомичева Наталья Викторовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией микробиологии и экологической

биотехнологии отдела биотехнологий Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В.В. Докучаева». В качестве замечания отмечено, что согласно таблице 1 автореферата у биосенсора с микроорганизмами *D. hansenii* Y-2482, наряду с максимальным спектром детектируемых веществ, чувствительность и стабильность работы выше, чем у биосенсора на основе ассоциации 2, куда также входят вышеуказанные микроорганизмы. В этой связи не совсем понятна целесообразность формирования искусственной ассоциации 2 в том составе, в котором она представлена.

9. Цугкиев Борис Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой биологической и химической технологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Горский государственный аграрный университет», и Гагиева Лариса Черменовна, доктор биологических наук, доцент той же кафедры. Отзыв замечаний не содержит.
10. Яштулов Николай Андреевич, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой наноразмерных систем и поверхностных явлений имени С.С. Воюцкого Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет". В качестве замечания отмечено, что в автореферате не представлено влияние температуры и гидродинамических условий (например, скорости перемешивания анализируемого раствора) на свойства биорецепторов. Поскольку в основе измерения лежат биокаталитические процессы, указанные факторы несомненно будут оказывать влияние на аналитический сигнал, воспроизводимость и погрешность измерений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются признанными специалистами в данной области биотехнологии, что подтверждается наличием соответствующих публикаций в ведущих научных рецензируемых изданиях, а также спецификой и профилем диссертационной работы, и выполнен в соответствии с пп. 22 и 24 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №812 в действующей редакции).

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- предложена оригинальная научная гипотеза о возможности прогнозирования характеристик разрабатываемых амперометрических микробных биосенсоров на основе сравнительного анализа физиолого-биохимических, метаболических и биокаталитических характеристик микроорганизмов, используемых в рецепторных элементах биосенсоров;
- разработан научно-методологический подход к формированию чувствительных и стабильных амперометрических микробных биосенсорных анализаторов БПК на основе как индивидуальных штаммов, так и искусственных и естественных сообществ бактерий и дрожжей, с использованием разных способов иммобилизации биоматериала и генерации сигнала биосенсора;
- доказана перспективность применения выделенных из активного ила очистных сооружений и метаболизирующих с высокой скоростью большой круг органических соединений бактерий *Paracoccus yeii* ВКМ В-3302 и гало- и осмофилантных дрожжей *Debaryomyces hansenii* ВКМ Y-2482 для определения биохимического потребления кислорода в БПК-биосенсорах;
- доказана перспективность подхода к формированию устойчивых ассоциаций микроорганизмов с широким спектром окисляемых субстратов для использования в биорецепторе БПК-сенсора на основе сходства их ростовых параметров и различия в спектрах окисляемых субстратов;
- разработана экспериментальная методика иммобилизации бактериальных и дрожжевых микроорганизмов в новый биосовместимый полимер поливинилового спирта,

модифицированного N-винилпирролидоном, позволяющая увеличить стабильность функционирования биосенсорных анализаторов БПК;

- предложена технология выбора эффективных медиаторных биоэлектрохимических систем с микроорганизмами, основанная на совместном анализе констант скорости взаимодействия биоматериала с медиатором и констант скорости передачи электронов на электрод;
- предложен подход к разработке двухмедиаторных биосенсорных систем, основанный на анализе экспериментально найденных констант скорости взаимодействия микроорганизмов с искусственными акцепторами электронов, констант скорости передачи электронов на электрод, констант скорости взаимодействия ферроцена и ряда водорастворимых редокс-соединений, который дает возможность выбора биоэлектрохимических систем с эффективным внеклеточным переносом электронов от микроорганизмов эукариот на электрод;
- разработана технология, позволяющая связать метаболизм бактериальных микроорганизмов *Paracoccus yeii* с генерацией электрохимического сигнала на электроде при участии биосовместимых редокс-активных гидрогелей на основе модифицированных ферроценом хитозана и бычьего сывороточного альбумина с включенными углеродными нанотрубками.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** эффективность использования комплексного научно-методологического подхода к созданию биосенсорных анализаторов для экспресс-оценки биохимического потребления кислорода, основанного на сравнительном анализе физиолого-биохимических, метаболических и биокаталитических характеристик микроорганизмов в рецепторных элементах биосенсоров;

**доказана** возможность создания искусственных ассоциаций микроорганизмов на основе сходства их ростовых параметров и различия в субстратной специфичности, что позволило создать стабильный в течение 20-ти суток БПК-биосенсор;

**доказана** применимость предложенного подхода для оценки эффективности функционирования биоэлектрохимических систем «микроорганизм-медиатор-электрод», учитывающего как скорость взаимодействия редокс-соединений с биоматериалом, так и с электродом, что обеспечивает возможность разработки медиаторных биосенсоров, обладающих высокой чувствительностью и стабильностью.

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы:** комплекс микробиологических и биотехнологических методов выращивания, выделения и идентификации дрожжевых и бактериальных микроорганизмов; электрохимические методы анализа (амперометрия, циклическая вольтамперометрия), в том числе применительно к биоэлектрохимическим системам; методы органического синтеза полимерных соединений, комплекс методов анализа структуры и состава веществ (ИК-спектроскопия, ЯМР-спектроскопия, атомно-абсорбционная спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия).

**изложены** положения научно-методологического подхода к формированию амперометрических микробных биосенсоров для экспресс-анализа БПК, основанного на сравнительном анализе физиолого-биохимических, метаболических и биокаталитических характеристик микроорганизмов в рецепторных элементах биосенсоров.

**раскрыты** закономерности функционирования выделенных из активного ила очистных сооружений, микроорганизмов *Paracoccus yeii* ВКМ В-3302 и дрожжей *Debaryomyces hansenii* ВКМ У-2482 в рецепторных системах чувствительных экспресс-анализаторов БПК на основе разных принципов генерации сигнала.

**изучена** взаимосвязь ключевых физиолого-биохимических, метаболических и биокаталитических характеристик микроорганизмов в рецепторных элементах биосенсоров и кинетических параметров функционирования медиаторных биоэлектрохимических систем с характеристиками и техническими параметрами анализатора биохимического потребления кислорода.

**проведена модернизация** технологии получения рецепторных систем микробных амперометрических биосенсоров, которая позволила создавать высокочувствительные и стабильные биокатализаторы с возможностью тиражирования и применения в коммерческих

биоанализаторах.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработан и внедрен** коммерчески доступный экспресс-анализатор биохимического потребления кислорода «Эксперт 009». **Разработана** и аттестована методика экспресс-оценки БПК с использованием биологического сенсора (МУ 09–16/001). Созданные биосенсорные анализаторы с аттестованной методикой могут применяться для анализа вод различного происхождения на очистных сооружениях, промышленных предприятиях, службах Роспотребнадзора и МЧС, а также в других структурах, занимающихся экологическим мониторингом.

**определены** перспективы практического использования разработанного экспресс-анализатора биохимического потребления кислорода «Эксперт 009», предназначенного для анализа вод различного происхождения на очистных сооружениях, промышленных предприятиях, службах Роспотребнадзора и МЧС, а также в других структурах, занимающихся экологическим мониторингом. Полученные результаты являются базой для производства недорогих, портативных и эффективных анализаторов воды, внедрение которых повысит экологическую безопасность и технологический уровень страны.

**создана** технология серийного изготовления сенсорных элементов биологических датчиков с воспроизводимыми свойствами, в том числе путем послойной иммобилизации, основанная на включении бактерий или дрожжей в гидрогели синтезированного полимера ПВС, сшитого N-винилпирролидоном; **создан** подход к формированию биоэлектрохимических систем «микроорганизм – медиатор – электрод» с применением анализа констант скорости взаимодействия искусственных акцепторов электронов с микроорганизмами и электродом, который является универсальным и может быть использован при создании медиаторных биологических сенсоров не только для анализа БПК, но и в перспективе для мониторинга других показателей (токсичности, концентрации индивидуальных веществ); **создана** биоэлектрохимическая схема генерации сигнала, реализованная на основе электродов из графитовых материалов с иммобилизованными в биосовместимые ферроценмодифицированные гидрогели с УНТ микроорганизмами; **создана** необходимая нормативная база для использования разработанного анализатора в аккредитованных лабораториях Российской Федерации.

**представлено** техническое задание на разработку амперометрического биосенсорного анализатора БПК в основу которого легли результаты сравнительного анализа ключевых параметров электрохимических БПК-сенсоров на основе единичных штаммов, искусственных и естественных сообществ бактерий и дрожжей, разных способов иммобилизации биоматериала и генерации сигнала биосенсора.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном оборудовании на основе серии экспериментов, данные статистически обработаны, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях; достоверность полученных результатов подтверждается воспроизводимостью эффектов при их сравнении применительно к различным объектам исследований;
- **теория** построена на известных проверяемых данных, согласуется с опубликованными экспериментальными данными, аналитическими обзорами по теме диссертации;
- **идея базируется** на обобщении передового опыта исследования свойств иммобилизованных микроорганизмов и медиаторного биоэлектрокатализа для формирования высокочувствительных систем на основе микроорганизмов;
- **использованы** современные методы биотехнологических исследований, современные методики сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов наблюдения и измерения;
- **установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с данными, представленными в независимых источниках по данной тематике в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным;
- **достоверность полученных результатов обеспечена использованием методик**

**эксперимента, соответствующих современному научному уровню, и подтверждена их согласованностью;**

- **выводы диссертации обоснованы и не вызывают сомнения и согласуются с современными представлениями в области разработки амперометрических биосенсоров и биокаталитических систем.**

**Личный вклад соискателя состоит** в его непосредственном участии на всех этапах разработок, поиска и анализа научной и научно-технической литературы, постановки задач исследования, проведении экспериментов, получении, обработки и интерпретации экспериментальных данных, подготовки основных публикаций.

В ходе защиты диссертации были высказаны **следующие критические замечания:**

1. Есть ли в работе характеристики используемого хитозана – высокомолекулярный или низкомолекулярный и его источник?
2. Вы проводили восстановление редокс-активного полимера на основе хитозана боргидридом. Растворы хитозана устойчивы и не выпадают в осадок при pH до примерно 6,2, а восстановление боргидридом проводится при pH=9. Прокомментируйте, пожалуйста.
3. Поясните, пожалуйста, технологию послойной иммобилизации, используемую в работе.
4. По вашим данным получается, что микроорганизмы в активном иле менее устойчивы, чем монокультуры. Вы как-то можете это объяснить? Вы брали именно активный ил или микрофлору из него?
5. Скажите, пожалуйста, вы предлагаете каким-то образом готовить культуры или ассоциации, которые Вы дальше будете использовать для биосенсора? Как вы гарантируете продолжительность работы иммобилизованных клеток?
6. Можно ли использовать биосенсор для определения показателей БПК в природных водах?
7. Внесен ли Ваш прибор в реестр средств измерений? И если да, то для каких типов вод?
8. Отличались ли образцы, которые вы анализировали с использованием биосенсора или это просто повторы? Чем они отличались по составу?
9. Вы считали коэффициент корреляции R или R<sup>2</sup>? Какой смысл в четвертом знаке коэффициента корреляции?
10. Чем объясняется близкое время работы биосенсоров на основе хитозана и на основе поливинилового спирта сшитого, при том, что у них разная чувствительность?
11. Каким методом вы охарактеризовали полученные гели?
12. Что такое параметр повторяемости?
13. Что Вы рекомендуете при измерении БПК порядка 1000 мг/л и более? На некоторых биотехнологических предприятиях значение БПК может быть более тысячи мг/л.
14. Какая примерно стоимость разработанного с вашим участием прибора?
15. Проводили ли вы какие-то сверки своих данных? Если проводили, то с кем?
16. Как изменяются выбранные вами два микроорганизма при взаимодействии с другими организмами разных категорий, которые присутствуют в активном иле?
17. Скажите, пожалуйста, преимущества Вашей методики перед имеющимися коммерческими продуктами?

Соискатель В.А. Арляпов ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

*С первым замечанием автор в целом согласился, отметив при этом, что характеристики хитозана представлены в диссертационной работе. Со вторым замечанием автор в целом согласился, отметив при этом, что в кислой среде реакция сшивки карбонильной группы и аминокетильной группы идет плохо, так как аминокетильные группы протонированы, что подтверждается результатами работы. С третьим замечанием автор в целом согласился, отметив при этом, что каждый слой микроорганизмов наносили поочередно на предыдущий. С четвертым замечанием автор в целом согласился, отметив при этом, что состав микроорганизмов активного ила относительно устойчив в аэротенке, но может значительно меняться при иммобилизации биоматериала и работе в рецепторной системе. С пятым замечанием автор в целом согласился, отметив при этом, что конечному потребителю предполагается поставлять готовые рецепторные элементы, то есть*

