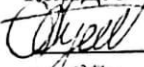


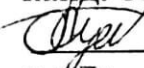
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Факультет биологический  
Кафедра генетики, микробиологии и биохимии

Допустить к защите  
Заведующий кафедрой  
канд. биол. наук, доцент

 А. А. Худокормов  
«05» июня 2020 г.

Руководитель ООП  
канд. биол. наук, доцент

 А. А. Худокормов  
«05» июня 2020 г.

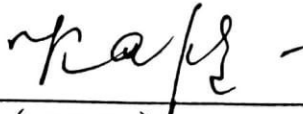
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)


МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
МОРФОГЕНЕЗА И ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИЙ-  
ДЕСТРУКТОРОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Работу выполнил  Р. Ю. Селимов  
(подпись)

Направление подготовки 06.04.01 Биология  
(код, наименование)

Направленность (профиль) Микробиология

Научный руководитель  
канд. биол. наук,  
профессор  Э. В. Карасева  
(подпись)

Нормоконтролёр  
доцент, канд. биол. наук  А. А. Самков  
(подпись)

Краснодар  
2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 112 с., 36 рис., 1 табл., 61 источник, 4 прил.

НЕФТЕОКИСЛЯЮЩИЕ БАКТЕРИИ, МОРФОГЕНЕЗ БАКТЕРИЙ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, НЕФТЯНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, БИОРЕМЕДИАЦИЯ.

Объектами исследования послужили нефтезагрязненный грунт нефтебазы «Тихорецкая» и бактериальные штаммы *Arthrobacter globiformis* AC1112, *Gordonia alkanivorans* K9.

Цель работы – создание комплексной математической модели морфогенетического развития и учета влияния количества биогенных элементов в среде нефтешлама на рост коринеформных бактерий родов *Arthrobacter* и *Gordonia* в процессе очистки от нефтяных загрязнений на примере штаммов *A. globiformis* AC1112 и *G. alkanivorans* K9.

В рамках данной работы проводились исследования по изучению морфологии клеток штаммов *A. globiformis* AC1112 и *G. alkanivorans* K9 с использованием метода фазово-контрастного микроскопирования и микрометрии, при помощи показаний фотоэлектроколориметра построены кривые роста исследуемых микроорганизмов в различных температурных условиях культивирования. Проанализирована динамика показателей в процессе роста исследуемых микроорганизмов в нефтешламе, установлена ее зависимость от количества вносимых биогенных элементов и концентрации углеводов нефти.

В результате исследования создана математическая модель, а на базе последней – программное обеспечение для визуального представления вычисляемых данных. Сравнение реальных данных с расчетными показало приемлемый уровень адекватности созданной модели.

## СОДЕРЖАНИЕ

Перечень сокращений и обозначений .....	5
Введение .....	6
1 Аналитический обзор .....	8
1.1 Практическое значение коринеформных бактерий .....	8
1.2 Биологическая характеристика родов <i>Arthrobacter</i> и <i>Gordonia</i> .....	8
1.3 Математическое моделирование в микробиологии .....	11
1.3.1 Математические модели микроорганизмов .....	11
1.3.2 Роль программных средств в микробиологии .....	15
2 Материал и методы исследования .....	17
2.1 Объект исследования .....	17
2.2 Методы исследования .....	17
2.2.1 Фазово-контрастная микроскопия.....	17
2.2.2 Метод микрометрии .....	18
2.2.3 Фотоэлектроколориметрия .....	18
2.2.4 Препарат «раздавленная капля» .....	18
2.2.5 Определение соотношений форм клеток .....	19
2.2.6 Метод математических моделей.....	19
2.3 Используемые микробиологические среды и их состав.....	19
2.4 Среда разработки программного обеспечения.....	20
3 Математическое моделирование морфогенеза и динамики численности бактерий-деструкторов при ликвидации нефтяных загрязнений.....	21
3.1 Исследование цикла роста и развития исследуемых штаммов .....	21
3.2 Описание цикла роста и развития исследуемых штаммов .....	21
3.3 Установление соответствия реальных и теоретических форм клеток..	22
3.4 Описание математической модели морфогенетического развития бактерий <i>A. globiformis</i> и <i>G. alkanivorans</i> .....	25
3.5 Определение зависимости скорости протекания морфогенетического цикла развития микроорганизмов от температуры среды .....	29

3.6	Определение зависимости роста микроорганизмов от концентрации углеводов нефти и содержания биогенных элементов в среде нефтешлама .....	31
3.7	Итоговая формула модели .....	33
3.8	Расчет уравнений математической модели .....	34
3.8.1	Расчет уравнений модели для морфогенеза микроорганизмов .....	34
3.8.2	Расчет уравнений модели для определения температурной зависимости роста микроорганизмов .....	42
3.8.2.1	Расчет уравнений модели для определения температурной зависимости роста <i>A. globiformis</i> .....	42
3.8.2.2	Расчет уравнений модели для определения температурной зависимости роста <i>G. alkanivorans</i> .....	43
3.8.3	Расчет уравнений модели для определения коэффициента зависимости роста микроорганизмов от концентрации углеводов нефти и биогенных элементов в среде нефтешлама .....	43
3.9	Программный комплекс для имитации морфогенетического развития исследуемых микроорганизмов .....	47
3.10	Верификация математической модели .....	49
	Заключение .....	53
	Список использованных источников .....	54
	Приложение А Экспериментальные данные .....	62
	Приложение Б Данные промежуточных вычислений .....	72
	Приложение В Графики аппроксимации функций .....	81
	Приложение Г Исходный код программного комплекса на языке C++ .....	86

## О Т З Ы В

на выпускную квалификационную работу магистра, студента 2 курса кафедры генетики, микробиологии и биохимии ОФО биологического факультета Кубанского государственного университета  
Селимова Р. Ю. "Математическое моделирование морфогенеза и динамики численности бактерий-деструкторов при ликвидации нефтяных загрязнений"

Актинобактерии представляют собой уникальную группу микроорганизмов, широко распространенных в природе, которые способны утилизировать самые разнообразные вещества, включая нефть и нефтепродукты, полициклические ароматические соединения, смолы и пр. В силу особенностей и многообразия путей обмена веществ они способны также к выработке многочисленных ферментов и продуктов метаболизма. Все это делает их перспективными для практического использования в различных областях биотехнологии и охраны окружающей среды. Благодаря этому биология наиболее ярких представителей актинобактерий, таких как артробактерии и гордонии, в последнее время находится в центре внимания исследователей. В то же время опытно-промышленное культивирование этих микроорганизмов связано со значительными трудностями в силу особенностей их морфологического цикла развития, когда в течение онтогенеза клетки меняют свои формы, размеры и объемы. Математическое моделирование этого процесса значительно облегчает работу исследователей, которым не придется осуществлять многотрудный эксперимент, для перехода к опытному культивированию.

Автором проделана длительная экспериментальная работа по изучению циклов развития двух штаммов актинобактерий на плотных и жидких средах различного состава, рассчитаны объемы клеток в различные периоды их культивирования и созданы кривые роста этих штаммов на основании прироста биомассы в процессе культивирования микроорганизмов, а также изучены влияние температурных условий среды на скорость морфогенеза и зависимость роста от концентрации углеводов и количества биогенных элементов в среде нефтешлама. На основе экспериментальных данных построена математическая модель и создана компьютерная программа, которая обеспечит

возможность будущим исследователям избежать мучительных предварительных экспериментов при работе с данными микроорганизмами. Сопоставление модельных и натуральных результатов показывает, что предложенная модель в целом верно (качественно и количественно) описывает процессы роста, деления, искривления и ветвления клеток. Работа выполнена совершенно самостоятельно.

В целом, выпускная работа Р. Ю. Селимова может рассматриваться как серьезное исследование, полностью отвечающее предъявляемым к таким работам требованиям. ВКР Р. Ю. Селимова может быть рекомендована к публикации в центральных журналах и внедрению.

Научный руководитель, проф.  
кафедры генетики, микробиологии  
и биохимии биологического  
факультета КубГУ, к.б.н



Э.В. Карасева

## РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу (магистерскую диссертацию) Селимова Р.Ю., студента 2 курса магистратуры биологического факультета Кубанского государственного университета, направление 06.04.01 Биология на тему «Математическое моделирование морфогенеза и динамики изменения концентрации бактерий-деструкторов при ликвидации нефтяных загрязнений»

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) Селимова Р.Ю. направлена на изучение морфогенетического цикла развития микроорганизмов в процессе биологической очистки от нефтяных загрязнений, с учетом вносимых биогенных элементов и температуры среды. Созданная математическая модель дает широкое представление о процессе роста и развития изученных в рамках работы коринеформных бактерий, с учетом внешних условий и вводных данных. Высокий биотехнологический потенциал исследуемых микроорганизмов указывает на актуальность работы.

Рецензируемая работа изложена грамотным научным языком, иллюстрирована рисунками и таблицами. Анализ литературных данных, основанный на отечественных и зарубежных источниках, помог автору дать современное представление о состоянии исследований в сфере математического моделирования микроорганизмов, на основании которых были поставлены цели и задачи. Методы, используемые в работе, являются актуальными для поставленных задач. Выводы адекватно отражают полученные результаты.

В процессе работы над магистерской диссертацией поставленные цели и задачи были достигнуты. Рецензируемая работа Селимова Р.Ю. соответствует всем требованиям и заслуживает положительной оценки.

доцент кафедры биотехнологии,  
биохимии и биофизики ФГБОУ  
ВО Кубанский ГАУ, канд. биол. наук



С.А. Волкова

# Отчет о проверке на заимствования №1

Селимов



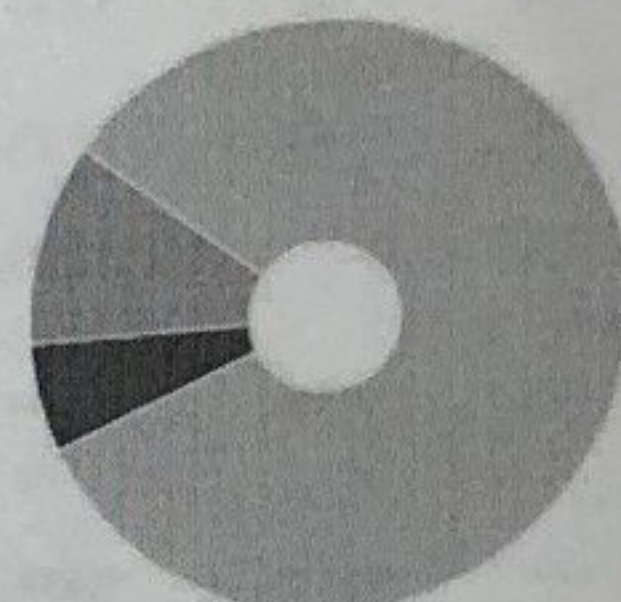
Автор: user 0 7 genetic@bio.kubsu.ru / ID: 179  
 Проверяющий: user 0 7 (genetic@bio.kubsu.ru / ID: 179)  
 Организация: Кубанский Государственный университет  
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- <http://kubsu.antiplagiat.ru>

## ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

№ документа: 932  
 Начало загрузки: 25.06.2020 09:25:04  
 Длительность загрузки: 00:00:49  
 Имя исходного файла: Селимов Р. Ю.  
 Микробиология.docx  
 Название документа: Селимов Р.Ю.  
 Математическое моделирование морфогенеза и динамики численности бактерий-деструкторов при ликвидации нефтяных загрязнений  
 Размер текста: 1 кБ  
 Тип документа: Магистерская диссертация  
 Символов в тексте: 124126  
 Слов в тексте: 13251  
 Число предложений: 1025

Последний готовый отчет (ред.)  
 Начало проверки: 25.06.2020 09:25:53  
 Длительность проверки: 00:00:24  
 Комментарии: не указано  
 Модули поиска: Коллекция eLIBRARY.RU, Модуль поиска общеупотребительных выражений, Модуль поиска "КубГУ", Коллекция РГБ, Модуль поиска переводных заимствований, Модуль поиска Интернет, Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU, Коллекция ГАРАНТ, Модуль выделения библиографических записей, Сводная коллекция ЭБС, Кольцо вузов, Модуль поиска ИПС "Адилет", Модуль поиска переводных заимствований по elibrary (EnRu), Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu), Коллекция Медицина, Модуль поиска перефразирований Интернет, Коллекция Патенты



**ЗАИМСТВОВАНИЯ**  
6,26%

**САМОЦИТИРОВАНИЯ**  
0%

**ЦИТИРОВАНИЯ**  
10,8%

**ОРИГИНАЛЬНОСТЬ**  
82,94%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.  
 Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.  
 Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.  
 Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.  
 Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.  
 Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.  
 Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.  
 Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	10,35%	10,35%	не указано	не указано	раньше 2011	Модуль выделения библиографических записей	1	1
[02]	0,93%	2,96%	pdf	<a href="http://massey.ac.nz">http://massey.ac.nz</a>	12 Апр 2017	Модуль поиска Интернет	9	36
[03]	0%	2,94%	Асимптотический алгоритм ...	не указано	26 Июнь 2019	Кольцо вузов	0	37
[04]	0%	2,83%	2016ВКР081118СОКОЛОВ.d...	не указано	26 Мая 2016	Кольцо вузов	0	30
[05]	0,19%	2,69%	ВКР_с_тремя_страницами-ск...	не указано	07 Июнь 2019	Кольцо вузов	6	32
[06]	0,61%	2,64%	zubkov_a_yu_realizaciya-prog...	не указано	15 Мая 2018	Кольцо вузов	6	26
[07]	0,13%	2,64%	Программный комплекс тес...	не указано	19 Июнь 2017	Кольцо вузов	2	35
[08]	0,07%	2,6%	09.03.01_Сердюков KA.docx	не указано	24 Июнь 2018	Кольцо вузов	1	31
[09]	0,26%	2,56%	Юргаев, Дмитрий Андрееви...	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Коллекция РГБ	5	36
[10]	0,24%	2,54%	Курсовая.Программирован...	<a href="http://studfiles.ru">http://studfiles.ru</a>	раньше 2011	Модуль поиска Интернет	6	35
[11]	0,24%	2,52%	Программа графического от...	<a href="http://library.eltech.ru">http://library.eltech.ru</a>	19 Сен 2019	Модуль поиска Интернет	2	26
[12]	0,34%	2,49%	QT开发之FTP - CSDN博客	<a href="http://blog.csdn.net">http://blog.csdn.net</a>	05 Апр 2018	Модуль поиска Интернет	2	28
[13]	0,21%	2,49%	<a href="http://library.eltech.ru/files/vk...">http://library.eltech.ru/files/vk...</a>	<a href="http://library.eltech.ru">http://library.eltech.ru</a>	18 Мая 2019	Модуль поиска Интернет	2	29