

НАУКА



ЭЛЕКТРОННЫЙ
НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

№1 (2) | 2018

ОБЩИЕ И КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТОЧНЫХ НАУК

[HTTP://JOURNAL-NO.ULSPU.RU/](http://journal-no.ulspu.ru/)

Редакционная коллегия

Главный редактор – Фёдорова Екатерина Александровна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Артемьева Елена Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры географии и экологии Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Демин Максим Викторович, кандидат физико-математических наук, директор департамента по научной работе Балтийского федерального университета им. И. Канта, г. Калининград

Идрисов Ринат Галимович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического моделирования Стерлитамакского филиала ФГБОУ ВО "Башкирский государственный университет"

Капитанчук Василий Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Ульяновского института гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева

Медетов Нурлан Амирович, доктор физико-математических наук, декан факультета информационных технологий Костанайского государственного университета им.А.Байтурсынова, г.Костанай, республика Казахстан

Пестова Наталия Юрьевна, кандидат химических наук, доцент кафедры биологии и химии Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Пырова Светлана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии и химии Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Федоров Владимир Николаевич, кандидат географических наук, доцент, декан естественно-географического факультета Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Цыганов Андрей Владимирович, кандидат физико – математических наук, заведующий научно - исследовательской лабораторией математического моделирования, доцент кафедры высшей математики Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Червон Сергей Викторович, доктор физико – математических наук, профессор кафедры физики и технических дисциплин Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Шишкарев Виктор Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры физики и технических дисциплин Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

Шубович Валерий Геннадьевич, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, заведующий кафедрой информатики, профессор кафедры информатики Ульяновского государственного педагогического университета имени И.Н.Ульянова

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ	4
<u>Киселев В. С.</u> Пищевые токсикоинфекции у студентов высших учебных заведений г. Ульяновска,	4
<u>Мищенко А. В.</u> Молекулярно-генетическое исследование ценопопуляций пиона тонколистного (<i>Paeonia tenuifolia</i> L.) в Ульяновской области	14
НАУКИ О ЗЕМЛЕ	22
<u>Фролов Д. А.</u> Итоги флористических исследований проекта Ульяновского отделения русского географического общества «Реки Ульяновской области»	22
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ	37
<u>Исаков Е. В.,</u> <u>Грошева Т. Д.</u> Санберри: особенности выращивания в Ульяновской области	37
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ	46
<u>Соловьева Е. Н.,</u> <u>Пестова Н. Ю.</u> Экспресс - методы анализа металлов: разработка реагентных химических тест-систем	46
Федотова И. В., Федорова С. В., Мищенко А.В. К состоянию питьевой воды, подающейся в правобережную часть г.Ульяновска за период: 2012-2017 гг.	55
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ	64
<u>Алтунин К.К.</u> Электропроводность тонких плёнок	64
<u>Алтунин К.К.</u> Исследование электронного образовательного ресурса по теме "Фотоэффект" в системе дистанционного обучения MOODLE	95
<u>Глухова Н.В.</u> Математическое моделирование систем массового обслуживания: методика принятия управленческих решений с помощью модели	100
<u>Лушников Ю.О.</u> Подход к решению олимпиадной задачи о состоянии идеального газа в системе двух одинаковых цилиндрических сосудов, соединённых трубками с краном.....	116
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	127
<u>Каренин А.А.</u> Использование нейронной сети для расчета энергетической и термической стабильности двумерных супракристаллических структур	127

Биологические науки

УДК 614.1

ББК 55.141

Пищевые токсикоинфекции у студентов высших учебных заведений

г. Ульяновска

Киселев Виктор Сергеевич,

кандидат медицинских наук, доцент кафедры биологии человека и основ медицинских знаний, Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н Ульянова,
г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Рассматривается состояние заболеваемости пищевыми токсикоинфекциями (ПТИ) среди студентов высших учебных заведений (ВУЗ) г. Ульяновска с 2007 по 2016 год. Изучение вопроса проводилось по четырем ВУЗ, статистические данные взяты в Студенческой поликлинике г. Ульяновска, где проводится регистрация больных студентов. Подчеркивается актуальность и важность места заболевания в состоянии общего здоровья студентов, что отражается на уровне образовательного процесса. Сравняется заболеваемость студентов ПТИ по ВУЗ, курсам обучения, по месту проживания студентов, по полу, изучается сезонность болезни. По результатам выше указанных исследований сделаны определенные выводы, где определены лидирующие ВУЗ по заболеваемости ПТИ, выделены лидирующие курсы, определены доли больных по половой принадлежности и месту проживания. Представленные данные исследований требуют дальнейшего изучения.

Ключевые слова: заболеваемость, пищевые токсикоинфекции, сезонность, высшие учебные заведения, общежитие, доля, тенденция.

На сегодняшний день пищевые отравления, как микробного, так и немикробного происхождения являются, достаточно актуальной проблемой. Ежегодно десятки тысяч людей попадают в лечебные учреждения, где им выставляется диагноз «Пищевое отравление», но без преувеличения можно сказать, что гораздо больше количество людей не обращается за помощью в лечебные учреждения и поэтому как бы выпадают из поля зрения статистики. Говоря о пищевом отравлении, обычно подразумевают острое состояние, расстройство пищеварения, связанное с употреблением ядовитых или некачественных продуктов. В настоящее время массовые вспышки пищевых отравление встречаются не так часто. Чаще отравления носят семейный или одиночный характер. Чаще всего пищевыми отравлениями страдает молодежь, а именно студенты, т.к. они больше всего питаются готовой продукцией, которая является рекордсменом по количеству отравлений. К такой продукции относят разнообразные готовые салаты, являющиеся вместилищем многих патогенных микроорганизмов, таких как кишечная палочка, сальмонелла, стафилококки. Также проблема пищевых отравлений непрерывно связана с учебным процессом и успеваемостью студентов ВУЗ и других образовательных учреждений.

Цель исследования – дать оценку состояния заболеваемости пищевыми токсикоинфекциями среди студентов ВУЗ г. Ульяновска.

Для достижения цели исследования необходимо решение 2-х задач:

1. Изучить сравнительную заболеваемость ПТИ студентов между ВУЗ г. Ульяновска.
2. Дать эпидемиологическую характеристику заболеваемости ПТИ студентов ВУЗ.

Пищевые отравления – это в большинстве случаев острые заболевания, связанные с употреблением пищи, инфицированной специфическими микроорганизмами и их токсинами, или содержащей ядовитые для организма

вещества немикробного происхождения. Основными признаками отравлений, разных по этиологии, патогенезу и клинической картине, являются, в основном, краткосрочный латентный период, внезапное начало, довольно быстрое течение с явлениями общей интоксикации и расстройствами желудочно-кишечного тракта, единовременное заболевание многочисленной группы людей, употребляющих одну и ту же пищу, неконтагиозность, резкое прекращение вспышки после устранения источника ее возникновения.

Реально микробное заражение может охватывать все без исключения продукты питания и возможно на любой стадии их продвижения от места получения до потребителя. Проникновение возбудителя в пищевые продукты непосредственно связано со вторым этапом – пребыванием возбудителя в продуктах. Продукты питания часто служат субстратом, в котором идет процесс накопления некоторых возбудителей. Это важно, так как для возникновения клинически выраженного поражения нужна определенная заражающая доза. Вместе с тем, первоначальная массивность инфицирования пищи обычно бывает меньше минимально заражающей дозы. Достижение указанной дозы возможно только за счет накопления возбудителя в продуктах питания и зависит от целого ряда условий [Горшков А.И.1987].

Возбудителями пищевых токсикоинфекций являются разнообразные условно-патогенные бактерии — *Escherichiacoli*, *Clostridiumperfringens*, *Bacilluscereus*, некоторые виды протей, клебсиелл, вибрионов, энтерококков и др.; возбудителями интоксикаций являются *Clostridiumbotulinum*, стафилококки, некоторые грибы [Румянцев Г.И. 1985].

Острые пищевые токсикоинфекции - заболевания, встречающиеся глобально. заболевают ими люди различных возрастов. Чувствительность рознится и обуславливается дозой возбудителя, иммунного статуса человека, употребившего зараженные продукты. Уровень заболеваемости возрастает в теплое время года, что связано положительными условиями для партеногенеза микробов в продуктах [Голубев В.В. 2011].

Материалы и методы. Для проведения исследований использовался материал регистрации заболеваемости пищевыми интоксикациями среди студентов высших учебных заведений г. Ульяновска:

- 1). Ульяновский государственный педагогический университет (УГПУ);
- 2). Ульяновский государственный технический университет (УГТУ);
- 3). Ульяновский государственный университет (УлГУ);
- 4). Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия (УГСХА).

Данная регистрация проводилась в Студенческой поликлинике г. Ульяновска в 2007 по 1016 год при обращении студентов за медицинской помощью в официальной отчетной форме: журнал Формы № 060/У «Журнал учета инфекционных заболеваний» Утвержденная Приказом Минздрава СССР от 04-10-80 № 1030 (ред. от 31.12. 2002) об Утверждении форм первичной медицинской документации.

В работе применялись: абсолютные величины, интенсивные показатели (показатели частоты), экстенсивные показатели (показатели структуры), а также вычислялись среднемноголетние уровни (СМУ) (Каспарова Т.Ю.1988).

Результаты исследований: оценка общей динамики заболеваемости ПТИ среди студентов ВУЗ г. Ульяновска показала (рис.1), что наметилась незначительная тенденция к снижению, на фоне резкого колебания уровня. Самая высокая заболеваемость отмечалась в 2011 г., самая низкая в 2015 г., после чего произошел резкий рост в 2016 г. почти в 2 раза.

Особый интерес представляют уровни заболеваемости по ВУЗ (рис. 2), где 7 лет из 10 лидирует УГПУ, что объясняет значительное преимущество среди студентов женского контингента. Остальные 3 года лидировал УлГУ, где значительный рост ПТИ в 2016 г. обеспечил общий высокий уровень. Самая низкая заболеваемость ПТИ среди студентов ежегодно отмечается в УСХА.

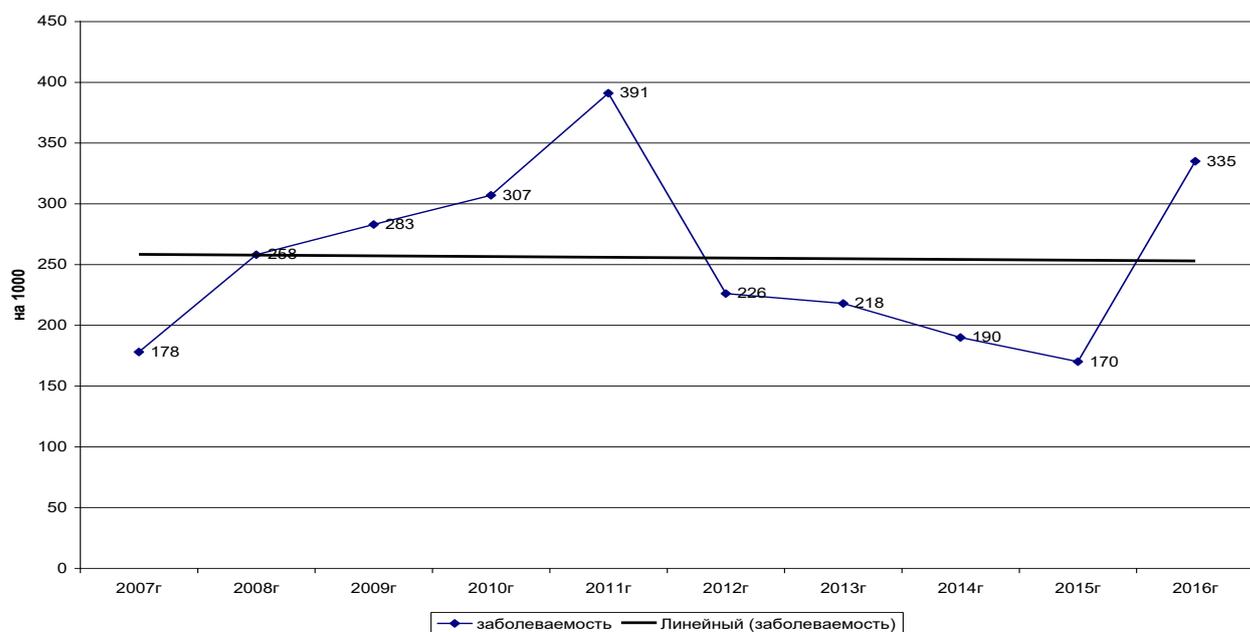


Рис. 1 Заболеваемость ПТИ и ее тенденция среди студентов ВУЗ г. Ульяновска

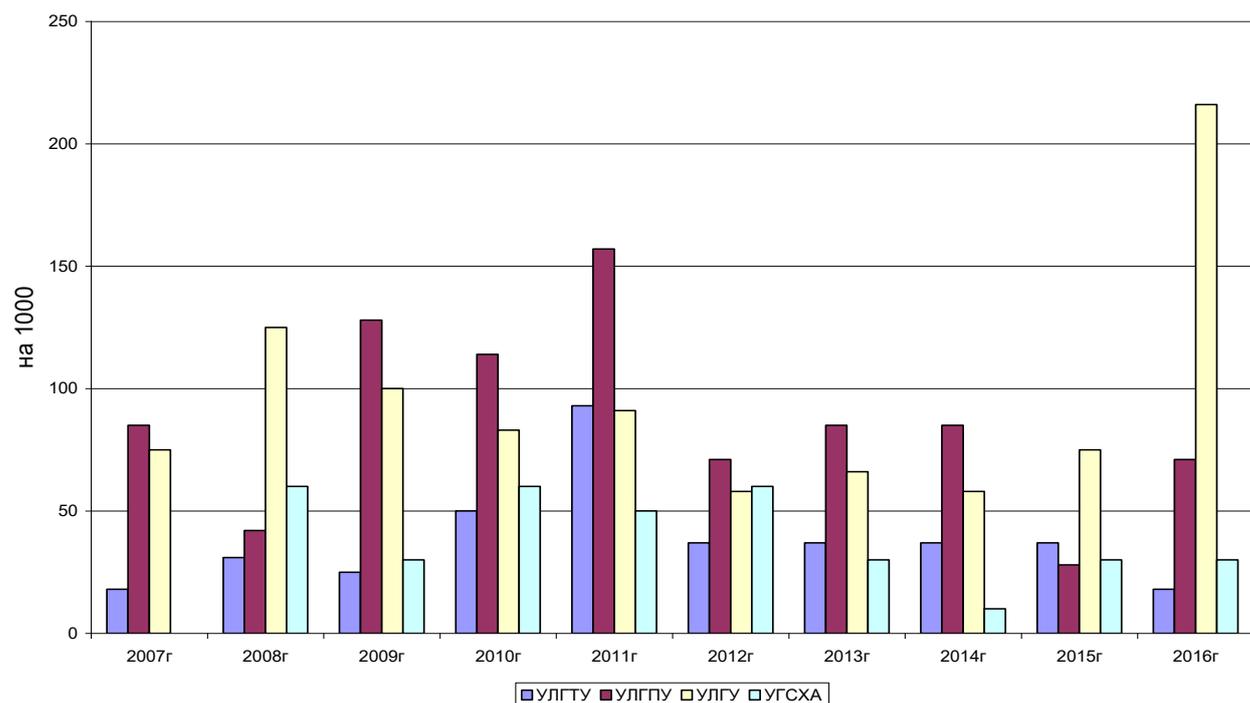


Рис.2 Заболеваемость ПТИ студентов по ВУЗ г. Ульяновска

Общая оценка заболеваемости ПТИ студентов за 10 лет показала (рис. 3), что самый высокий уровень отмечен среди студентов УЛГУ, на что повлиял рост болезни в последние 2 года.

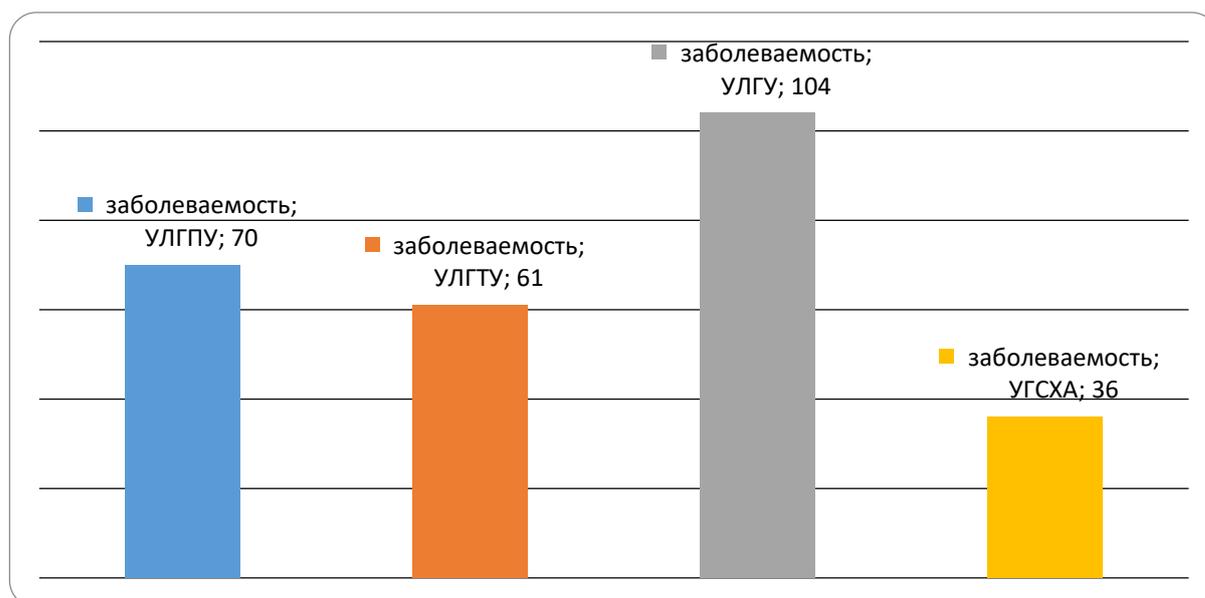


Рис. 3 Заболеваемость ПТИ среди студентов ВУЗ г. Ульяновска за 2007-2016 годы (на 1 000)

Была проведена оценка сезонности общей заболеваемости ПТИ студентов ВУЗ (рис. 4), и установлено, что самый низкий среднегодовой уровень (СМУ) заболеваемости приходится во время обучения на период экзаменационных сессий (декабрь, январь, июнь), в остальные месяцы заболеваемость распространена равномерно.

При оценке сезонности заболеваемости по каждому ВУЗ, выяснились особенности распределения (рис. 5), так весь осенний семестр лидирует УлГУ, его лидерство отмечено и весной. Второе место во втором семестре принадлежит УГТУ, а в первом семестре УГПУ.

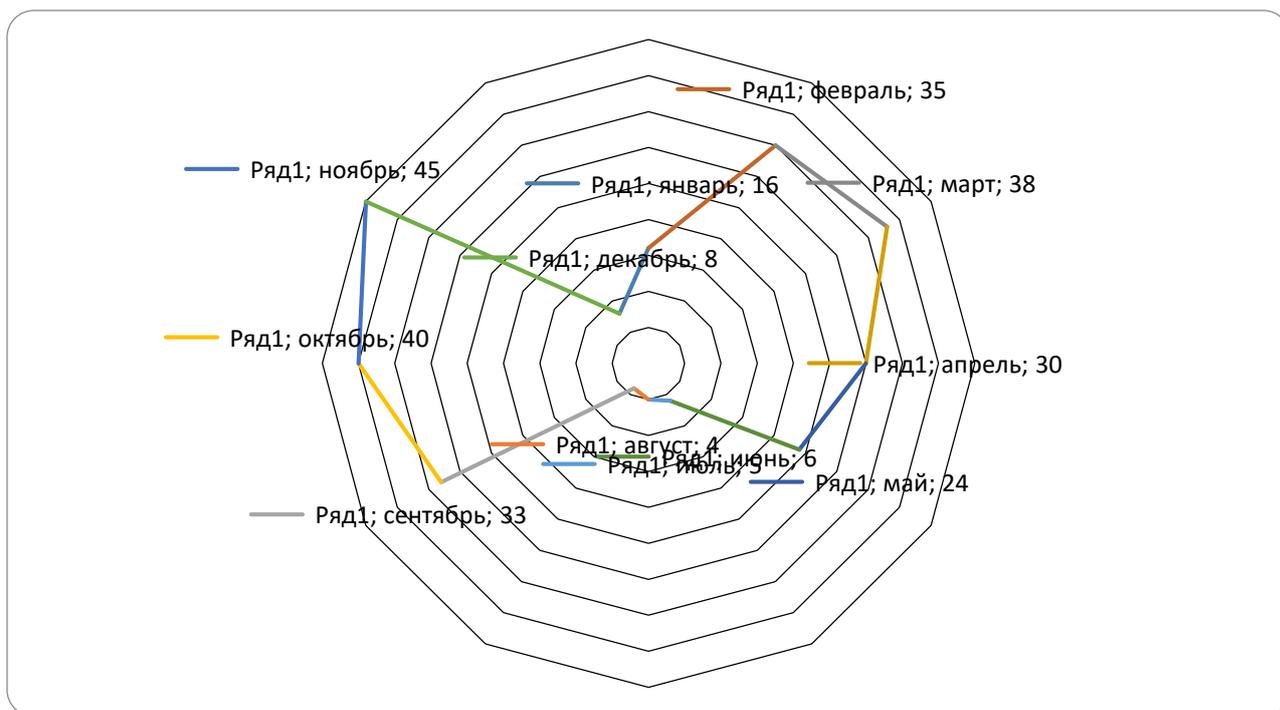


Рис. 4 Сезонность заболеваемости ПТИ (СМУ) студентов высших учебных заведений г.Ульяновска (абс. число)

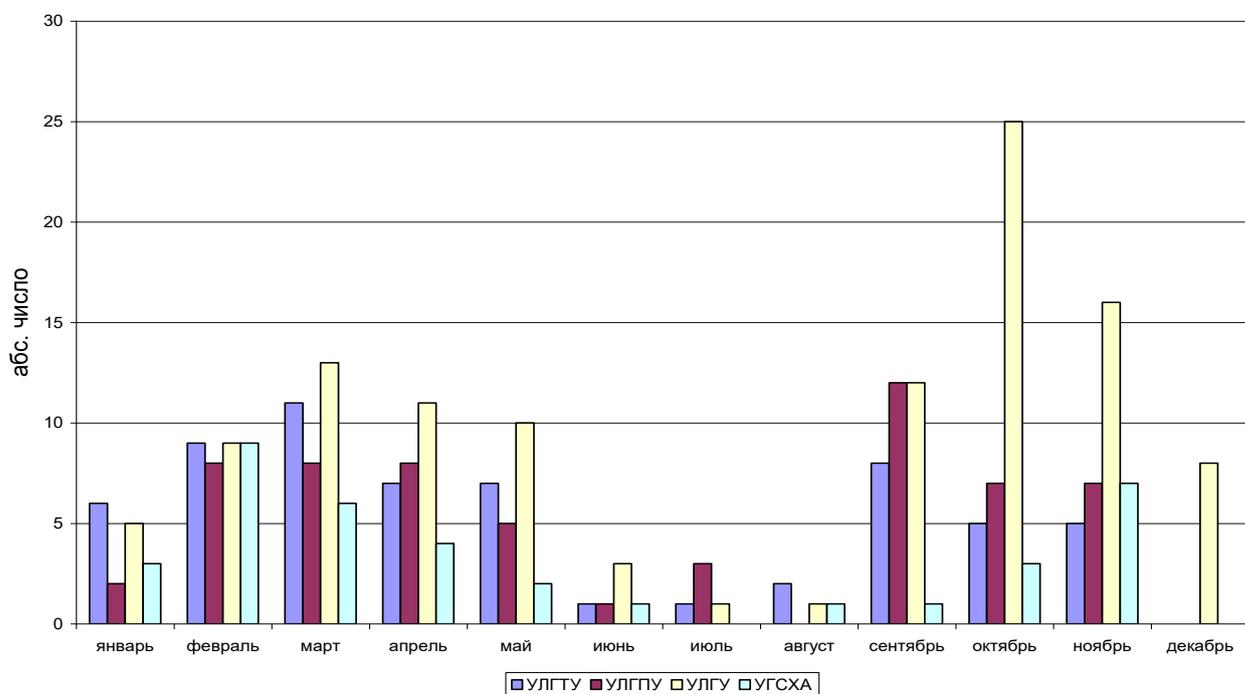


Рис. 5 Сезонная заболеваемость (СМУ) ПТИ среди студентов ВУЗ г. Ульяновска

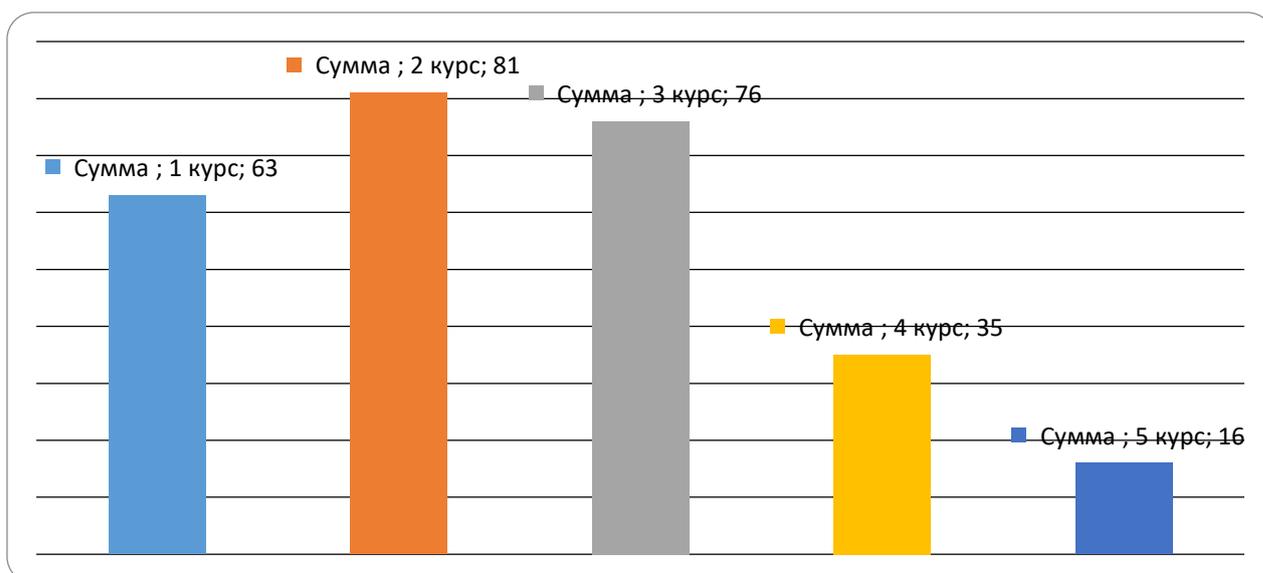


Рис. 6 Структура заболеваемости ПТИ по курсам высших учебных заведений за 2007г-2016 годы (абс. число)

Было исследовано распределение заболеваемости ПТИ среди студентов по курсам обучения (рис. 6), которое показало, что преимущественно болеют студенты первых 3-х курсов, но особенно часто заболевают студенты 2 и 3 курса, на их долю приходится 58% от общего числа заболевших. Аналогичные данные по каждому ВУЗ (рис.7), существенно не отличаются.

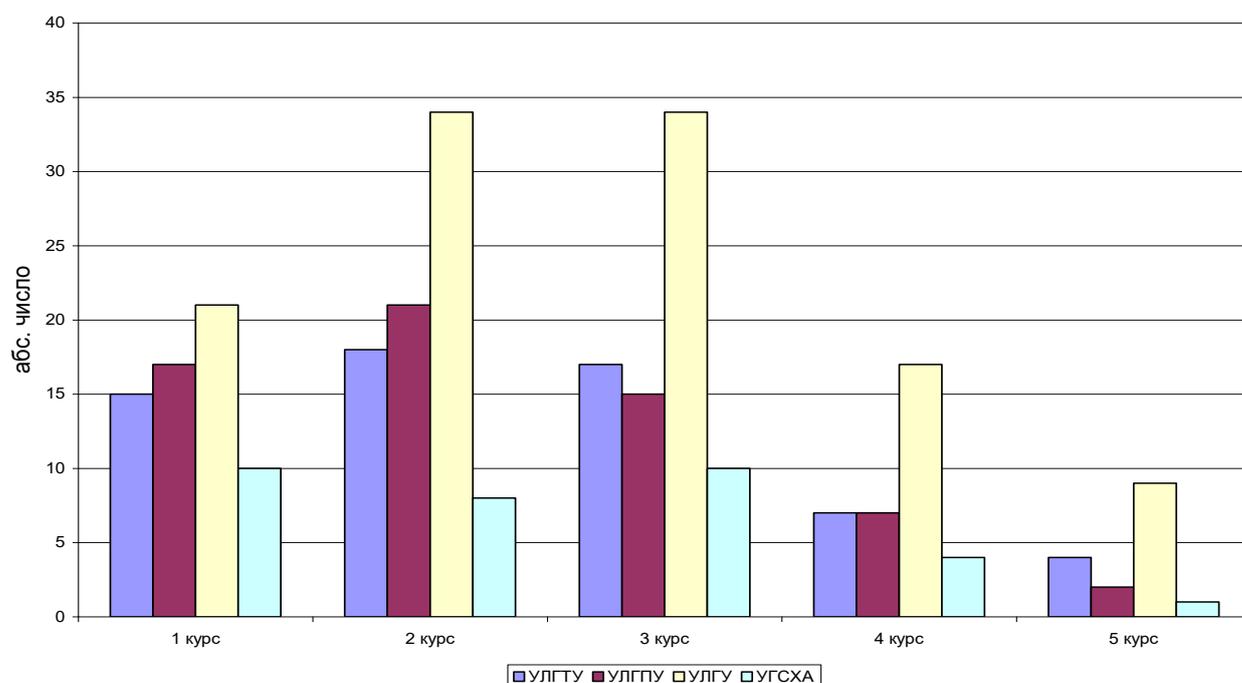


Рис. 7 Заболеваемость ПТИ студентов по курсам ВУЗ г.Ульяновска за 2007г-2016 годы

При рассмотрении данных по месту проживания студентов заболевших ПТИ, выяснилось, что 84% данного контингента проживают в домашних условиях, и 16% в общежитии. При оценке данного факта по ВУЗ (рис.8) видно, что наибольшее число больных это студенты УлГУ (93%) проживающие в домашних условиях, т.к. данный ВУЗ не имеет собственных общежитий, в отличие от других.

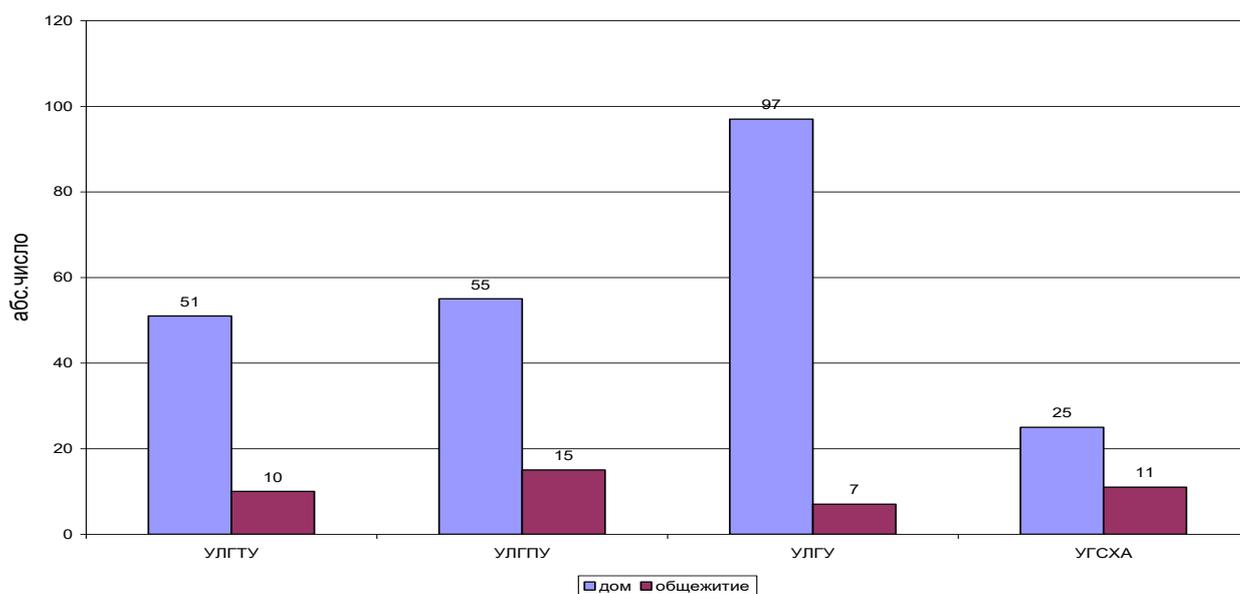


Рис. 8 Распределение больных ПТИ студентов ВУЗ по месту проживания за 2007-2016 годы

Так же проведено рассмотрение больных ПТИ студентов по половой принадлежности, и установлено, что 57% составляют женщины. При оценке данного вопроса по ВУЗ, видно (рис. 9), что в УГТУ преобладают мужчины.

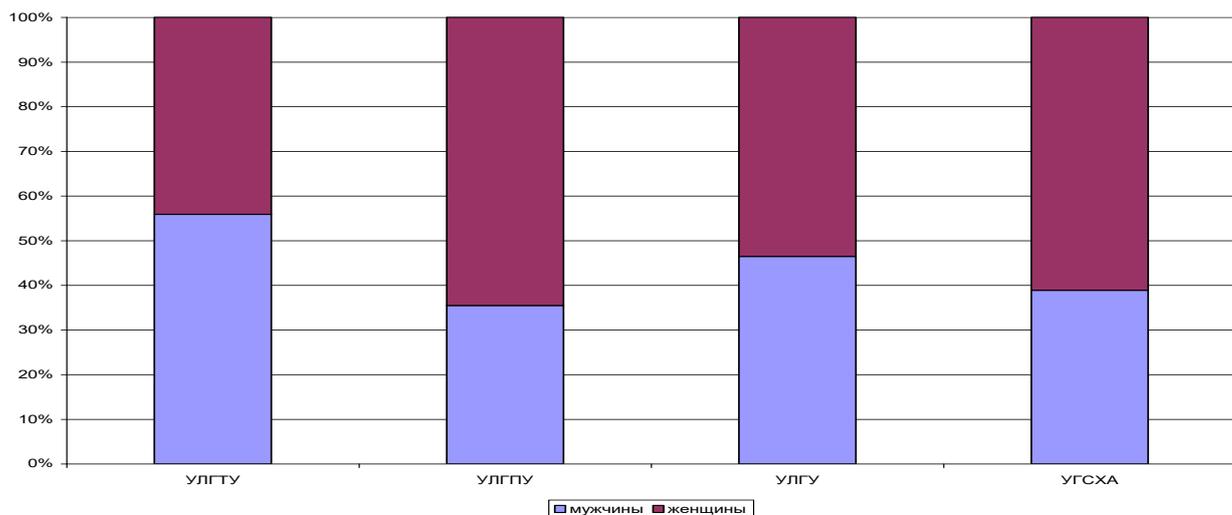


Рис. 9 Структура заболеваемости ПТИ по половой принадлежности по высшим учебным заведениям в период с 2007 по 2016 г.

ВЫВОДЫ

1. В заболеваемости ПТИ студентов ВУЗ г. Ульяновска в последние 10 лет наметилась тенденция к снижению.
2. Самый высокий уровень заболеваемости ПТИ отмечается среди студентов УлГУ, второе место занимает УГПУ.
3. Резкое снижение заболеваемости ПТИ происходит в ВУЗ во время экзаменационных сессий.
4. Наибольшее количество больных ПТИ студентов регистрируется среди 2 и 3 курса (58%), старшекурсники болеют реже.
5. Подавляющее число больных ПТИ студентов (84%) проживают в домашних условиях.
6. На долю женского студенческого контингента больных ПТИ приходится 57%.

Список литературы

1. Голубев В.В. Основы педиатрии и гигиены детей дошкольного возраста. М.: Академия, 2011.
2. Горшков А.И. Гигиена питания. - М.: Медицина, 1987.
3. Каспарова Т.Ю. Использование статистических методов в эпидемиологическом анализе. – М.: 1988.
4. Румянцев Г.И., Вишневская Е.П., Козева Т.А. Общая гигиена. М.: 1985.

УДК 577.2

ББК 28.04

Молекулярно-генетическое исследование ценопопуляций пиона тонколистного (*Paeonia tenuifolia* L.) в Ульяновской области

Мищенко Андрей Владимирович,

кандидат биологических наук, доцент кафедры географии и экологии
ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»

г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Сохранение флористического биоразнообразия – важнейшая проблема современности, которая должна решаться, прежде всего, на региональном уровне, так как от флористической уникальности регионов зависит общее состояние локальных экосистем и биосферы Земли в целом. Необходимой основой для этого является изучение редких и исчезающих видов растений на разных уровнях организации, создание региональных Красных книг и научно обоснованной сети особо охраняемых природных территорий разного ранга.

Ключевые слова: краснокнижные виды, молекулярно-генетические исследования, пион тонколистный.

Красная книга Ульяновской области по растениям первый раз была издана в 2005 году, и по закону Ульяновской области о Красной книге принятому Законодательным Собранием Ульяновской области было предусмотрено издание Красной книги Ульяновской области не реже одного раза в 10 лет [1, с. 1–220]. Для переиздания региональной Красной книги в течение десяти лет шло её ведение, которое включало: сбор и анализ данных об объектах растительного мира, мониторинг состояния объектов растительного мира, предложения о занесении в Красную книгу того или иного вида, подготовку и реализацию предложений по организации особо охраняемых природных территорий с целью сохранения охраняемых видов. Результаты проводимого фитомониторинга и ведения Красной книги Ульяновской области были отражены в публикациях материалов научных конференций, периодических изданий и монографий [2, с. 262–272; 3, с. 84–92; 4, с. 387–393; 5, с. 1–285]. В конце 2015 года региональная Красная книга была успешно переиздана. Во второе издание Красной книги в настоящее время включено 549 видов биоты региона. Среди них растения составляют 245 видов, грибы – 25 видов, лишайники – 33 вида, беспозвоночные животные – 156 видов и позвоночные животные – 90 видов.

Из 245 видов растений, охраняемых на территории Ульяновской области, 207 видов составляют покрытосеменные, 3 вида – голосеменные, 7 видов – папоротниковидные, 1 вид – хвощевидные, 4 вида – плауновидные и 23 вида – моховидные. Кроме того, в региональной Красной книге приведен белый список из 24 видов растений и животных, исчезнувших с территории области и список из 287 видов, нуждающихся в особом внимании. В белом списке сейчас 12 видов сосудистых растений (11 видов покрытосеменных и 1 вид – плауновидных) более 100 лет не обнаруживаемых в растительных сообществах региона.

К видам, требующим особого внимания отнесено 118 видов сосудистых растений (112 видов - покрытосеменных, 1 вид – голосеменных, 2 вида – папоротниковидных, 1 вид – хвощевидных и 2 вида – плауновидных). Эти

виды требуют особого внимания, так как они являются реальными кандидатами на включение в последующие издания Красной книги Ульяновской области при ухудшении условий обитания или выявлении тенденции снижения их численности.

В настоящее время учеными нашего региона ведется постоянный, планомерный и комплексный мониторинг за состоянием популяций редких и охраняемых видов, который включает молекулярно-генетические, ценопопуляционные и геоботанические исследования, позволяет оценить экологическое состояние видов на данном участке ареала, а также разработать действенные меры по их сохранению в настоящем и восстановлению в будущем.

Один таких видов, пион тонколистый (*Paeonia tenuifolia* L.) – редкое, уязвимое и охраняемое растение лесостепной и степной зоны Европейской России. Он образует крупные популяции в степных и лесостепных сообществах юга Ульяновской области, где находится на северо-восточной границе своего распространения. Несмотря на то, что он занесён в региональную и федеральную Красные книги, до сих пор специальных молекулярно-генетических исследований этого вида в условиях Приволжской возвышенности не проводилось. В то же время по данным многих исследователей на территории России и Приволжской возвышенности в последние десятилетия наблюдается сокращение его ареала из-за негативной хозяйственной деятельности человека [6, с. 15–27]. На территории Ульяновской области пион тонколистый встречается в Радищевском и Старокулаткинском районах, а также на востоке Павловского и на юге Новоспасского района (рис.1).

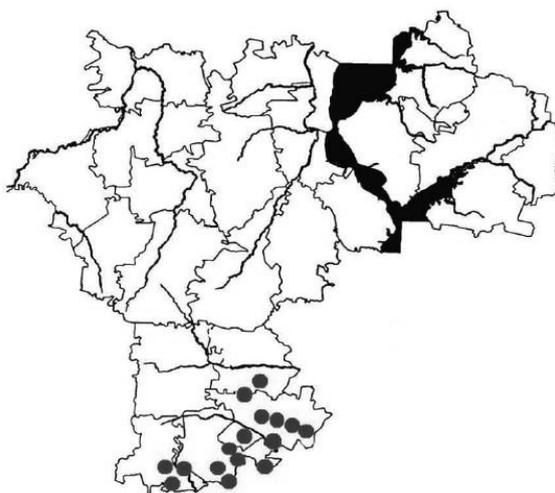


Рис. 1. Ареал распространения пиона тонколистного (*Paeonia tenuifolia* L.) на территории Ульяновской области.

Изучение ценопопуляций *Paeonia tenuifolia*, из которых в дальнейшем были взяты образцы для молекулярно-генетического анализа, показало, что они располагаются в составе кострцево-разнотравных, кострцево-тырсово-разнотравных и пионово-кострцево-разнотравных степей и примыкающих к ним участкам полянно-опушечных сообществ, то есть во взаимосвязанных между собой биоценозах, образующих единый ландшафтный комплекс – Приволжскую лесостепь.

Материалы и методы. Для молекулярно-генетических исследований в августе 2017 г. были взяты образцы пиона тонколистного из четырех популяций юга Ульяновской области:

1. Гора Вотлама (Большая Атмала) в 1,5 км к северо-западу от с. Средниково Радищевского района Ульяновской области. Кострцево-разнотравное полянно-опушечное сообщество.

2. Гора Малая Атмала в 1,8 км юго-восточнее с. Средниково Радищевского района Ульяновской области. Кострцево-разнотравная степь.

3. В 3,5 км юго-восточнее пос. Октябрьский Радищевского района Ульяновской области. Кострцево-тырсово-разнотравная степь.

4. В 2 км юго-западнее урочища Урусовка Радищевского района Ульяновской области. Пионово-кострцево-разнотравная луговая степь по склону северо-западной экспозиции.

Молекулярно-генетические исследования *Paeonia tenuifolia* включали следующие этапы: экстракцию ДНК из зелёных свежемороженых листьев растения; подбор оптимальных условий полимеразной цепной реакции (ПЦР) (концентрация растворов буфера, праймеров, dNTP, полимеразы, а также температурных условий проведения ПЦР); проведение полимеразной цепной реакции (ПЦР) с целью амплификации участка хлоропластного гена (матураза К); аналитический гель-электрофорез амплифицированных фрагментов ДНК с целью определения качества проведённой ПЦР; препаративный гель-электрофорез для разделения продуктов ПЦР-реакции и выбора интересующего фрагмента при сравнении с маркером длин; выделение из геля и очистка участка гена матуразы К; проведение сиквенсовой реакции с флюоресцентно-мечеными дезоксирибонуклеотидами (ddNTP) с последующей очисткой набора терминированных фрагментов; секвенирование полученного фрагмента гена матуразы К и получение последовательности нуклеотидов; биоинформационная обработка полученных сиквенсов с построением филогении для уточнения систематического положения вида растения.

Результаты исследования. Проведена экстракция ДНК из листьев 4х объектов *Paeonia tenuifolia* с помощью набора GeneJET Plant Genomic DNA Purification Kit, качество выделения проверено на спектрофотометре:

- образец № 1 - 66 мкг/мкл,
- образец № 2 – 68 мкг/мкл,
- образец № 3 – 56 мкг/мкл,
- образец № 4 – 87 мкг/мкл, все пробы ДНК пригодны для амплификации.

Проведена полимеразная цепная реакция на полученной матрице ДНК, качество ПЦР проверено на гель-электрофореze (для образцов № 1-4 получены фрагменты гена матуразы К длиной около 500 п.о.) Проведено секвенирование полученных амплифицированных фрагментов ДНК *Paeonia tenuifolia* и получены последовательности интересующего участка для объектов

исследования.

В результате секвенирования для 4 объектов *Paeonia tenuifolia* получены уникальные последовательности хлоропластного гена матураза К; коррективировка и анализ фрагментов проведена в программе Sequence Scanner 2 software (Life Technologies Corporation), выравнивание проведено с помощью программы ClustalW2, дерево построено по методу ближайших соседей в программе JalView (рис. 2). Для определения места *Paeonia tenuifolia* в филогенетическом древе рода проведено сравнение и выравнивание определённого нами участка хлоропластного гена с имеющимися в базе BOLD Systems и GenBank последовательностями рода *Paeonia*.

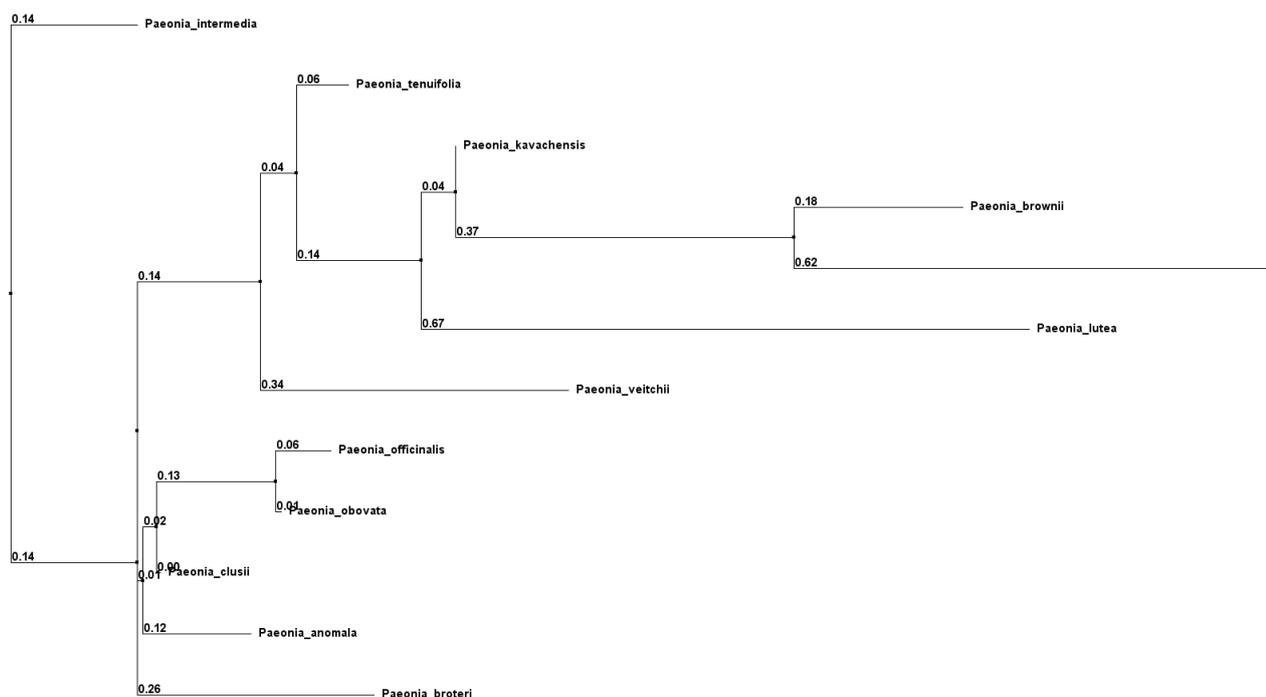


Рис. 2. Филогенетическое древо некоторых видов рода *Paeonia*, построенное после выравнивания последовательностей гена матураза К (в программе JalView).

Полученные последовательности хлоропластного гена матураза К из отобранных особей *Paeonia tenuifolia* достаточно однородны и показывают генетическую целостность и взаимосвязанность ценопопуляций пиона тонколистного, расположенных на северо-восточном участке ареала в

условиях Приволжской возвышенности и приуроченных к кострцово-разнотравным, кострцово-тырсово-разнотравным, пионово-кострцово-разнотравным степям и примыкающим к ним участкам полянно-опушечных сообществ.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-44-732017 «Разработка методов молекулярно-генетического скрининга жизнеспособности и наличия патогенов в клеточных культурах и коллекционных образцах редких и эндемичных видов растений Ульяновской области».

Список литературы

1. Красная книга Ульяновской области (растения) – Ульяновск: УлГУ, 2005. Том 2. 220 с.
2. Артемьева Е.А., Корепов М.В., Корепова Д.А., Корольков М.А., Красун Б.А., Ковалев А.В., Масленников А.В., Масленникова Л.А. Комплексное биоэкологическое исследование биоты новых перспективных ООПТ Среднего Поволжья (Ульяновской области) // XXIV Любищевские чтения. Современные проблемы эволюции. Ульяновск, 2010. С. 262–272.
3. Масленникова Л.А., Масленников А.В. Новые находки видов растений федеральной и региональной Красных книг в ключевых и новых перспективных ООПТ Ульяновской области // Природа Симбирского Поволжья. Сб. научн. трудов. Вып. 12. Ульяновск, 2011. С. 84–92.
4. Масленников А.В., Масленникова Л.А., Масленников В.А. Лесостепные урочища и центры развития кальциевых ландшафтов как гаранты сохранения биоразнообразия севера Ульяновской области и центральной части Приволжской возвышенности // XXIX Любищевские чтения. Современные проблемы эволюции и экологии. Ульяновск, 2015. С. 387–393.

5. Раков Н.С., Саксонов С.В., Сенатор С.А., Васюков В.М. Сосудистые растения Ульяновской области. – Флора Волжского бассейна. Т . II. – Тольятти: Кассандра, 2014. 295 с.
6. Мищенко А.В., Артемьева Е.А., Макаров Д.К., Солтис В.В. К эколого-генетическому мониторингу популяций пиона тонколистного (*Paeonia Tenuifolia* L.) - кормового растения листовертки пионовой *Pelatea Klugiana* (Freyer, 1836) (Lepidoptera, Tortricidae) - редкого и эндемичного вида чешуекрылых Ульяновской области (Среднее Поволжье) // Проблемы региональной экологии. 2017. №1. С. 15–27.

Науки о Земле

УДК 58.009

ББК: 28.58

Итоги флористических исследований проекта Ульяновского отделения русского географического общества «Реки Ульяновской области»

Фролов Даниил Анатольевич,

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и химии,
Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н.
Ульянова,

г. Ульяновск, Россия

Аннотация. В статье приводятся данные об экспедиционных флористических и геоботанических исследованиях основных рек Ульяновской области в рамках многолетнего проекта Ульяновского отделения Русского географического общества «Реки Ульяновской области». В проекте по исследованию рек помимо экологических, зоологических и химических аспектов, центральное место отводилось ботаническим исследованиям, проведенным классическим маршрутно-экскурсионным методом с последующим картированием редких и уязвимых видов в период с 2013 по 2015 гг.

Ключевые слова: флора, растительность, бассейн реки, Ульяновская область, река Свияга, река Большой Черемшан, река Сура, река Сызранка, Река Барыш, русло реки, редкий вид, охраняемый вид, Красная книга.

В четырёхлетнем проекте «Реки Ульяновской области» состоялись флористические исследования основных водотоков Ульяновской области – Большого Черемшана, Свияги и Барыша. Научной целью экспедиций

являлась оценка флористического разнообразия рек на первоначальном этапе исследования, поиск ценных ботанических объектов, редких уязвимых и охраняемых видов растений, произрастающих на изучаемой территории. Немаловажной задачей стал так же поиск новых местонахождений растений, призванной закрыть «белые пятна» на карте флористических исследований Ульяновской области.

В период с 25 мая по 1 июня 2013 г. состоялся второй экспедиционный сплав по реке Большой Черемшан, который пролегал по трём субъектам Российской Федерации: Республике Татарстан (15,5 км), Самарской (24,5 км) и Ульяновской областям (65 км).

В ходе экспедиции было пройдено 105 км русла реки Большой Черемшан, обследованы пойменные ландшафты и экосистемы реки, а также приустьевый участок Малого Черемшана – основного притока Большого Черемшана.

По берегам реки в начале следования экспедиции обильно произрастали – бересклет бородавчатый, дуб черёшчатый, жимолость лесная, липа сердцевидная, черёмуха обыкновенная, ясень пенсильванский в травяном ярусе в обилии – вероника ненастоящая, кирказон обыкновенный, лютик ползучий, подмаренник средний, фиалка горная и удивительная, яснотка пятнистая (рисунок 1).



Рис. 1. пойменный липняк в среднем течении р. Большой Черемшан

В среднем течении река протекает преимущественно среди лесных ландшафтов – пойменных лесов, чаще всего ивняков и ольшаников (*ольшаник осоковый*, *ольшаник снытево-разнотравный*). На возвышенных речных террасах доминируют широколиственные леса: липняки и дубравы, с примесью вяза шершавого и платановидного клена. В травостое встречаются типичные представители травянистого яруса как: вероника дубравная, герань лесная, зюзник европейский, крупка дубравная, сныть обыкновенная, фиалка собачья. Здесь же отмечен вид фиалки, совсем недавно включенной в конспект флоры Ульяновской области – фиалка Вадима – *Viola vadimii*, редко произрастающая в большом количестве (рисунок 2).



Рис. 2. Фиалка Вадима (*Viola vadimii*) – новое местонахождение во флоре Ульяновской области

Следует отметить, что в среднем течении Б. Черемшан богат небольшими низовыми болотами, поросшими рдестом, хвощом приречным, лютиком жгучим, водной поручейницей (*Catabrosa aquatica*), болотной калужницей (*Caltha palustris*) и чистецом болотным (*Stachys palustris*). Единично в стоячей воде встречаются *Calla palustris* (белокрыльник болотный), *Carex diluta* (осока светлая) и осока просяная (*Carex panicea*).

Долинные участки реки представлены преимущественно пойменными широколиственными лесами (дубравами, липняками, осинниками) с большим количеством старичных озёр и болот. На возвышенных участках поймы, встречаются смешанные сосново-широколиственные леса и чистые боры, приуроченных к выходам песчаных и супесчаных почвогрунтов.

Открытые луговые сообщества, как правило, злаково-разнотравные, осоково-разнотравные, подступают к водотоку только в окрестностях населённых пунктов, расположенных непосредственно на берегах Черемшана.

По мере приближения к Димитровграду широколиственные леса мозаично сменяются сосняками травяными, реже сосняками зеленомошниками, пропадают пологие песчаные косы, сплошь поросшие

белокопытником ненастоящим (*Petasites spurius*) и ивой трёхтычинковой (*Salix triandra*), существенно увеличивается количество обустроенных и «стихийных» мест отдыха горожан, о следах пребывания которых так же можно судить по флористическому облику, в частности, по обилию синантропных видов и видов-рудералов, таких как горец птичий, крапива двудомная и пустырник пятилопастной.

Всего же флористический список видов, отмеченных в ходе экспедиции 2013 года, насчитывает 262 вида сосудистых растения, относящихся к 157 родам и входящие в состав 59 семейств.

Особенностью Большого Черемшана стало обилие пологих песчаных кос, поросших белокопытником ненастоящим, ивой трёхтычинковой, полынью лечебной (*Artemisia abrotanum*), смолевкой днепровской (*Silene borysthena*), с. клейкой (*S. viscosa*) и ленцом полевым (*Thesium arvense*). В дальнейшем при вхождении водотока в Куйбышевское водохранилище песчаных кос становится все меньше, их место занимают крутые подтопленные обрывистые берега, покрытые валежником.

Конец мая 2014 г года был посвящён оценке флористического разнообразия одной из интереснейших рек Ульяновской области – Свияге.

Маршрут экспедиции пролегал по двум субъектам Российской Федерации: Ульяновской области (189 км) и республики Татарстан (12 км). Начальной точкой сплава стало с. Чириково Кузоватовского р-на Ульяновской области, конечной – с. Вожжи Тетюшского р-на республики Татарстан. За 10 дней пройден 201 км русла Свияги, обследованы пойменные и долинные ландшафты реки. На каждой стоянке проводился сбор гербарного материала, организовывались пешие экскурсионные маршруты для обследования долинных участков реки.

Свияга – правый приток Волги, протекающий почти параллельно Волге, но в обратном направлении (!). В истоках находятся родники из водоносных пластов палеогена близ села Кузоватово, устье – в г. Свияжске Республики Татарстан. Общая длина Свияги – 375,2 км, в пределах Ульяновской области

– 190,4 км. Как видно из небольшой географической справки, в ходе экспедиции удалось пройти большую часть основного русла реки и затронуть всю Свиягу, протекающую по территории Ульяновской области.

Начальной точкой экспедиции послужил нарушенный остепнённый луг близ с. Чириково Кузоватовского района Ульяновской области. Здесь Свияга в нижнем течении протекает среди лесостепных ландшафтов – небольших пойменных лесов, чаще всего ивняков и ольшаников (*ольшаник осоковый*, *ольшаник снытево-разнотравный*). На возвышенных рельефах реки доминировали лугово-степные типы сообществ, чаще *мятлико-* и *осоково-разнотравные*. По мере удаления на запад от основного русла реки встречаются сосняки, в понижениях сосново-березовые и сосново-осиновые леса, на возвышенных участках с примесью дуба, липы и клена. Здесь в формировании растительного покрова наряду с типичными неморальными принимают участие и бореальные виды: папоротники – двурядник сплюснутый, пузырник ломкий, щитовник австрийский; травянистые растения – грушанка зеленоцветковая, купальница европейская и клюква болотная, обитающая в основном по тенистым оврагам и балкам.

Русло Свияги извилистое и илистое, на мелководьях реки и на её крутых склонах обычны лютик едкий и жгучий, незабудки дернистая и болотная; осоки, среди которых в той или иной степени обилия встречаются – осока острая, о. сближенная и о. омская. Вдоль коренного русла Свияги на протяжении почти 80 км, узкой полосой тянутся ивово-ольшанниковые заросли с доминированием ольхи клейкой, ивы трехтычинковой и шерстистопобеговой.

По мере продвижения на север долинные участки реки представлены открытыми луговыми сообществами, как правило *злаково-* и *осоково-разнотравными*. На возвышенных участках поймы, в 5-7 км от речного водотока встречаются смешанные сосново-широколиственные леса, приуроченных к выходам песчаных и супесчаных почвогрунтов.

В верхнем течении близ села Спешеневка близ села Спешневка

Кузоватовского района ($53^{\circ}52'53''$ с. ш. $47^{\circ}57'53''$ в.д.) на пройменном *кострцово-разнотравном* лугу в травостое был обнаружен – вид, включенный в Красную книгу Ульяновской области – шалфей луговой (*Salvia pratensis*), в единичном экземпляре. Здесь же на небольшом участке песчаной надпойменной террасы, занятой ковыльно-типчаковой степью вплотную примыкающей к сеянной озимыми пашне, в травостое отмечены такие редкие и охраняемые виды как коровяк фиолетовый, ковыль перистый и вид, заслуживающий особого внимания – днепровско-волжско-донской эндемик касатик боровой (новая точка нахождения для Ульяновской области) (рисунок 3). Фитоценозы среднего течения представлены в основном *осоковым разнотравьем*, в которых среди доминирующей осоки черной, была отмечена осока расставленная. По мере удаления от реки на среднем плато речной поймы начинают встречаться сохранившиеся участки *типчаково-разнотравных* и *ковыльно-типчаково-разнотравных* степей с преобладанием перистого ковыля. Довольно часто в пестром разнотравье среди обилия мятлика узколистного (*Poa angustifolia*) изредка проскальзывает колокольчик волжский (*Campanula wolgensis*). Особую ценность территории придаёт, вид, включенный в Красную книгу РФ и Ульяновской области – ятрышник шлемовидный (*Orhis militaris*) (новая точка нахождения для Ульяновской области), единично обнаруженный в окружении осок и хвоща зимующего.

В дальнейшем по мере прохождения маршрута экспедиции и приближения к г. Ульяновску растительный покров, существенно изменен хозяйственной деятельностью человека (большой процент



территории района Рис. 3. Касатик боровой – *Iris pineticola*

занимают пашни и залежи). Припойменные участки представлены луговыми, степными и лесостепными комплексами, включающих небольшие по площади останцовые массивы южных остепненных широколиственных лесов, приуроченных к верховьям балок, а также остепненных разнотравных лугов и луговых степей, характеризующихся высокой долей участия костреца берегового, мятлика узколистного, шалфея остепненного.

В прошлом, здесь, на черноземных почвах выровненных плато водоразделов Свияги и её притоков, были распространены ксерофитно-разнотравные луговые степи, о чем свидетельствуют лишь особенности почвенного покрова. Современные склоны овражно-балочных систем представлены злаково-рудеральными пастбищными и ксерофитно-разнотравными остепненными лугами.

По мере приближения к Ульяновску, как и в случае Б.Черемшана существенно увеличивается количество обустроенных и «стихийных» мест отдыха горожан. Наибольшее антропогенное влияние приуроченная флора р. Свияги испытывает в окрестностях населённых пунктов, лежащих на берегах реки, и в местах мостовых переходов. Нередко в этих местах обнаруживались огромные свалки из пластика, стеклянной тары и прочих отходов.

Шестая стоянка проходила на небольшом «полуострове» Новосельдинского котлована поросшим *ольшаником ивовым* в травяном ярусе которого обильно произрастают осоки, камыш лесной и дудник лекарственный (*Angelica archangelica*). Вдоль берега изредка цвел касатик айровидный.

В целом, состояние «полуострова» можно охарактеризовать как антропогенно-нарушенное, ввиду обильного произрастания крапив, американского клена и дёрена белого, попавшего сюда, по всей, видимости в результате орнитохории.

В предпоследний день экспедиции был исследован памятник природы «Болото Брехово», расположенного близ р.п. Ишеевка Ульяновского района

(54°25'47" с. ш. 48°14'08" в.д.). Фитоценотический спектр болота Брехово имеет весьма пестрый характер. Наиболее распространенными здесь являются сообщества формаций вейника наземного, осоки заостренной и ивы пепельной, придающей болоту современный облик. В кустарниковом ярусе кроме ивы пепельной в небольшом количестве присутствуют ивы – приземистая, трёхтычинковая, прутьевидная

В травяном ярусе встречаются бодяк серый, девясил высокий, лисохвост тростниковидный, лобазник вязолистный, осока заостренная, повой заборный.

Особую ценность территории придал ранее не просматриваемые – ятрышник шлемовидный (*Orhis militaris*) (рисунок 4), обнаруженный на верхней луговой прирусловой пойме в ассоциации с лисохвостом луговым и тысячелистником благородным и кувшинка чисто белая (*Nymphaea candida*), занесённая в Красную книгу Ульяновской области.

Флористический список видов, отмеченных в ходе экспедиции, насчитывает 392 вида сосудистых растения, относящихся к 154 родам и входящих в состав 65 семейств. Представление же о флоре, полученное по результатам сплава-экспедиции, позволило дополнить ранее изученную флору свияжского бассейна по отдельным находкам и сохранности уникальных фитоценозов одной из крупных рек Ульяновской области.

В 2015 году состоялись заключительные этапы экспедиции проекта «Реки Ульяновской области» посвященные комплексному эколого-биотическому исследованию рек Сызранки и Барыша. Обе реки оказались интересными во флористическом плане, что нашло отражение на результатах



Рис.4. Ятрышник шлемовидный –
Orhis militaris

исследования. Река Барыш порадовала флористическими находками, тем более что на протяжении почти 240 км она протекает по территории Ульяновской области (Барышский, Вешкаймский, Карсунский и Сурский р-ны области). На своём пути в реку впадает около 48 мелких и крупных притоков, наиболее значимые из которых Большая Якла, Карсунка и Урень (Особо охраняемые ..., 1997).

Начинается р. Барыш на возвышенности Сурская Шишка в южной части Барышского района Ульяновской области, на высоте 300 м от 2-х источников: к юго-западу от с. Красная Поляна и около с. Русское Тимошкино. Истоки располагаются среди лугов с бедной травянистой растительностью (сложенных преимущественно кострецовыми и мятликовыми ассоциациями). Они формируют ручьи, которые, сливаясь, образуют небольшую речку (Особо охраняемые ..., 1997). Далее река на протяжении 3 км протекает по лесному массиву (в основном пойменным ольшаникам и ивнякам). Почти на всем протяжении р. Барыш имеет высокие обрывистые берега и сильное течение, скорость которого может достигать до 0,5 м/с.

Верховья р. Барыш располагаются среди сосновых лесов. Ширина русла до 5 м, высота берегов 1,5-2 м, глубина 0,4-1, 0 м, течение сильное. Грунты песчаные, с большей (на перекатах) или меньшей (на плесах) примесью гальки.

В среднем течении русло реки проходит по относительно безлесной местности, лишь иногда в долине встречаются искусственные посадки деревьев и небольшие лесные массивы. По берегам на всем протяжении растут ивняки и ольховники (*ольховник разнотравный* и *осоковый*). Долина реки хорошо разработана и имеет широкую пойму.

В 1,5 км к с.-з. от с. Ховрино (среднее течение) р. Барыш имеет ширину 15 м, с песчаными грунтами, течение немного сбавляет силу. Берега, примыкающие к основному руслу высотой до 2 метров, нередко пологие и поросшие ивняками. На мелководье единично произрастает рдест Берхтольда

и р. Гребенчатый, среди которых удерживались небольшие популяции ряски. Русло свободно от водной растительности.

На пойменном разнотравном лугу были отмечены охраняемые – ятрышник шлемовидный и ковыль перистый, редкий – коровяк фиолетовый. По мере отдаления от основного русла реки пойменные луга сменяются кострцово-разнотравными в которых встречаются – вероника простёртая, жабрица порезниковая, лютик многоцветковый, мятлик узколистный, овсяница валисская, подмаренник настоящий, п.красильный, тонконог гребенчатый, шалфей степной и разнообразные осоки.

В 2 км к западу от с. Белый Ключ (среднее течение) при обследовании ковыльно-разнотравной степи, примыкающей к сосновому лесу, была обнаружена новая точка для редкого растения для Ульяновской области касатика безлистного (*Iris aphylla*) (рисунок 5,6). Особый интерес представил меловой склон поросший сосняком в 2 км к з. от с. Таволжанка Карсунского района (рисунок 7). Здесь, на меловом рухляке была обнаружена крупная популяция копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum*), охраняемого растения Ульяновской области. Помимо копеечника, из раритетных видов были отмечены: *Adonis vernalis*, *Linum perenne*, *Polygala sibirica*, *Scabiosa isetensis*, *Stipa pennata* и *Thymus cimicinus*, имеющих различные категории редкости в Красной книге Ульяновской области (рисунок 8,9).



Рис. 5. Участок ковыльно-разнотравной степи близ с. Белый Ключ Барышский район



Рис.6. Касатик безлистный – *Iris aphylla*



Рис.7. Вид на р. Барыш (среднее течение) близ с. Таволжанка Карсунского района



Рис.8. Копеечник
крупноцветковый – *Hedysarum
grandiflorum*



Рис.9. Лён многолетний –
Linum perenne

В среднем течении на поворотах реки образуются воронки. На небольших мелководных участках по левому берегу встречаются островки из рогоза широколистного и двухкосточника тростниковыйидного. По обмелевшим берегам и редким песчаным косам растут прерывистые сообщества из шиповника собачьего, частухи подорожниковой, сусака зонтичного, осоки острой и черной, ситника жабьего, коленчатого и сплюснутого, мяты полевой, вероники ключевой, лютика едкого, жерушника земноводного и череды. На перекатах, развиваются рыхлые, низкорослые куртины из рдеста курчавого.

Встречаются куртины «водяной чумы» – элодеи канадской и череды облиственной, но в отличие от других рек, эти виды не образуют массовых зарослей, что, вероятно, связано с характером течения реки и её береговой линии.

Пойма в среднем течении преимущественно двухсторонняя, шириной около 1 км, безлесная, занята эталонными лугами (*кострецово разнотравными, злаково-разнотравными*) и сельскохозяйственными угодьями.

Низовья реки находятся среди сосново-широколиственных лесов Сурского республиканского охотничьего заказника. Берега реки здесь более пологие. Правый берег невысокий, покрыт ивняками; левый – пологий, к нему примыкает широкая пойма с заболоченными участками. Течение сильное,

вода мутная. Русло реки свободно от водных растений, у воды встречены единичные растения лютика ползучего и лисохвоста. По разбитым незадернованным местам растут единичные особи ситника сплюснутого, мяты полевой и сушеницы топяной. У с. Малый Барышок, у старого моста через реку, берега обрывистые, высотой свыше 3 м; к руслу примыкают пойменные луга и залежи.

После с. Малый Барышок Барыш течет среди лесов Сурского государственного охотничьего заказника, в котором была найдена герань Роберта (*Geranium robertianum*) и редкий представитель семейства гвоздичные – горицвет кукушкин (*Coronaria flos-cuculi*).

При продвижении к устью, река протекает среди пойменных широколиственных лесов, преимущественно дубрав и липняков, являющие собой интересный объект для геоботанических исследований.

Впадает р. Барыш в Суру, близ с. Барышская слобода Сурского района Ульяновской области. Флористический список экспедиции включает в себя 348 видов растений, в составе 70 семейств.

В целом, флора рек Ульяновской области является перспективными динамичными объектами для исследования, заслуживающими особого внимания в деле сохранения биотического разнообразия Ульяновской области.

Список литературы

1. Благовещенский В. В., Раков Н.С., Шустов В.С. Редкие и исчезающие растения Ульяновской области. Саратов: Приволжское книжное издательство, 1989. 96 с.
2. Благовещенский В.В., Раков Н.С. Реликтовые и эндемичные растения во флоре Ульяновской области // Природа Симбирского Поволжья: Сб. науч. трудов. Вып. 1. Ульяновск: УлГТУ, 2000. С. 62-67.

3. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
4. Красная книга Ульяновской области/Под науч. ред. Е.А. Артемьевой, О.В. Бородина, М.А. Королькова, Н.С. Ракова; Правительство Ульяновской области. Ульяновск: Изд-во “Артишок”, 2008. 508 с.
5. Особо охраняемые природные территории Ульяновской области / Под ред. В.В. Благовещенского. Ульяновск: Дом печати, 1997. 184 с.
6. Плетнева С.Ю., Шерышева Н.Г., Загорская Е.П., Страхов Д.А. Ландшафтно-географические особенности донных отложений малых рек // Вестник науки Тольяттинского государственного университета. 2012. № 3. С. 27-32.

Results of floral studies of the Ulyanovsk Branch of the Russian Geographical Society "The Rivers of the Ulyanovsk Region"

Annotation. Data on expeditionary floristic and geobotanical studies of the floras of the main rivers of the Ulyanovsk Region are given in the framework of the multi-year project of the Ulyanovsk branch of the Russian Geographical Society "The Rivers of the Ulyanovsk Region".

Keywords: flora, vegetation, river basin, Ulyanovsk region, Sviyaga river, Bolshoy Cheremshan river, Sura river, Syzranka river, Barysh River, river bed, rare species, protected species, Red Book.

Сельскохозяйственные науки

УДК: 635

ББК 42.346

Санберри: особенности выращивания

в Ульяновской области

Исаков Евгений Владимирович,

студент 2 курса специальности «Землеустройство» колледжа агротехнологий и бизнеса Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина,

Грошева Татьяна Дмитриевна,

научный руководитель, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и растениеводства Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина,

г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Рассмотрено происхождение нового вида растения – санберри. Описаны морфологические особенности растения, его полезные свойства. Изучены особенности выращивания. Проведена дегустационная оценка.

Ключевые слова: санберри, паслён, рассада, целебные свойства, пищевые качества, урожай.

Санберри (*Solanum retroflexum*) это культурное растение, полученное в результате скрещивания двух невкусных, но неядовитых растений – африканского паслена (африканская садовая черника) и европейского мелкоплодного стелющегося паслена. От африканского паслена по наследству санберри достались урожайность, декоративность, крупноплодность ягод, а от

европейского мелкоплодного паслена санберри унаследовал вкусовые свойства свежих ягод и переработанных. Гибрид санберри получен американским учёным селекционером Лютером Бербанком в 1905 году. Возможно, за любовь к солнцу Бербанк назвал это растение солнечной ягодой, или санберри (sun – солнце, berry – ягода) [2, с. 3 –6].

Паслён чёрный (*Solanum nigrum*) известно нам как сорное однолетнее растение с прямыми разветвлёнными стеблями высотой 30-120 см. Листья простые, без прилистников, очередные, овальные заострённые с зазубренными краями. Цветки белые звездообразные, собраны в боковые полузонтики. Тычинок пять, пестик один, лепестков пять (сросшихся), околоцветник двойной. Плод – ягода размером с горошину, созревающая (черного цвета) в августе – октябре. Трава и незрелые плоды паслёна чёрного содержат ядовитый алкалоид соланин, присутствующий в форме гликоалкалоида соланина. В некоторых странах, особенно в Индии и Эфиопии, а также в России зрелые ягоды паслёна чёрного употребляются в пищу. В России они известны под названием поздника, вороняжка, бздника. Спелые плоды едят сырыми, делают начинки для пирогов, варят варенье, повидло и кисели [3].

Санберри – многолетнее растение семейства Пасленовых, хотя отдельные авторы публикаций считают эту культуру однолетней [4]. Солнечная ягода – неприхотливое, устойчивое к вредителям и болезням растение, хорошо переносящее небольшие заморозки. По биологическим свойствам культура санберри идентична томатам, но санберри более холодостойкое и влаголюбивое растение. Куст высокий и развесистый, напоминает маленькое деревце высотой до 1,0-1,5 м, имеет толстый четырехгранный стебель с множеством пасынков. Цветки маленькие, по 10-15 штук в грозди, внешне напоминают цветы картофеля, соцветия не отличаются декоративностью. Период цветения достаточно продолжительный. Плоды – мясистые ягоды, в начале их образования имеют зеленую окраску, затем эта окраска трансформируется в черный цвет с выразительным блеском. Размер

спелой ягоды с вишню, и они собраны в гроздья по 8-10 до 15 штук, по строению они близки к помидорам. «Грандиозное зрелище являет собой этот исполин при созревании ягод. Растение буквально усыпано блестящими черными, «антрацитовыми» ягодами» [2, с. 3 – 6].

Свежие плоды Санберри являются ценным сырьем для производства продуктов здорового питания, так как содержат большое количество биологически активных (аскорбиновой кислоты - 48,2 мг/%, органических кислот - 0,96%), минеральных (калия - 890 мг/100 г, магния - 24 мг/100 г, железа - 1,1 мг/100 г, марганца 0,15 мг/100 г и йода 0,006 мг/100 г) и красящих (антоцианов - 887,7 мг/100 г) веществ. Кроме того, свежие плоды паслена Санберри обладают высокой антиоксидантной активностью (229,4 мг/100 г) и содержат большое количество белков (2,6 %) и ароматических веществ (альдегидов-158,90 мг/100 г, алифатических монокарбоновых кислот - 138,43 мг/100 г). В конфитюре и варенье из плодов Санберри сохраняется высокая антиоксидантная активность (155,4 и 99,6 мг/100 г), большое количество ароматических веществ (220,37 и 229,31 мг/100 г), органических кислот (0,49 и 0,51 %) и антоцианов (271,4 и 228,4 мг/100 г). В плодах паслена Санберри обнаружено 10 аминокислот, из которых 4 (лейцин, метионин, треонин и валин) являются незаменимыми. В свежих плодах из незаменимых аминокислот преобладают треонин (5,3 мг/100 г) и валин (1,6 мг/100 г), а из заменимых – пролин (22,7 мг/100 г). В варенье и конфитюре содержание аминокислот меняется незначительно за исключением пролина и треонина, содержание которых в продуктах переработки снижается на 75-85 %. Содержание свинца, мышьяка, кадмия и ртути в плодах паслена Санберри находится в пределах допустимых концентраций [1].

У паслена санберри много целебных свойств. За целебные свойства санберри называют чудо – ягодой. Это растение целебно от корней до верхушки [2, с. 17 – 19]. Плоды санберри благотворно влияют на остроту зрения, имеют слабительное, противоглистное и антисептическое действие. Ягоды с кислым молоком прикладывают к гнойным ранам, нарывам, язвам.

Сок ягод санберри, разведенный водой (1:3), используют для полоскания горла при ангинах. Соком из листьев лечат хронический насморк.

Настой готовят так: 5 г сухих измельченных верхушек стеблей с листьями заливают 250 мл кипятка, настаивают, укутав, 3 часа. Принимают по 1 столовой ложке три раза в день до еды при неврозах, головной боли, колитах, гастритах. Эта же доза сохраняется при циститах, нерегулярных менопаузах у женщин, гипертонической болезни, эпилепсии, судорогах, ревматизме, подагре, невралгиях. Настой используется и при бронхиальной астме, заболеваниях кожи, сопровождающихся зудом, и наружно (примочки) при золотухе, фурункулах, лишаях.

Можно готовить и отвар: 5 грамм сухой измельченной травы заливают 200 мл воды, кипятят на малом огне 15 минут. Настаивают 2 часа, принимают по 1 чайной ложке 3 раза в день до еды.

Удобно пользоваться *настойкой*: 50 г измельченной травы заливают 0,5 л водки, настаивают в темном месте в течение недели, периодически встряхивая содержимое, процеживают. Принимают по 20-30 капель, запивая водой, 3 раза в день до еды.

Для лечения гипертонии сок из листьев, стеблей и цветков санберри перемешивают в равных дозах с медом и принимают по 2-3 столовые ложки на ночь. Этот состав сначала слегка возбуждает, затем успокаивает, расширяет кровеносные сосуды, выводит соли, шлаки и мочевую кислоту из тканей организма, понижает и стабилизирует давление. Принимают до явного улучшения состояния больного. Этот же состав применяется и при варикозном расширении вен.

Вино, приготовленное из ягод санберри, восстанавливает щелочную реакцию крови, устраняет ревматическое и подагрические явления и обладает мочегонными свойствами [2, с. 10 – 16].

В научной литературе недостаточно данных о выращивании растения санберри, а особенности выращивания в условиях Среднего Поволжья нам не встретились. Целью нашей работы явилось изучение особенностей

выращивания санберри в условиях Ульяновской области, а также провести дегустационную оценку свежих ягод и переработанных ягод санберри – варенье.

Исследования проводились в 2016 и 2017 годы в условиях Чердаклинского района Ульяновской области. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, среднемошный среднесуглинистый. Агрохимическая характеристика почвы: реакция среды в пахотном слое почвы pH_{KCl} – 6,5, содержание гумуса – 4,3%, содержание подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) соответственно 105 и 200 мг/кг почвы. Степень насыщенности почвы основаниями составляет 96,4...97,9 %, сумма поглощенных оснований 25,5...27,8 мг·экв/100 г почвы. Обеспеченность почвы молибденом и марганцем низкая (0,1...0,2 и 25...40 мг/кг почвы). Таким образом, агрохимические показатели опытного участка характеризуются высокими показателями плодородия, за исключением обеспеченности молибденом и марганцем.

По погодным условиям 2016 год был более благоприятным для развития растений санберри, в начале вегетации с достаточным количеством осадков, в дальнейшем осуществлялся полив. Май, июнь и июль 2017 года отличались большим количеством выпавших осадков и были прохладными, поэтому вегетационный период увеличился у культуры.

Санберри имеет мелкие семена и отличается длительным вегетационным периодом, поэтому лучше выращивать рассадным способом, как томаты или перцы. При выращивании санберри мы руководствовались рекомендациями авторов [2, с. 7 – 10].

Высевали семена в начале марта в подготовленную почвенную смесь, состоящую из дерновой земли, песка, торфа в соотношении 3:1:1. Семена располагали на расстоянии 2-3 см друг от друга, засыпая на глубину не более 0,5 см. Ящики укрывали пленкой и помещали в теплое место. Перед посевом семена протравливали в растворе марганцево-кислого калия (0,5 г на 100 мл воды), выдерживая 20 минут, затем тщательно промывали в воде и высевали.

При появлении всходов, ящики ставили на подоконники на солнечное место. С появлением первой пары настоящих листьев сеянцы пересаживали в отдельные емкости, предназначенные для рассады (размер стаканчиков 8x8x10 см). Уход за рассадой заключался в поливе и подкормке комплексными препаратами, рекомендуемыми для применения на овощных культурах.

Согласно рекомендациям [2, с. 7 – 10] хорошие результаты получаются после использования универсального, комплексного и бесхлорного удобрения «Кемира», предназначенного для сада и огорода, которое мы также применяли в опыте наряду с другими препаратами для подкормок. Оно содержит следующие питательные вещества: азота - 12%, фосфора - 8%, калия - 14%, и большой набор микроэлементов: магния - 2%, серы - 8%, марганца - 0,2%, железа - 0,2%, бора - 0,1%, меди - 0,1%, молибдена - 0,01%, цинка - 0,1%. За месяц до посадки в открытый грунт рассаду «закаливали», путём переноса ящиков с рассадой в менее отапливаемое помещение. К моменту высадки рассада имела прочный утолщенный стебель, высотой 30-45 см.

Согласно, литературным источникам, предшественниками санберри могут быть кабачки, огурцы, лук. Не рекомендуется размещать после культур семейства паслёновых – томаты, картофель, баклажаны. Мы в своём опыте в 2016 году размещали санберри после кабачков, в 2017 году после моркови.

Высадку рассады осуществляли в третьей декаде мая, одновременно с высадкой томатов, ориентируясь на погодные условия в годы проведения исследований. Размещали рассаду на солнечных участках по схеме – 70x50 см, мульчируя перегноем.

Уход за растениями заключался в создании для культуры условий интенсивного роста и развития. Для этих целей в течение вегетационного периода проводили регулярные рыхления, прополки, поливы и подкормки. Культура санберри на протяжении всей вегетации требует больше влаги, чем томаты, поэтому растения поливали обильнее. После укоренения растений, через 10-15 дней после высадки рассады в открытый грунт, ставили деревянные опоры с натянутыми на них шнурами с целью придания

устойчивости культуре. В это же время проводили первую подкормку растений комплексным удобрением азофоска из расчета 1 спичечный коробок на 10 литров воды. Вторую подкормку проводили через 10 дней после первой, применяя азофоску в той же дозе. В своих опытах пасынки не удаляли, как рекомендуют некоторые из исследователей [4].

Уборку урожая проводили в один прием в конце сентября. Спелость ягод определяли на ощупь: они должны быть мягкими. Иногда плоды не успевают созреть на растении, в этом случае следует выбрать почерневшие ягоды, обрезать их вместе с кистями, и хранить их до полной спелости в тёмном месте, как и томаты. Хотя отмечено, что плоды санберри на ветвях не перезревают длительное время и лишь низкие температуры воздуха могут существенно ухудшить их качество и сократить общий сбор урожая. В свежем виде срезанные ягоды вместе с кистями сохраняются сравнительно долго, более двух месяцев [2, с. 7 – 10].

В опыте наблюдения вели за 10 растениями, в 2016 году фаза цветения у растений санберри отмечалась в начале июня, в 2017 году в конце июня – в начале июля, что объясняется погодными условиями. Следует отметить, что растение имеет продолжительный период цветения, вплоть до первых заморозков. Период созревания плодов также растянут.

В 2016 году высота растений варьировала от 87,3 см до 107,6 см. В 2017 году наблюдались растения, высотой от 82,7 см до 98,3 см. В среднем за годы проведения опыта высота кустов равнялась 98,7 см.

Урожай ягод в 2016 году был получен на уровне 1,9 кг с куста, в 2017 году 1,7 кг. В среднем за годы исследований урожай с куста составил 1,8 кг.

Из собранных ягод было приготовлено варенье по одному из проанализированных рецептов с добавлением лимона [4]. Санберри отлично сочетается с клюквой, барбарисом, крыжовником, красной смородиной, которые придают паслёновому варенью недостающую кислоту. Для приготовления варенья ягоды тщательно помыли и обдали кипятком, для улучшения вкусовых свойств, согласно рекомендациям. Далее приготовили

сироп из расчета 1 кг сахара 1 стакан воды на 1 кг плодов. В кипящий сироп погрузили ягоды, измельченный лимон и варили 5 минут. После остывания варенье кипятили еще 5 минут, далее разливали в стеклянные чистые банки.

Для дегустации использовали варенье из смородины, которое было взято за контроль. Также было предложено варенье из физалиса овощного разных сортов с зеленой и светло-фиолетовой окраской плодов. Варенье из физалиса имело желто-зеленоватую окраску со слегка фиолетовыми плодами, которое отличалось специфическим вкусом, как и варенье из санберри. Физалис (*Physalis*) – однолетнее растение семейства Пасленовые. Приготовленное варенье из ягод санберри получилось темно-фиолетового цвета приятного и своеобразного вкуса с легким лимонным запахом. По итогам дегустации варенье из санберри заняло 2-е место после классического варенья из смородины.

Свежие ягоды санберри дегустировали с ягодами физалиса разных сортов. Отмеченные ягоды специфичны и малоизвестны многим людям, поэтому многими не были узнаны по внешнему виду ягод. Ягоды физалиса были крупными, диаметром 2,5-3,5 см, поэтому часть ягод разрезали. Так как использовались для дегустации ягоды разных сортов физалиса, то их распределили по цвету: светло-зелёные, желтоватые, светло-фиолетовые. Ягоды санберри имели тёмно-фиолетовую окраску, размер 1,0-1,5 см с плотной ровной кожицей. По итогам дегустации большинство оценивающих предпочтение отдали ягодам санберри, отметив более нежный вкус и приятный аромат.

По результатам проведенных исследований, можно рекомендовать для выращивания новую малоизвестную и малораспространённую овощную культуру – санберри в условиях Ульяновской области. Санберри – неприхотливое, устойчивое к холодам, болезням и вредителям растение. Агротехника санберри схожа с агротехникой томатов и выращивается рассадным способом, так как имеет длительный вегетационный период.

Ягоды санберри обладают прекрасными диетическими и пищевыми качествами, целительными свойствами. Для лечебных целей можно использовать всё растение – листья, цветы, ботву.

Список литературы

1. Акишин Д.В., Винницкая В.Ф., Ветров М.Ю., Причко Т.Г., Дрофичева Н.В. Функциональная и пищевая ценность свежих и переработанных плодов паслена Санберри [Электронный ресурс] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания, №2, 2017 г. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnaya-i-pischevaya-tsennost-svezhih-i-pererabotannyh-plodov-paslenu-sanberri> (дата обращения: 06.11.2017)
2. Дамбаева З.Б.. Новые овощные культуры для Забайкалья: методическое пособие /Дамбаева З.Б., Тодорхоев Б.С. – Улан-Удэ, Изд-во БГСХА им.В.Р. Филиппова, 2009. – с. 3-19.
3. [сайт] URL: <http://ru.wikipedia.org>»Паслён
4. [сайт] URL: <http://glav-dacha.ru/sanberri-polza-vyrashhivanie-ukhod...>

Химические науки

УДК 543-4

ББК 24.4

Экспресс - методы анализа металлов:

разработка реагентных химических тест-систем

Соловьева Елена Николаевна,

магистрант «Ульяновского государственного педагогического университета им. И. Н. Ульянова», естественно-географический факультет, специальность: химическое образование.

Пестова Наталья Юрьевна,

научный руководитель, кандидат химических наук, доцент кафедры биологии и химии «Ульяновского государственного педагогического университета им. И. Н. Ульянова»,

г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Научная новизна работы состоит в разработке высокоспецифичной твёрдофазной тест-системы для обнаружения ионов меди, никеля и кобальта в объектах окружающей среды на основе диэтилддиокарбамата свинца, диметилглиоксима и тиоцианата аммония, адсорбированных на твёрдом носителе и применение данных систем на факультативных и элективных курсах в школе. Тест-система отличается экспрессностью, доступностью и дешевизной. Тест - методы используют в лаборатории, в частности для скрининга проб, однако, наиболее целесообразно применять их во внелабораторных условиях (on-site), тем более, что on-site анализ представляет собой важное и весьма перспективное направление химии.

Ключевые слова: химический анализ, тяжелые металлы, комплексные соединения, концентрация, экспресс-методы, реагент.

Упрощение и удешевление средств химического анализа - всегда благо, но решение многих аналитических задач пока требует сложных и дорогих методов и приборов. К счастью, успехи ряда областей химии, физики, электроники, а также математики обеспечивают возможность создания средств анализа, всё более миниатюрных, недорогих и лёгких с точки зрения использования и, в то же время, сопоставимых по своим аналитическим характеристикам с современными инструментальными методами. Тест-системы, несомненно, могут быть отнесены к таким средствам. Потребность в тест-наборах весьма значительна. Уже создано много тест-систем разного типа и разного назначения, в основе которых лежат чувствительные и селективные химические реакции и результат анализа может быть получен либо визуально, либо путём простейших измерений (длина окрашенной зоны, число капель), либо с использованием миниприборов, также весьма простых в использовании.

Основными областями использования тест-систем могут быть:

- контроль объектов окружающей среды, определение важнейших нормируемых компонентов в воде, почвенных вытяжках, воздухе (прежде всего в полевых условиях);
- контроль за качеством пищи, в том числе питьевой воды и напитков, главным образом с точки зрения наличия вредных веществ;
- анализ крови, мочи, пота для целей медицины, в том числе в домашних условиях;
- решение задач криминалистики, охраны порядка, военной сферы (наркотики, алкоголь, взрывчатые вещества, отравляющие вещества);
- контроль в промышленности, на транспорте, например обнаружение утечек газа;

- обучение химии, экологии и др. дисциплинам в школе и других учебных заведениях.

Тест-системы могут стать незаменимыми в критических ситуациях, когда нужно быстро определить состав воздуха, воды и др. объектов после взрыва, промышленной катастрофы или природного катаклизма. Тест-системы удобны для широкомасштабного обследования жилых и производственных помещений, например на пары ртути, формальдегида, фенола и др. вещества. Для разработки надёжных, чувствительных и селективных тестов используют достижения классической аналитической химии (реакции и реагенты). Однако, ещё более важным является поиск новых подходов.

Разработанная тест-система представляет собой твердофазный носитель, на поверхности которого адсорбирован: роданид аммония, дитизон, аммиачный буфер + эриохром Т + Трилон Б (этилендиамминтетраацетат натрия), аммиачный буфер + роданид аммония, аммиачный буфер + реактив Чугаева, аммиак.

Выбор носителя был обусловлен положительными свойствами твердой фазы. Фильтровальная бумага «синяя лента» отличается однородностью состава, механической прочностью, микробиологической устойчивостью и хорошей проницаемостью. Качественный анализ содержания ионов железа, свинца, кобальта, никеля и меди, определения жесткости воды в объектах внешней среды предоставляет большие возможности и позволяет создать недорогие, легкие с точки зрения использования средства анализа: и в то же время сопоставимые по своим аналитическим характеристикам с современными инструментальными методами. Разработанная тест-система обладает специфичностью, экспрессностью и дешевизной.

Тестирование (тест) в химическом анализе означает быструю и простую оценку присутствия и/или содержания химического компонента в образце.

Тест-средства — это компактные, легкие и обычно дешевые единичные устройства или приспособления для тестирования, наборы или системы таких единичных устройств (приспособлений).[2]

Тест-системы для химического анализа представляют собой простые, портативные, легкие и дешевые аналитические средства и соответствующие экспрессные методики для обнаружения и определения веществ без существенной пробоподготовки (иногда без отбора проб), без использования сложных стационарных приборов, лабораторного оборудования, без самой лаборатории, без сложной обработки результатов, а также подготовленного персонала; в большинстве случаев применяют автономные средства однократного использования.

Тест-методика (инструкция) описывает процедуру проведения теста, включая пробоотбор (если это необходимо), обнаружение и определение компонента или параметра.

Тест-форма — аналитическая форма реагента или комбинации реагентов и разного рода добавок, приспособленная к условиям тестирования и готовая к применению в этих условиях.

Общий принцип почти всех химических тест-методов — использование аналитических реакций и реагентов в условиях и в формах, которые обеспечивают получение визуально наблюдаемого и легко измеряемого эффекта, например интенсивность окраски бумаги или длину окрашенной части трубки. Реагенты и различные добавки используют в виде заранее приготовленных растворов (в ампулах или капельницах) или иммобилизованными на твердом носителе — бумаге, силикагеле, пенополиуретане и т. д. В качестве средств для тест-методов химического анализа могут быть использованы индикаторные бумаги, индикаторные порошки и трубки, таблетки и др.[4]

Тест-методы во многих случаях используют для предварительной оценки наличия и содержания компонентов. В этом случае уместна методология скрининга. Очень удобны тест-системы для оценки обобщенных

показателей изучаемого объекта, например химического потребления кислорода (ХПК) или суммы тяжелых металлов в водах. По мере их совершенствования тест-методы служат (и все в большей степени будут служить) единственным и окончательным средством анализа. Особое значение имеют тест-методы для анализа «на месте» (on site), вне лаборатории.

На протяжении столетий, со времен алхимиков, химический анализ осуществлялся в лабораториях. Это было связано с необходимостью использовать специальную химическую посуду, специальное оборудование, например печи, а затем и измерительные приборы; с применением не всегда безвредных химических веществ, что требовало как минимум хорошей вентиляции; с длительностью, сложностью и трудоемкостью операций разделения сложных смесей веществ. В значительной мере эти факторы действуют и в настоящее время, поэтому сотни тысяч, миллионы химических анализов проводят в аналитических лабораториях, причем теперь не только химических, но и физических и биологических. Так, любой исследовательский институт химического, геологического или металлургического профиля имеет аналитические лаборатории. То же самое можно сказать о любом химическом, нефтеперерабатывающем, фармацевтическом или металлургическом заводе. И в этих лабораториях обычно много сложных и дорогостоящих приборов.

В последнее время положение меняется: химический анализ постепенно перемещается из лабораторий к тем местам, где находятся анализируемые объекты. Это одна из важнейших тенденций развития аналитической химии, которая определяется назревшими потребностями практики.

Внелабораторный анализ либо уже делается в широких масштабах, либо совершенно необходим и применяется уже в очень многих областях: экспресс-контроль технологических процессов, экспресс-анализ в поле для геологов-поисковиков, быстрый анализ почв (рН, азот, фосфор, калий), контроль пищевых продуктов на рынках, оперативный анализ воды и др.

Анализ «на месте» имеет много достоинств. Экономится время и средства на доставку проб в лабораторию и на сам лабораторный анализ (конечно, более дорогой). При анализе на месте обычно снижаются требования к квалификации исполнителя, поскольку используются более простые средства анализа. Но главное заключается в том, что часто анализ в стационарной лаборатории вообще невыполним или не имеет никакого смысла, например в случаях, когда изменяются формы существования компонентов. Анализ «на месте» осуществляется почти или точно в режиме реального времени; это позволяет без промедления начать действия по устранению источников и/или последствий происшествий, не дожидаясь проведения анализа в лаборатории и соответствующих лабораторных данных.

Химия тест-методов основана на цветных реакциях, например реакциях комплексообразования или окисления—восстановления. «Ноу-хау» разработчиков и производителей тест-систем означает: подбор рациональной комбинации реагентов, стабилизацию смесей реагентов и растворов, уменьшение мешающих влияний путем добавления маскирующих агентов. Главная цель — разработать тест, который был бы экспрессным и легким в осуществлении. Помимо реакций, приводящих к появлению окраски, используют также химические взаимодействия, результатом которых является люминесценция. Эффект измеряют не только визуально, но и с помощью простых в использовании портативных (обычно карманного типа) приборов. Особенно часто измеряют пропускание света, диффузное отражение или, как уже сказано, люминесценцию.

Основные требования, предъявляемые к реагентам, которые используют в тест-методах, можно сформулировать так:

1. Селективность по отношению к обнаруживаемым (определяемым) компонентам или их сумме — в зависимости от поставленной задачи.
2. Достаточно высокая чувствительность — тоже в зависимости от задачи. Например, при анализе объектов окружающей среды предел обнаружения

обычно должен быть ниже предельно допустимой концентрации нужного компонента или близок к ней.

3. При использовании цветных реакций — высокая контрастность и высокая скорость цветового перехода в присутствии обнаруживаемого или определяемого вещества.

4. Возможность ввести реагенты в формы, пригодные для использования в тест-методах, например, привить (с образованием ковалентных связей) на поверхность силикагеля или целлюлозы.

5. Устойчивость реагентов при хранении в той именно форме, в какой они используются в тест-методах.

6. Достаточная устойчивость аналитического эффекта (окраски, люминесценции и т. д.) во времени.

Для создания тест-методов и тест-средств используют химические реакции почти всех основных типов: кислотно-основные, окислительно-восстановительные, комплексообразования, разные реакции органического синтеза. Значительную роль в тест-методах играют занимающие несколько особое положение каталитические реакции, преимущественно с использованием ферментов. Соответственно используются реагенты различной природы и различного механизма действия (табл.1).[3]

Таблица 1. Подбор реагентов

Ион	Реагент
Fe^{3+} (Fe^{2+})	Роданид аммония
Pb^{2+}	Дитизон
$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Аммиачный буфер + Эриохром + Трилон Б (этилендиаминтетраацетат натрия)
Co^{2+}	Аммиачный буфер + роданид аммония

Ni^{2+}	Аммиачный буфер+ реактив Чугаева
Cu^{2+}	Аммиак

Селективность тест-форм повышали введением маскирующих веществ, как и при фотометрическом определении этих ионов в растворах, либо использованием довольно селективных реагентов — диметил- или бензилдиоксимов (определение никеля), тайрона, сульфосалициловой кислоты (определение железа). Особо селективны реакции, в которых в качестве тест-реагента используют комплекс реагента с каким-либо ионом, селективно замещаемым другим ионом. При этом окрашен либо первый, либо второй комплекс, что позволяет использовать в тест-методах внешний эффект — ослабление окраски. Например, в диэтилдитиокарбаминате меди, окрашенном в желто-коричневый цвет, медь селективно замещается на ртуть(II), что использовано для селективного тест-определения последней. В бесцветном диэтилдитиокарбаминате свинца катион селективно замещается на медь, карбаминат которой окрашен, в отличие от комплекса свинца.

Для определения ионов железа(III) используется раствор роданида аммония, смеси тяжелых металлов на примере свинца определяется действием дитизона. Для определения жесткости воды наносим на полоску фильтровальной бумаги аммиачный буфер и эриохром, даем высохнуть и добавляем Трилон Б.

Для достижения нашей цели, исследуется влияние концентраций на насыщенность окраски раствора. За границу окраски берется ПДК (предельно допустимая концентрация). ПДК вещества — максимальная концентрация вещества в различных объектах окружающей природной среды, не вызывающая неблагоприятного воздействия на население, флору и фауну. Полученные данные обобщены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние концентраций на окраску исследуемой зоны

Ион	ПДК, мг/л	Реагент	Окраска при С<ПДК	Окраска при С>ПДК
Fe ³⁺ (Fe ³⁺)	0.3	р-р NH ₄ CNS	не окрашивает	светло- розовый
Pb ²⁺	0.1	р-р дитизона в CCl ₄	Зеленый	малиновый
Ca ²⁺ +Mg ²⁺ жесткость	7	Аммиачный буфер+ Эриохром+ Трилон Б	Синий	фиолетовый
Co ²⁺	0,1	Аммиачный буфер + р-р NH ₄ CNS	не окрашивает	голубой
Ni ²⁺	0,1	Аммиачный буфер+ реактив Чугаева	не окрашивает	розово- малиновый
Cu ²⁺	1	Раствор аммиака	не окрашивает	сине-голубой

На основе экспериментально полученных данных можно сделать следующие **выводы** о проделанной работе:

1. Установили основу для определения жесткости, содержания ионов железа, свинца, кобальта, никеля и меди на основе ионов, адсорбированных на твердом носителе;
2. Исследовали влияние концентрации определяемых ионов на интенсивность окрашивания исследуемой зоны;
3. Исследовали влияние разноимённых ионов на специфичность тест-системы;
4. Проанализировав полученные экспериментальные данные, сформировали тест-систему для определения жесткости, содержания ионов железа, свинца.

Список литературы

1. Дроздов В.А., Кузнецов В.В., Рогатинская С.Л. Введение в физико-химические методы анализа. М., 1980, 176 с.
2. Золотов Ю. А., Иванов В. М., Амелин В. Г. – Химические тест-методы анализа, М., 2002, 304 с.
3. Ляликов Ю.С., Клячко Ю.А. Теоретические основы современного качественного анализа. М.: Химия, 1978, 249 с.
4. Моросанова Е.И., Великородный А.А., Золотов Ю.А. //Журнал аналитической химии, М., 2000, 486 с.
5. Пестова Н.Ю., Пантелеев С.В. Практические работы по аналитической химии для студентов 2 курса отделения «биология-психология». Ульяновск, издательство УлГПУ им. И.Н. Ульянова, 21 с.
6. Пестова Н.Ю. Прикладная химия. Методические рекомендации и лабораторные работы. – Ульяновск, издательство УлГПУ, 2005, 29 с.
7. Цитович И.К. Курс аналитической химии. Учебник для с.-х. вузов. Изд. 4, испр. и доп. М., «Высшая школа», 1977, 462 с.
8. Шарло Г. - Методы аналитической химии. М.-Л., Химия, 1965г, 979 с.

УДК 628.1
ББК 38.761.1

**К состоянию питьевой воды, подающейся
в правобережную часть г.Ульяновска за период:**

2012-2017 гг.

Федотова Ирина Владимировна,

инженер-химик УМУП «Ульяновскводоканал», магистрант Естественно-географического факультета, геоэкология и химия окружающей среды 2 курс Ульяновский государственный педагогический университет

имени И.Н. Ульянова.

г.Ульяновск. Россия.

Федорова Светлана Владимировна,

м.н.с. Научно-исследовательский центр фундаментальных и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова, аспирант кафедры биологии и химии Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н.Ульянова.

г.Ульяновск. Россия.

Мищенко Андрей Владимирович,

доцент, кандидат биологических наук кафедры географии и экологии, Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова.

г.Ульяновск. Россия.

Аннотация. В статье представлены результаты экологического мониторинга состояния питьевой воды города Ульяновска. Обобщенные данные наблюдений за 2013-2017гг позволили оценить качество питьевой воды, динамику важнейших показателей, характеризующих качество питьевой воды централизованной системы водоснабжения г.Ульяновска питающей Правобережную часть города. Были обработаны данные за 2013-2017 г.г. по некоторым обобщенным санитарно-гигиеническим показателям качества питьевой воды. Дана положительная оценка качеству питьевой воды, поступающей с Волжских головных сооружений водопровода.

Ключевые слова: экологический мониторинг, водоснабжение, питьевая вода, органолептические свойства, химический состав, сухой остаток, хлориды, цветность, мутность, перманганатная окисляемость, органолептические показатели.

Актуальность поднимаемых вопросов связана с ценностью питьевой воды как источника жизнедеятельности человека. Живому организму для нормального функционирования необходима качественная питьевая вода.

Получение качественной воды является основной задачей городских водоочистных станций. Цель работы - изучение качества питьевой воды централизованной системы водоснабжения г. Ульяновска, поступающей с Волжских головных сооружений водопровода. Материалом послужили сводные отчеты «Показатели качества питьевой воды в г. Ульяновске по месяцам "за 2013—2017 г.г." сбор данных, обобщение результатов проводились на базе ЦАЛ УМУП «Ульяновскводоканал».

Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение населения г. Ульяновска обеспечивается поступлением воды из поверхностного водоема р. Волги (Куйбышевское водохранилище) и подземных водоисточников. На территории области реализуется Государственная программа «Охрана окружающей среды и восстановление природных ресурсов в Ульяновской области на 2014–2020 годы», которая включает подпрограмму «Развитие водохозяйственного комплекса». Среди задач программы – строительство сооружений инженерной защиты и повышение уровня эксплуатационной надёжности гидротехнических сооружений, уменьшение размера возможного ущерба от негативного воздействия вод, восстановление водных объектов и другие. Важнейшей проблемой водоснабжения является качество питьевой воды. УМУП «Ульяновскводоканал» наделен статусом гарантирующей организации для централизованной системы холодного водоснабжения и водоотведения муниципального образования «город Ульяновск». Лабораторный контроль качества питьевой воды осуществляется аккредитованной Центральной аналитической лабораторией предприятия. Контроль ведется в соответствии с Рабочими программами производственного контроля качества питьевой воды, согласованными с Роспотребнадзором по Ульяновской области, в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды

централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2280-07.

Проведение мониторинга лабораторных исследований позволяет располагать информацией о качестве питьевой воды для своевременной организации мероприятий по соблюдению санитарно-эпидемиологического благополучия г.Ульяновска. В процессе работы были поставлены задачи по анализу, определения динамики важнейших обобщающих показателей, характеризующих качество питьевой воды централизованной системы водоснабжения г.Ульяновска, поступающей с Волжских головных сооружений водопровода и питающей Правобережную часть города. Были учтены и обработаны данные по некоторым обобщенным санитарно-гигиеническим показателям качества питьевой воды - мутность, цветность, перманганатная окисляемость, железо, хлориды, сульфаты, жесткость, минерализация, нефтепродукты, АПАВ, микробиологические показатели ОКБ, ТКБ. Были обработаны данные химических и микробиологических исследований качества воды за период с 2013 - 2017 гг, обработка такого объёма данных позволяет определять тенденцию в динамике показателей, кроме этого повышается надежность и точность исследований.

К органолептическим показателям питьевой воды относится совокупность признаков, которые воспринимаются органами чувств. К ним относятся запах, вкус, цвет и прозрачность. Мутность тесно связана с такими свойствами воды, как цветность, запах и привкус. Мутность является показателем эффективности осветления воды на очистных сооружениях. И, наконец, мутность является одним из факторов, влияющих на эффективность обеззараживания воды, то есть на эффективность очистки ее от патогенных бактерий и особенно энтеровирусов. Большинство микроорганизмов сорбируется на поверхности или находится в середине взвешенных частиц. Осветление и обесцвечивание воды на очистных сооружениях, направленные на удаление взвешенных и гуминовых веществ, способствуют удалению 90% бактерий. При определении конкретных видов микробов классическими

методами с использованием посевов могут возникнуть затруднения, связанные с невозможностью культивировать бактерии отдельных видов на питательных средах и субъективными ошибками при проведении микробиологических исследований (неправильный забор и консервация биологического материала с микрофлорой, отсутствие навыков идентификации при микроскопии и пр.). Современные молекулярно-генетические методы исследования, например такие, как молекулярное клонирование, позволяют с высокой степенью достоверности определить в образце (ткани, биологические жидкости т.д.), содержащем несколько микроорганизмов (метагеном), любой вид бактерий (в том числе патогенных) (Мищенко и др., 2014).

В государственном стандарте на питьевую водопроводную воду указано, что мутность не должна превышать 2.6 ЕМ/дм³. По данным мониторинга мутность в питьевой воде, выходящей с сооружений ВГСВ среднегодовые значения в период 2013-2017 гг от 0-0.89 ЕМ/дм³. В таблице 1. представлены статистические данные по химическому составу питьевой воды за 2013-2017гг с минимальным, максимальным и средним значением в течении года. Цветность является показателем эффективности очистки (обесцвечивания) воды на очистных сооружениях. Практически бесцветной можно считать такую воду, цветность которой не воспринимается глазом и не превышает 20 градусов. Эффект снижения цветности различен в разные сезоны. Максимальное снижение цветности наблюдается в летний период, минимальное в зимний. Среднегодовое значение цветности от 7.4 до 12.8 при ПДК 20 градусов цветности. Минеральный состав воды обусловлен целым рядом протекающих в разных средах физико-химических и физических процессов — растворения и кристаллизации, седиментации, пептизации и коагуляции, испарения и конденсации и др. Содержащиеся в воде минеральные соли имеют разное биологическое и химическое значение. Допустимая величина общей жесткости для питьевой воды централизованного водоснабжения составляет не более 7 град.ж. Жесткость воды обусловлена

присутствием растворимых и малорастворимых солей-минералов, главным образом кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}). Среднегодовые показатели жесткости в питьевой воде стабильно 3.4-3.7 град.ж. Общая минерализация характеризует содержание в воде нелетучих минеральных растворенных веществ и органических веществ. Среднегодовые показатели 248-296 мг/дм³ при ПДК 1000 мг/дм³. Окисляемость является косвенным показателем загрязненности воды легко окисляемыми органическими веществами. Среднегодовые значения окисляемости питьевой воды, выходящей с сооружений ВГСВ 2.9-3.6 мгО/дм³, при ПДК 5 мгО/дм³.

В результате выполненной санитарно-гигиенической оценки результатов исследований установлено содержание в питьевой воде нефтепродуктов, фенольного индекса, АПАВ. Содержание нефтепродуктов <0.05-0.017 мг/дм³, АПАВ среднегодовое содержание <0.025, фенольный индекс <0.0005-0.0006 мг/дм³ (таб.1). По данным гигиенического мониторинга средние концентрации железа в г. Ульяновске в питьевой воде системе централизованного водоснабжения Правобережья соответствуют оптимальному значению – среднегодовые показатели на выходе воды с сооружений < 0.04 мг/дм³. По российским нормам содержание железа не должно быть больше 0,3 мг/дм³. Сульфаты в питьевой воде не оказывают токсического эффекта для человека, однако могут ухудшать вкус воды - ощущение вкуса сульфатов возникает при концентрации 250-400 мг/дм³, при ПДК СанПиН 2.1.4.1074-01 500 мг/дм³. В питьевой воде ВГСВ среднегодовое содержание сульфатов 71-75 мг/дм³. Именно по органолептическому показателю — вкусу установлена ПДК для питьевой воды по содержанию хлоридов - 350 мг/дм³, лимитирующий показатель вредности — органолептический. Высокие концентрации хлоридов в питьевой воде не оказывают токсического эффекта на людей, хотя такая вода коррозионно активна по отношению к металлам, пагубно влияет на рост растений, вызывает засоление почв. Среднегодовое содержание хлоридов в питьевой воде, подающейся в Правобережную часть г.Ульяновска 19.5-22

мг/дм³. Микробиологический состав питьевой воды является основным показателем ее качества и пригодности потребления. Эпидемиологическая безопасность питьевой воды в СанПиН 2.1.4.1074-01 оценивается по нескольким показателям. Большая роль среди них отводится термотолерантным колиформам как истинным показателям фекального загрязнения и общим колиформам. Среднегодовые показатели в питьевой воде ОКБ и ТКБ, поступающей потребителям Правобережья – не обн, что соответствует СанПиН 2.1.4.1074-01. Анализы выполнялись ежедневно (некоторые ежемесячно). При анализе динамики качества питьевой воды за многолетний период выявлено, что значения некоторых показателей подвержены сезонным изменениям. Так, например среднемесячные значения показателей - мутность за 2013—2017гг, были подвержены сезонному повышению в ноябре, декабре, январе; минерализация – в январе, феврале; сульфаты- в январе, феврале; жесткость – в январе, феврале, марте.

Таким образом, информация, получаемая в результате мониторинга, в целом позволяет выявлять проблемы качества воды в системе водоподготовки, рекомендовать предупреждающие действия по стабилизации нормативных показателей качества, что приводит к грамотному управлению процессом водоснабжения и гарантирует качество поставляемой потребителю питьевой воды. По данным эколого-гигиенического мониторинга питьевая вода в г. Ульяновске признается доброкачественной и пригодной к употреблению без дополнительной обработки.

Таблица 1. Среднегодовые показатели питьевой воды ВГСВ

Показатель ПДКСанПиН 2.1.4.1074-01	2013г.			2014г.			2015г.			2016г.			2017г.		
	min	max	mean												

ТКБ															
КОЕ/100см ³	Н.0														
ПДК отсутствие	Н.0														

Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
2. Лопатин С. А. Современные проблемы водоснабжения мегаполисов и некоторые перспективные пути их решения / С. А. Лопатин, В. И. Нарыков, К. К. Раевский и др. // Гигиена и санитария. — 2004. — № 3. — С. 19—24.
3. Федорович Н.Н., Федорович А.Н., Нагерняк М.Г., Сухачева А.И. МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-15. – С. 3423-3427.
4. Мищенко А.В., Хузина Р.М., Соловьёв Д.А. Опыт применения молекулярного клонирования в идентификации бактерий полости рта человека // Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии: материалы I международной научно-практической конференции.. Ульяновск, 31 октября 2014. – Ульяновск: ФГБОУ ВПО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2014. С. 171-175.

Физико-математические науки

УДК 538.935

ББК 22.333

Электропроводность тонких плёнок

Алтунин Константин Константинович,

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова, г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Решена задача расчёта электропроводности тонких плёнок в магнитном поле. Численно исследованы зависимости относительной электропроводности плёнки от значений приведённых параметров толщины плёнки и величины магнитного поля. Показано, что возможен случай, когда сильно сказывается квантово-размерный эффект.

Ключевые слова: тонкая плёнка, электропроводность, магнитное поле, квантово-размерный эффект.

1. Введение

Изучение электропроводности полупроводников [1-16] является важной научно-технической задачей, поскольку для описания работы подавляющего большинства микроэлектронных приборов и устройств необходимо знание электропроводности, и связанных с ней величин. Важную область исследования при рассмотрении электропроводности полупроводников составляет теоретическая проблема отыскания электропроводности в различных полях [5-8]: электрическом, магнитном, скрещенном электрическом и магнитном полях и другие. Очень широкую область применения тематики работы видится в совершенствовании конструкции различных датчиков [3-6], работающих в различных полях или использующих

явление электропроводности в полупроводниках или в средах, в которых проявляются полупроводниковые свойства. Наиболее перспективными в данном направлении являются эффект Холла, эффект Гаусса [6-7] и квантовый эффект Холла [5-9].

В квазиклассической теории явлений переноса предполагается, что все изменения в системе и все приложенные потенциалы медленно меняются на расстояниях порядка межатомных, и применяется аппроксимация энергетических зон параболами. Предполагается также, что возможно описать электронные состояния с помощью волновых пакетов. Образование волнового пакета сопровождается появлением неопределённости в энергии рассматриваемых частиц. Почти всегда в расчётах кинетических свойств вводится приближение времени релаксации и получается линеаризованное уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации весьма правдоподобно и подтверждается большим числом экспериментов; тем не менее, оно, конечно, не может быть справедливым во всех случаях. Следует также отметить, что применение линеаризованного уравнения Больцмана связано с введением локальной плотности распределения, приводящее к появлению дополнительного ограничения для квазиклассической теории переноса.

Реальные кристаллы имеют одно неизбежное нарушение периодичности решётки, связанное с конечными размерами тел и наличием границ [3-4]. Рассмотрим, к каким изменениям спектра энергии приводит существование границ на одномерной модели потенциального поля. Поместим начало отсчёта координат на левой границе одномерного полубесконечного кристалла.

2. Время релаксации и механизмы рассеяния

Описание процессов рассеяния при помощи времени релаксации возможно, если при столкновении энергия носителей заряда мало изменяется и если процессы рассеяния приводят к случайному распределению скоростей [8-9, 14]. Время релаксации τ есть среднее время, в течение которого в системе существует неравновесное распределение носителей заряда после

выключения внешних полей. Так как установление равновесного состояния происходит в результате столкновений и при этом достаточно нескольких соударений, то τ может быть порядка времени свободного пробега электрона. С учётом этого длина свободного пробега определяется скоростью движения электрона и $\tau(\mathbf{k})$. Соударения могут быть упругими и неупругими. Соударения называются упругими, если кинетическая энергия сталкивающихся частиц сохраняется. Неупругие соударения - это соударения, в результате которых энергия частиц изменяется. Время релаксации для упругого соударения

$$\frac{1}{\tau(\mathbf{k})} = \sum_{\mathbf{k}'} W(\mathbf{k}, \mathbf{k}') \left(1 - \frac{\mathbf{k} \cdot \mathbf{k}'}{k^2} \right), \quad (1)$$

где $W(\mathbf{k}, \mathbf{k}')$ - вероятность в единицу времени перехода электрона из состояния \mathbf{k} в состояние \mathbf{k}' в результате рассеяния на каком-нибудь дефекте решётки. Функция $W(\mathbf{k}, \mathbf{k}')$ зависит от природы взаимодействия электронов с рассеивателем. Выражение (1) справедливо при выполнении трёх условий: малости отклонения от равновесия ($f_1 \ll f_0$), изотропности спектра $E(k_x, k_y, k_z) = E(k)$ и рассеяния, а также упругости рассеяния ($\mathbf{k} = \mathbf{k}'$). Тогда

$$\frac{1}{\tau(\mathbf{k})} = \frac{1}{4\pi^3 V_B} \int W(\mathbf{k}, \mathbf{k}') (1 - \cos\theta) d\tau_{\mathbf{k}'}, \quad (2)$$

где V_B - объём зоны Бриллюэна, θ - угол отклонения электрона от первоначального направления движения в результате столкновения. Таким образом, при рассмотрении процессов переноса основной задачей является вычисление неравновесной функции распределения f_1 , с помощью которой можно рассчитать все величины, характеризующие кинетические эффекты, например, плотность электрического тока, тепловой поток, энергию. Эта задача решается, если известно $\tau(\mathbf{k})$, а, следовательно, необходимо знание механизма рассеяния носителей заряда. Рассеяние, приводящее к случайному распределению скоростей (то есть к такому, при котором носители заряда рассеиваются под углом 180°) приводит к тому, что электрон, рассеиваясь,

попадает в \mathbf{k}' -состояние, которое находится возле того же минимума энергии, что и \mathbf{k} , но с противоположной скоростью. В этом случае имеем:

$$\frac{1}{\tau(\mathbf{k})} = \frac{1}{4\pi^3} \int_{V_B} W(\mathbf{k}, \mathbf{k}') d\tau_{\mathbf{k}'} . \quad (3)$$

В простейшем случае, когда зона имеет параболическую форму ($E(\mathbf{k}) = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_n}$ -

для электронов, $E(\mathbf{k}) = -E_g - \frac{\hbar^2 k^2}{2m_p}$ - для дырок, где E_g - ширина запрещённой

зоны) и движение носителей заряда описывается плоской волной ($\psi_{\mathbf{k}}(\mathbf{r}) = V^{-1/2} \exp(i\mathbf{k}\mathbf{r})$, где V - объём кристалла), время релаксации для всех упругих механизмов рассеяния сводится к следующей формуле:

$$\tau(\varepsilon) = \tau_{0r}(T) \left(\frac{\varepsilon}{kT} \right)^{r-1/2} , \quad (4)$$

Значение параметра рассеяния r и среднего времени релаксации $\tau_{0r}(T)$ для различных механизмов рассеяния приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения параметров для времени релаксации при различных механизмах упругого рассеяния.

Механизмы рассеяния	Параметр рассеяния r	$\tau_{0r}(T)$	A_{or}
Точечные дефекты (краткодействующий потенциал)	0	$\frac{\pi A^4}{m_n (2m_n k_0 T)^{1/2} U_0^2 N_d}$ $U_0 = const = \int U(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$ объёмный интеграл потенциала.	$\frac{\pi}{\hbar} U_0^2 N_d ,$ N_d - концентрация точечных дефектов
Акустические фононы	0	$\frac{2\pi \hbar^4 \rho v_0^2}{E_1^2 (2m_n k_0 T)^{3/2}}$	$\frac{\pi E_1^2 k_0 T}{\hbar \rho v_0^2}$

(потенциал деформации)		E_1 - константа потенциала деформации, $\rho = \frac{MN}{V}$ - плотность кристалла, N - число атомов примеси, V - объём кристалла, M - масса атомов примеси, v_0 - скорость звука в кристалле	
Неполярные оптические фононы. Высокие температуры ($k_0T \gg \hbar\omega_0$)	0	$\frac{2}{\pi} \left(\frac{\hbar\omega_0}{E_0} \right)^2 \frac{\hbar^2 a^2 \rho}{(2m_n k_0 T)^{3/2}}$ E_0 - константа оптического потенциала деформации, a - постоянная решётки	$\pi^3 \hbar \left(\frac{E_0}{\hbar\omega_0} \right)^2 \frac{k_0 T}{\rho a^2}$
Пьезоакустические фононы	1	$\frac{2\pi \hbar^2 \chi}{\ell^2 \Pi_0^2} \left(\frac{2}{m_n k_0 T} \right)^{1/2},$ $\Pi_0^2 = \frac{E_{pz}^2}{\chi \rho v_0^2}$ - безразмерный коэффициент электромеханической связи; E_{pz} - пьезоэлектрическая константа	$\frac{\pi \ell^2 k_0 T \Pi_0^2}{2 \hbar \chi}$
Ионы примеси	2	$\frac{\chi^2 (2m_n)^{1/2} (k_0 T)^{3/2}}{\pi \ell^4 N_i F_{np}(\varepsilon)},$ $F_{np}(\varepsilon) = \ln(1 + \beta) = \frac{\beta}{1 + \beta},$ $\beta = (2k_0 r_0)^2; r_0 = \left(\frac{\chi k_0 T}{4\pi \ell^2 n} \right)^{1/2},$	$\frac{2\pi^3 N_i F_{np}(k)}{\hbar \chi^2}$

		$N_i = \frac{N}{V}$ - концентрация атомов примеси; r_0 - радиус экранировки	
Полярные оптические фононы. Высокие температуры ($k_0T \gg \hbar\omega_0$)	1	$\frac{1}{2\alpha} \left(\frac{\hbar}{\omega_0 k_0 T} \right)^{1/2},$ $\omega_0 - \text{предельная частота,}$ $\alpha = \frac{\ell^2}{\chi \hbar} \left(\frac{m_n}{2\hbar\omega_0} \right)^{1/2}$	$\frac{2\pi^2 \ell^2 k_0 T}{\chi \hbar},$ $\frac{1}{\chi} = \frac{1}{\chi_\infty} - \frac{1}{\chi_0}$

Видно, что $\tau_{or}(T)$ почти для всех механизмов рассеяния от энергии не зависит, а $\tau(\varepsilon)$ является степенной функцией энергии.

Вероятность рассеяния над параболической зоной при различных механизмах рассеяния $W(\varepsilon) \approx \varepsilon^{-r}$, а для непараболической зоны $W(\varepsilon) \approx k(\varepsilon)^{-2r}$.

При понижении температуры носители заряда вымораживаются и при достаточно низких температурах в полупроводнике с одним типом примесей число нейтральных атомов примеси становится больше числа ионизованных примесей. Рассеяние на нейтральных атомах примеси можно рассматривать как рассеяние медленных электронов с массой m_n на атоме водорода, погружённого в среду с диэлектрической проницаемостью χ . Согласно формуле Эрджинся τ для этого механизма не зависит от энергии электронов и имеет вид:

$$\tau = \frac{m_n \ell^2}{20 \hbar^3 \chi N_0}, \quad (5)$$

где N_0 - концентрация нейтральных атомов примеси $N_0 = N_0(T)$, то есть с понижением температуры N_0 резко возрастает.

При низких температурах ($k_0T \ll \hbar\omega_0$) в случае рассеяния на полярных и неполярных оптических фононах τ от энергии не зависит ($r=1/2$) и для параболической зоны даётся формулами соответственно:

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{\rho a^2 \hbar^2 (\hbar\omega_0)^{1/2}}{E_0^2 m_n^{3/2}} \exp\left(\frac{\hbar\omega_0}{k_0T}\right), \quad (6)$$

$$\tau = \frac{1}{2a\omega_0} \exp\left(\frac{\hbar\omega_0}{k_0T}\right), \quad (7)$$

$$\frac{1}{\chi} = \frac{1}{\chi_\infty} - \frac{1}{\chi_0}, \quad (8)$$

χ_∞ и χ_0 - высокочастотная и статическая диэлектрические проницаемости кристалла, α - безразмерный параметр, введённый Фрелихом, который характеризует взаимодействие электрона проводимости с длинноволновыми продольными оптическими фононами в ионных кристаллах.

У одномерного кристалла, в элементарной ячейке которого находятся два атома, имеются две ветви колебаний; одна из них называется оптической частотой ω_1 , другая - акустической с частотой ω_2 .

В бесконечно длинной волне акустической ветви колебаний атомы движутся синхронно и в любой момент времени их отклонений от положения равновесия одинаковы, то есть ячейки смещаются как одно целое. Аналогичное положение имеет место при распространении упругих волн. Поэтому эта ветвь колебаний и была названа акустической. Таким образом, при малых значениях волнового вектора q акустическая ветвь колебаний соответствует обычным звуковым волнам и скорость их распространения равна скорости звука в кристалле, а $\omega_{ак} = v_{зв} q$.

В бесконечно длинной волне оптической ветви колебаний атомы ячейки смещаются в противоположных направлениях, они колеблются в противофазе, так что центр тяжести каждой пары атомов остаётся неподвижным. Если бы элементарную ячейку составляли ионы разного знака, то их колебания в противофазе привели бы к изменению электрического дипольного момента и,

следовательно, к поглощению и испусканию инфракрасного излучения. Поэтому колебания этого типа и были названы оптическими;

$\omega_{on} \cong \omega_0 \left(1 - \frac{\gamma^2 a^2}{32} q^2 \right)$ - частота оптических колебаний; $\omega_{on}(q) = \omega_{on}(0) = \omega_0$ -

длинные волны; $\omega_{ak}(0) = 0$, $\gamma^2 = 4 \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}$; m_1 и m_2 - массы атомов. Учитывая,

что в полупроводниковом кристалле существуют линейные дислокации, запишем для данного механизма рассеяния τ :

$$\tau_d = \frac{3}{8R_d v N_d}, \quad (9)$$

где R_d - радиус, N_d - поверхностная плотность дислокаций, v - скорость носителей заряда. Таким образом, обобщая вышеизложенную теорию, можно сделать вывод, что время релаксации τ характеризует скорость восстановления равновесного состояния, то есть неравновесная функция $f(t, \mathbf{k})$ будет стремиться к равновесной $f_0(\mathbf{k})$.

В реальных условиях опыта могут одновременно играть роль несколько механизмов рассеяния. Считая, что все механизмы рассеяния действуют одновременно и независимо друг от друга найдём τ . Полная вероятность рассеяния равна сумме вероятностей рассеяния на каждом типе рассеивающих центров. Тогда полное время релаксации имеет вид:

$$\tau^{-1} = \frac{1}{4\pi^3} \int \sum_{V_B} W(\mathbf{k}, \mathbf{k}') (1 - \cos\theta) d\tau_{\mathbf{k}} \quad (10)$$

или $\tau = \left(\sum_i \tau_i^{-1} \right)^{-1}$. Так как τ_i зависит от энергии, то и τ является функцией энергии, которую можно найти, подставив явное выражение $\tau_i(\varepsilon)$. Найдя $\tau(\varepsilon)$ и усреднив его, получим выражение для подвижности

$$\mu_d = \langle \mu \rangle = \frac{e \langle \tau \rangle}{m^*} = \frac{e}{m^*} \left\langle \frac{1}{\sum_i \tau_i^{-1}(\varepsilon)} \right\rangle. \quad (11)$$

3. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры

Для определения подвижности носителей заряда необходимо знание среднего времени релаксации. Но на времени релаксации существенным образом сказывается механизм рассеяния, поэтому при столкновении носителей заряда с разными по природе дефектами кристаллической решётки подвижность по-разному будет зависеть от температуры.

При рассеянии носителей заряда в атомных полупроводниках на акустических колебаниях решётки время релаксации равно:

$$\tau(\mathbf{k}) = \frac{\tau_0}{m_n^{*3/2}} T^{-1} \varepsilon^{-1/2} \quad (12)$$

и

$$\mu(T) = \frac{4\ell}{3\sqrt{\pi}} \frac{\tau_0}{\sqrt{k_0} m_n^{*5/2}} T^{-3/2}, \quad (13)$$

τ_0 - постоянная времени релаксации, зависящая от параметра решётки, от скорости распространения звуковой волны. В данном случае рассматривается полупроводник *n*-типа. Подвижность можно выразить и через длину свободного пробега:

$$\mu(T) = \frac{4e\ell}{3(2\pi m_n^* k_0 T)^{1/2}}. \quad (14)$$

Таким образом, подвижность. Обусловленная тепловыми колебаниями решётки, уменьшается с ростом температуры. Кроме того, величина подвижности обратно пропорциональна эффективной массе носителей заряда в степени 5/2. Действительно, как показывает опыт, подвижность электронов больше подвижности дырок, а полупроводников с малой эффективной массой носителей подвижность опять большая.

Подвижность при рассеянии на ионах примеси запишется в виде:

$$\mu_I(T) = \frac{8\sqrt{2}\varepsilon^2 k_0^{3/2} T^{3/2}}{\pi^{3/2} z^2 e^4 m_n^{*1/2} N_I \ln \left[1 + \left(\frac{3\varepsilon k_0 T}{ze^2 N_I^{3/2}} \right)^2 \right]}, \quad (15)$$

N_I - концентрация примесей, ε - диэлектрическая проницаемость.

Если пренебречь логарифмической зависимостью подвижности от температуры, что можно сделать при достаточно высоких температурах, то

$$\mu_I = \mu_{0I} T^{3/2}. \quad (16)$$

Из формулы (16) следует, что подвижность электронов, обусловленная рассеянием на ионах примеси, уменьшается при уменьшении температуры. Это происходит потому, что с увеличением температуры кристалла возрастает тепловая скорость носителей заряда. Это приводит к ослаблению взаимодействия носителей ионизированными атомами примеси, так как уменьшается длительность взаимодействия. Кроме того, при данной температуре подвижность уменьшается с увеличением концентрации примеси, которая увеличивает эффект рассеяния.

При рассеянии на нейтральной примеси, подвижность в явном виде не зависит от температуры:

$$\mu_A = \frac{e^3 m_n^*}{20\varepsilon \hbar^3} \frac{1}{N_A}, \quad (17)$$

N_A - концентрация нейтральных центров.

При рассеянии носителей заряда на дислокациях подвижность имеет следующий вид:

$$\mu_D(T) = \frac{eT^{-1/2}}{2^{3/2} \pi^{1/2} m_n^{*1/2} R N_D}. \quad (18)$$

Дислокацию в полупроводнике электронного типа можно уподобить линейному отрицательному заряду в виде бесконечно длинного цилиндра радиусом R , вокруг которого имеется положительный пространственный заряд. Электроны, взаимодействуя с отрицательно заряженной дислокацией,

испытывают отталкивание, что и приводит к рассеянию. N_D - плотность дислокаций на единицу поверхности.

Вклад различных механизмов рассеяния в суммарное время релаксации зависит от температуры кристалла. По мере изменения энергии носителей заряда роль одних механизмов рассеяния уменьшается, а роль других возрастает, поэтому характер движения носителей заряда под воздействием внешнего поля зависит от того, какой из механизмов рассеяния является преобладающим в данном интервале температур. При очень низких температурах можно учитывать только рассеяния на нейтральной примеси и дислокациях. С повышением температуры роль этих механизмов уменьшается по сравнению с рассеянием на ионах примеси. При высоких температурах доминирующим становится рассеяние фононах. Поэтому можно считать, что подвижность носителей в зависимости от температуры будет определяться соотношением вида:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{m^*}{e} \sum_i \frac{1}{\tau_i} = aT^{3/2} + bT^{-3/2}, \quad (19)$$

где a и b - постоянные величины. Как следует из формулы (19), в атомных полупроводниках с ростом температуры подвижность возрастает пропорционально $T^{-3/2}$, если рассеяние происходит только на ионах примеси, затем проходит через максимум и уменьшается пропорционально $T^{3/2}$, если рассеивающими центрами являются акустические фононы. Учитывая зависимость подвижности и концентрации носителей заряда от температуры, электропроводность собственного полупроводника будет:

$$\sigma = e n_i \mu_n + e p_i \mu_p = AT^{\frac{3}{2}+p} \exp\left(-\frac{\Delta E_g}{2k_0T}\right). \quad (20)$$

Множитель $T^{\frac{3}{2}+p}$ медленно меняется с температурой, тогда как множитель $\exp\left(-\frac{\Delta E_g}{2k_0T}\right)$ сильно зависит от температуры, если ширина запрещённой зоны

$\Delta E_g \gg k_0 T$. Следовательно, для не слишком высоких температур можно считать, что

$$AT^{\frac{3}{2}+p} = \sigma_0 = const, \quad (21)$$

p - показатель степени температурной зависимости подвижности. Тогда выражение (20) заменяется более простым:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E_g}{2k_0 T}\right). \quad (22)$$

В примесном полупроводнике при достаточно высоких температурах проводимость полупроводника является собственной, а при низких - примесной. В области истощения примеси концентрация основных носителей остается постоянной, и проводимость меняется вследствие изменения подвижности с температурой.

В заключении запишем общий вид температурной зависимости удельной электропроводности

$$\sigma(T) = \sum_{\alpha} e_{\alpha} n_{\alpha}(T) \mu_{\alpha}(T), \quad (23)$$

где все обозначения стандартные.

4. Характерные параметры полупроводниковых плёнок и размерные эффекты

Если длина волны де-Бройля намного меньше каждого из трёх параметров, то есть

$$\lambda \ll r, \ell, d, \quad (24)$$

то теория носит классический характер [1]. Здесь использованы стандартные

обозначения для теории переноса: $\lambda = \frac{2\pi \hbar}{\sqrt{2mE}}$ - длина волны де-Бройля, $\ell = v\tau$ -

длина свободного пробега, $r = v/\omega_c$ - радиус циклотронной орбиты, d - размер

образца. При этом если $d \gg \ell$, то взаимодействие носителей с границами

образца можно пренебречь и все кинетические свойства проводника

определяются рассеянием в объёме.

Когда нарушается неравенство (24) теория должна быть квантовой. В случае $\lambda \geq r$ магнитное поле является квантующим. Квантовомеханическое рассмотрение движения носителей тока в магнитном поле показывает, что их движение в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля, квантуется, причём энергетическое расстояние между соседними дискретными уровнями (уровни Ландау) равно $\hbar\omega_C$. В магнитном поле, удовлетворяющем условию $\hbar\omega_C \ll k_0T$ или $\hbar\omega_C \ll E_F$, квантование спектра становится несущественным. Такие магнитные поля называются классическими или не квантующими магнитными полями. При достаточно сильных магнитных полях и низких температурах, то есть $\hbar\omega_C \geq k_0T$ или $\hbar\omega_C \geq E_F$ (или $\lambda \geq r$) дискретность спектра становится важной. Такие магнитные поля называются квантующими.

Широкое применение тонких плёнок в современной технике, а также наблюдение новых физических явлений, связанных с ограниченными размерами образца, привели к их интенсивному исследованию. Эти новые явления, которые не имеют места в массивных образцах могут служить источником дополнительных сведений об основных физических свойствах кристалла: о структуре энергетических зон, о механизмах объёмного и поверхностного рассеяния носителей тока и т.д.

Понятие "тонкая плёнка" означает, что её толщина сравнима с величинами размерности длины, характерными для данного явления. Эффекты, возникающие в плёнках, разбиваются на две группы: квантовые и классические размерные эффекты. Первые из них имеют место, когда толщина плёнки становится порядка длины волны де-Бройля. Второй вид эффектов возникает, когда хотя бы один из параметров движения носителей заряда, имеющих размерность длины, становится порядка толщины пленки. Здесь будем рассматривать размерные эффекты только на длине свободного пробега по импульсу, то есть учтём влияние поверхностного рассеяния на явление переноса в полупроводниковых плёнках.

5. Кинетическое уравнение и граничные условия

Первая последовательная теория электропроводности в плёнках была предложена Фуксом на основе модели свободного электронного газа с параболическим изотропным законом дисперсии при отсутствии магнитного поля. Зондгеймер [1-2] распространил теорию Фукса на гальваномагнитные эффекты в поперечном магнитном поле и впервые предсказал осцилляции сопротивления в некантованном магнитном поле. Работы учёных были обращены на случай рассеяния от двух поверхностей с разной зеркальностью.

В отличие от металлов размерный эффект в полупроводниках необходимо анализировать с учётом приповерхностного пространственного заряда, то есть изгиба энергетических зон. Этот эффект впервые учёл Шриффер.

В стационарном случае $\partial f / \partial t = 0$ кинетическое уравнение записывается в следующем виде [1]:

$$\mathbf{v} \nabla_{\mathbf{r}} f - \frac{e}{\hbar} \left(\mathbf{E}_0 + \frac{1}{c} [\mathbf{v} \mathbf{H}] \right) \nabla_{\mathbf{k}} f = I(f),$$

где $I(f)$ - интеграл столкновений.

Когда размеры образца намного больше ℓ , то число носителей тока, взаимодействующих с поверхностью, намного меньше общего числа носителей, поэтому $I(f)$ определяется рассеянием на различных дефектах в объёме или на фононах. Если же размеры кристалла порядка ℓ , то взаимодействие носителей с поверхностью становится существенным и это учитывается в $I(f)$. Предполагая независимость рассеяния носителей в объёме и на поверхности, $I(f) = I_0(f) + I_s(f)$, где $I_0(f)$ и $I_s(f)$ есть интеграла столкновений, определяемые объёмным и поверхностным рассеянием, соответственно.

Интеграл столкновений, определяемый объёмным рассеянием определяется следующим образом

$$I_0(f) = -\frac{f_1}{\tau(E)} = -\frac{f - f_0}{\tau(E)},$$

где $f_1 = f - f_0$ - неравновесная поправка.

Поверхностное рассеяние учитывается с помощью граничных условий, полагаемых на функцию f . Впервые граничные условия были записаны Фуксом с помощью введения параметра зеркальности p , имеющего смысл: p показывает, что p -я часть электронов, падающих на поверхность, отражается зеркально, следовательно, $(1-p)$ -я часть рассеивается поверхностью диффузно, или p есть вероятность того, что электрон от поверхности отразится зеркально. При выполнении определённых условий, можно связать p с вероятностью перехода электрона из состояния $\mathbf{k}^-(k_x, k_y, -k_z)$ в состояние $\mathbf{k}^+(k_x, k_y, k_z)$ благодаря рассеянию на поверхностных дефектах, следующим образом:

$$p = 1 - \frac{1}{|V_z^-|} \int d\mathbf{k}_1^+ W(\mathbf{k}^-, \mathbf{k}_1^+),$$

где рассеяние упругое.

Диффузно отражённая часть электронов описывается f_0 , а " \pm " относятся к электронам с $\mathbf{k}_z > 0$ и $\mathbf{k}_z < 0$, соответственно (где ось z направлена перпендикулярно плоскости плёнки, толщиной d). Полная функция распределения электронов в плёнке:

$$f(\mathbf{k}, z) = f_0(\mathbf{k}) + f_1(\mathbf{k}, z).$$

Запишем граничные условия являющиеся описанием поверхностного рассеяния:

$$\begin{aligned} f^+(0, \mathbf{k}_z) &= pf^-(0, -\mathbf{k}_z) + (1-p)f_0, \quad z = 0, \\ f^-(d, \mathbf{k}_z) &= pf^+(d, -\mathbf{k}_z) + (1-p)f_0, \quad z = d, \end{aligned} \quad (25)$$

для неравновесной функции при $p_1 = p_2$ имеем условия:

$$f_1^+(0, \mathbf{k}_z) = pf_1^-(0, -\mathbf{k}_z), \quad z = 0,$$

$$f_1^-(d, \mathbf{k}_z) = p f_1^+(d, -\mathbf{k}_z), \quad z = d, \quad (26)$$

Граничные условия (25) и (26) предполагают, что значение p одинаково для обеих поверхностей. Однако практически трудно получить плёнку с идеально одинаковыми поверхностями. Обычно плёнка контактирует с изолирующей подложкой с одной стороны поверхности, с атмосферой или защитным слоем, с другой, и поэтому p будет различным, то есть p_1 и p_2 не равны. Лукас [1] обобщил граничные условия Фукса на случай $p_1 \neq p_2$ и вычислил проводимость без магнитного поля. Тогда граничные условия принимают вид:

$$\begin{aligned} f_1^+(0, \mathbf{k}_z) &= p_1 f_1^-(0, -\mathbf{k}_z), \quad z = 0, \\ f_1^-(d, \mathbf{k}_z) &= p_2 f_1^+(d, -\mathbf{k}_z), \quad z = d. \end{aligned} \quad (27)$$

6. Решение кинетического уравнения в полупроводниковых плёнках с изотропной зоной

Параметр зеркальности поверхности p является функцией энергии падающего электрона и угла падения $p = p(\mathbf{k})$:

$$\ell_y \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \frac{e\tau(\mathbf{k})}{cm(\mathbf{k})} [\Phi \mathbf{H}] + \Phi = \Phi_0. \quad (28)$$

уравнение для функции $\Phi(\mathbf{k}, z)$ в случае плёнки, $\ell_y = \tau(\mathbf{k})V_z$. Уравнение (28) отличается от предыдущих уравнений наличием $\ell_y \frac{\partial \Phi}{\partial z}$. Для решения уравнения (28) рассмотрим изотропный полупроводник в виде плоскопараллельной пластины, ограниченной по оси z , толщиной d . Вектор \mathbf{H} направим по оси z , то есть перпендикулярно поверхности плёнки. Получим систему уравнений для Φ_α :

$$\begin{aligned} \ell_z \frac{\partial \Phi_x}{\partial z} + \nu \Phi_y + \Phi_z &= \Phi_{0x}, \\ \ell_z \frac{\partial \Phi_y}{\partial z} - \nu \Phi_x + \Phi_y &= \Phi_{0y}, \\ \ell_z \frac{\partial \Phi_z}{\partial z} + \Phi_z &= \Phi_{0z}, \end{aligned} \quad (29)$$

где $\nu = \omega_0 \tau = \left(\frac{eH}{mc}\right)\tau$. Решая эту систему уравнений с учётом граничных условий, можно найти $\Phi_\alpha(z)$:

$$\begin{aligned}\Phi_x^\pm &= \frac{1}{1+\nu^2} \left[(1 \mp A_{1,2}) \Phi_{0x} - (\nu \mp B_{1,2}) \Phi_{0y} \right], \\ \Phi_y^\pm &= \frac{1}{1+\nu^2} \left[(1 \mp A_{1,2}) \Phi_{0y} + (\nu \mp B_{1,2}) \Phi_{0x} \right], \\ \Phi_z^\pm &= \left[1 \mp \frac{\ell_z}{d} \varphi_{1,2}(0) \right] \Phi_{0z}.\end{aligned}\quad (30)$$

Выражения (30) являются усреднёнными решениями системы. Подставляя $\Phi_\alpha(z)$ в уравнение для компонент тока, можно найти плотность тока

$$j_i = -\frac{\ell}{3\pi^2} \int \left(-\frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \right) \frac{\tau(\varepsilon)}{m(\varepsilon)} \Phi_i(\varepsilon) k^3(\varepsilon) d\varepsilon$$

Причём введены следующие значения для коэффициентов:

$$\begin{aligned}A_{1,2} &= \frac{\ell_z}{d} \frac{\left[(1-\nu^2) \operatorname{Re} \varphi_{1,2}(\nu) - 2\nu \operatorname{Im} \varphi_{1,2}(\nu) \right]}{1+\nu^2}, \\ B_{1,2} &= \frac{\ell_z}{d} \frac{\left[2\nu \operatorname{Re} \varphi_{1,2}(\nu) + (1-\nu^2) \operatorname{Im} \varphi_{1,2}(\nu) \right]}{1+\nu^2}, \\ \varphi_{1,2}(\nu) &= \frac{1-p_{1,2} + p_{1,2}(1-p_{2,1}) \exp(\mp s_z)}{1-p_1 p_2 \exp(\mp 2s_z)} \left[1 - \exp(\mp s_z) \right],\end{aligned}\quad (31)$$

$$s_z = \frac{d}{\ell_z} (1 - i\nu).$$

Функции представляют собой решение кинетического уравнения в произвольном некантованном магнитном поле с произвольным изотропным законом дисперсии.

7. Общий вид тензоров проводимости в плёнках

Используя выражения (30) и (31), можно получить общее выражение для тензоров проводимости σ_{ik} :

$$\sigma_{ik} = e^2 n \left\langle \frac{\tau}{m} \frac{\nu^{k-i}}{1+\nu^2} D_{ik} \right\rangle,\quad (32)$$

где введены следующие обозначения

$$D_{11} = 1 - \frac{3}{2\delta_F} \frac{[(1 - \nu^2)\text{Re } I - 2\nu \text{Im } I]}{1 + \nu^2},$$

$$D_{12} = 1 - \frac{3}{2\delta_F} \frac{[2\nu \text{Re } I + (1 - \nu^2)\text{Im } I]}{\nu(1 + \nu^2)},$$

$$I(p_1, p_2, s) = \int_1^\infty \left\{ \frac{[1 - \bar{p} + (\bar{p} - p_1 p_2)\exp(-sx)]}{1 - p_1 p_2 \exp(-2sx)} (1 - \exp(-sx)) \left(\frac{1}{x^3} - \frac{1}{x^5} \right) \right\} dx,$$

$$s = \delta_F(1 - i\nu), \quad \delta_F = d/\ell, \quad \bar{p} = (p_1 + p_2)/2.$$

Формула (32) представляет собой обобщение на случай, когда d/ℓ имеет произвольное значение. Функция D_{ik} характеризует влияние поверхностного рассеяния на кинетические эффекты. Если поверхностное рассеяние отсутствует ($p_1 = p_2 = 1$), то интеграл обращается в нуль, то есть $I(p_1, p_2, s) = 0$.

Пусть $D_{ik} = 1$ и выражение (22) переходит в выражения

$$\sigma_{11} = e^2 n \left\langle \frac{\tau}{m} \frac{1}{1 + \nu^2} \right\rangle, \quad \sigma_{12} = e^2 n \left\langle \frac{\tau}{m} \frac{\nu}{1 + \nu^2} \right\rangle$$

для массивного образца. Такой переход имеет место при $\delta_F = (d/\ell) \rightarrow \infty$, $p_i = 1$ по определению соответствует зеркальному отражению электрона от данной поверхности, причём отражение происходит без потери импульса, параллельно плоскости плёнки, что равносильно отсутствию поверхностного рассеяния.

8. Явления переноса в плёнках с произвольным законом дисперсии

В дальнейшем будем рассматривать явления переноса в плёнках с произвольным законом дисперсии при различных параметрах толщины плёнки по сравнению с характерными длинами пробега носителей заряда в плёнке.

8.1. Пленки в произвольном магнитном поле

Толщина плёнки и величина магнитного поля даются комплексным параметром $s = \delta_F(1 - i\nu)$. Рассматриваемым случаям соответствует условие $|s| = \delta_F \sqrt{1 + \nu^2} \gg 1$. В этом случае $I(p_1, p_2) = (1 - \bar{p})/4$, который не зависит ни от толщины δ_F ни от ν . Для D_{ik} имеем следующие выражения

$$D_{11} = 1 - \frac{3(1-\bar{p})}{8\delta_F} \frac{1-\nu^2}{1+\nu^2},$$

$$D_{12} = 1 - \frac{3(1-\bar{p})}{4\delta_F} \frac{1}{1+\nu^2}.$$

Учитывая эти выражения и подставляя их в (22), для компонент тензора электропроводности, получим:

$$\sigma_{ik} = \sigma_{ik}^M - \frac{3ne^2}{8} (1-\bar{p}) \left\langle \frac{\tau}{m} \frac{(2\nu)^{k-i} (1-\nu^2)^{2i-k}}{\delta_F (1+\nu^2)^2} \right\rangle, \quad (33)$$

где σ_{ik}^M - компоненты тензора электропроводности в массивном образце.

8.2. Плёнки в слабом магнитном поле

Разлагая в этом случае (33) по степеням $\nu \ll 1$ можно найти явный вид тензора электропроводности. Приведём результат для произвольной изотропной зоны, предполагая, что электронный газ сильно вырожден.

$$\rho_{th}(H) = \rho_M(H) + \frac{3(1-\bar{p})}{8\delta_F} \rho_M(0), \quad (34)$$

где $\rho_M(H)$ - сопротивление массивного образца в слабом магнитном поле, то есть $\nu \ll 1$, $\delta_F = d/\ell_F$. При отсутствии магнитного поля из (24) получается следующий результат

$$\frac{\rho_{th}(0)}{\rho_M(0)} = 1 + \frac{3(1-\bar{p})}{8\delta_F}. \quad (35)$$

Отсюда видно, что сопротивление плёнки самое большое значение имеет при диффузном рассеянии электронов проводимости на поверхностях, когда $p_1 = p_2 = 0$. Формула (35) справедлива для толстых плёнок $d \gg \ell_F$ с вырожденным электронным газом. Отношение удельных сопротивлений плёнки и массивного образца даётся формулой

$$\frac{\rho_{th}(0)}{\rho_M(0)} = \left[1 - \frac{3}{2\delta_F} I(p_1, p_2, 0) \right]^{-1}.$$

В тонких пленках ($\delta_F < 0.1$) сопротивление на порядок больше, чем в массивных образцах.

8.3. Отрицательное магнитосопротивление плёнки в сильном магнитном поле

В этом случае ($\nu \gg 1$) формула (33) применима для плёнок почти произвольной толщины ($\delta_F \geq 1$), так как она верна при $|s| \gg 1$, что выполняется, когда $\nu\delta_F \gg 1$. Если подставить (27) в выражение

$$\rho(H) = \frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{xy}^2}$$

и предположить, что электронный газ полностью вырожден, то для сопротивления вырожденных плёнок получим выражение:

$$\rho_{th}(H) = \rho_M(0) \frac{(1 + \nu^2) D_{11}(\nu, \delta_F)}{D_{11}^2(\nu, \delta_F) + \nu^2 D_{12}^2(\nu, \delta_F)}, \quad (36)$$

где введено обозначение для сопротивления массивного образца без магнитного поля при полном вырождении

$$\rho_M(0) = \frac{m}{e^2 n \tau}.$$

В формуле (36) берутся на границе Ферми. Для теоретического анализа, а также для сопоставления с экспериментом удобным является отношение изменения удельного сопротивления в магнитном поле $\Delta\rho = \rho_{th}(H) - \rho_{th}(0)$ к сопротивлению плёнки без поля $\rho_{th}(0)$. Из формулы (36) получим:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_{th}(0)} = \frac{(1 + \nu^2) D_{11}(\nu, \delta_F) D_{11}(0, \delta_F)}{D_{11}^2(\nu, \delta_F) + \nu^2 D_{12}^2(\nu, \delta_F)} - 1, \quad (37)$$

где введено сопротивление плёнки без магнитного поля

$$\rho_{th}(0) = \frac{\rho_M(0)}{D_{11}(0, \delta_F)}.$$

Из формулы (37) видно, что при переходе к массивному образцу ($D_{11} = D_{12} = 1$, так как $\delta_F \rightarrow \infty$), магнитосопротивление отсутствует. В случае же плёнки ($D_{11} \neq 1$ и $D_{12} \neq 1$), вообще говоря, $\Delta\rho/\rho_{th}(0)$ отлично от нуля в плёнках с изотропным спектром и при полном вырождении. Этот факт качественно можно объяснить наличием двух групп электронов проводимости в плёнке с различными $\tau(E)$: одна группа электронов, движущихся в плоскости плёнки,

имеет $\tau = \tau_{0\delta}$, а другая группа электронов, движущихся поперёк плёнки, характеризуется $\tau = \tau_s = d/v_z$. Это и есть необходимое условие возникновения магнитного сопротивления в проводнике.

В общем случае задача сводится к исследованию правой части уравнения (37) в различных ситуациях по толщине (параметр δ_F) и по влиянию магнитного поля (параметр ν). Для толстых плёнок в произвольном неквантованном магнитном поле ($\delta_F \gg 1, \nu$ - любые значения) отношение $\Delta\rho/\rho_{th}(0)$ будет следующим:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_{th}(0)} = -\frac{\nu^2}{1+\nu^2} \left(\frac{3(1-\bar{p})}{8\delta_F} \right)^2. \quad (38)$$

В пределе толстых плёнок ($\delta_F \gg 1$) при любом магнитном поле магнитное сопротивление отрицательно. В сильных магнитных полях ($\nu \gg 1$) магнитное сопротивление (38) насыщается и стремится к довольно большому отрицательному значению (см. рис. 2-6).

Отрицательность магнитного сопротивления, по-видимому, можно объяснить следующим образом: когда плёнка толщиной $d < \ell_F$ вносится в магнитное поле, перпендикулярное плоскости плёнки, то число носителей, не достигающих поверхности, растёт, а число электронов, рассеивающихся на поверхности, уменьшается. Так как не достигающие поверхности носители имеют длину свободного пробега $\ell_F > d$, то сопротивление в магнитном поле становится меньше, чем без него, а электропроводность соответственно больше.

8.4. Тонкие плёнки в слабом магнитном поле

В случае тонких плёнок ($\delta_F \ll 1$) $|s| \gg 1$ не выполняется, а верно неравенство $|s| \ll 1$, если магнитное поле несильное ($\nu \leq 1$). Рассмотрим тонкие плёнки в слабом магнитном поле ($\delta_F \ll 1, \nu \leq 1$) с произвольной изотропной зоной. В этом случае имеем выражение для относительного изменения удельного сопротивления плёнки

$$\rho_{th}(0) = \rho_M(0) \frac{4}{3\delta_F} \frac{1-p_1p_2}{(1+p_1)(1+p_2)} \frac{1}{(1-C-\ln\delta_F)}, \quad (39)$$

где $C = 0.5772$ - постоянная Эйлера. Формула (39) в случае тонких плёнок с различными коэффициентами зеркальности поверхностей p_1 и p_2 получена Юречке [1] и при $p_1 = p_2$ переходит в формулу, полученную впервые Чамберсом и Зодгеймером. Как видно из (29) при $\delta_F \ll 1$ сопротивление намного больше, чем в массивных образцах, а теплопроводность во столько же раз меньше. Формула (29) получена в предположении, что p_1 и p_2 намного меньше единицы.

Рассмотренные эффекты относятся к классическим размерным эффектам, когда d сравнима с ℓ , и в этом случае кинетические характеристики существенно зависят от толщины, а длина волны де-Бройля при этом считается намного меньше радиуса циклотронной орбиты, длины свободного пробега, толщины образца, то есть $\lambda \ll r, \ell, d$.

Список изменения параметров на расчётных графиках, изображённых на рис. 2-6. В левой колонке зависимости построены при следующих параметрах толщины плёнки $\delta_F = 0.8; 0.9; 1.0; 1.1; 1.2; 1.4; 1.5$ при этом ν изменяется в пределах от 0 до 8, а на графиках в правой колонке $\delta_F = 2.0; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0; 7.0; 8.0$ при этом диапазон изменения ν от 0 до 30. Параметры зеркальности поверхностей полупроводниковых плёнок p_1 и p_2 изменялись следующим образом:

$$p_1=0.1, p_2=0.0; \quad p_1=0.2, p_2=0.0,$$

$$p_1=0.3, p_2=0.0; \quad p_1=0.4, p_2=0.0,$$

$$p_1=0.5, p_2=0.0; \quad p_1=0.6, p_2=0.0,$$

$$p_1=0.7, p_2=0.0; \quad p_1=0.7, p_2=0.0,$$

$$p_1=0.9, p_2=0.0; \quad p_1=1.0, p_2=0.0,$$

$$p_1=0.0, p_2=0.1; \quad p_1=0.0, p_2=0.2,$$

$$p_1=0.0, p_2=0.3; \quad p_1=0.0, p_2=0.4,$$

$$p_1=0.0, p_2=0.5; \quad p_1=0.0, p_2=0.6,$$

$$p_1=0.0, p_2=0.7; \quad p_1=0.0, p_2=0.8,$$

$$p_1=0.0, p_2=0.9; \quad p_1=0.0, p_2=1.0,$$

$$p_1=1.0, p_2=0.0.$$

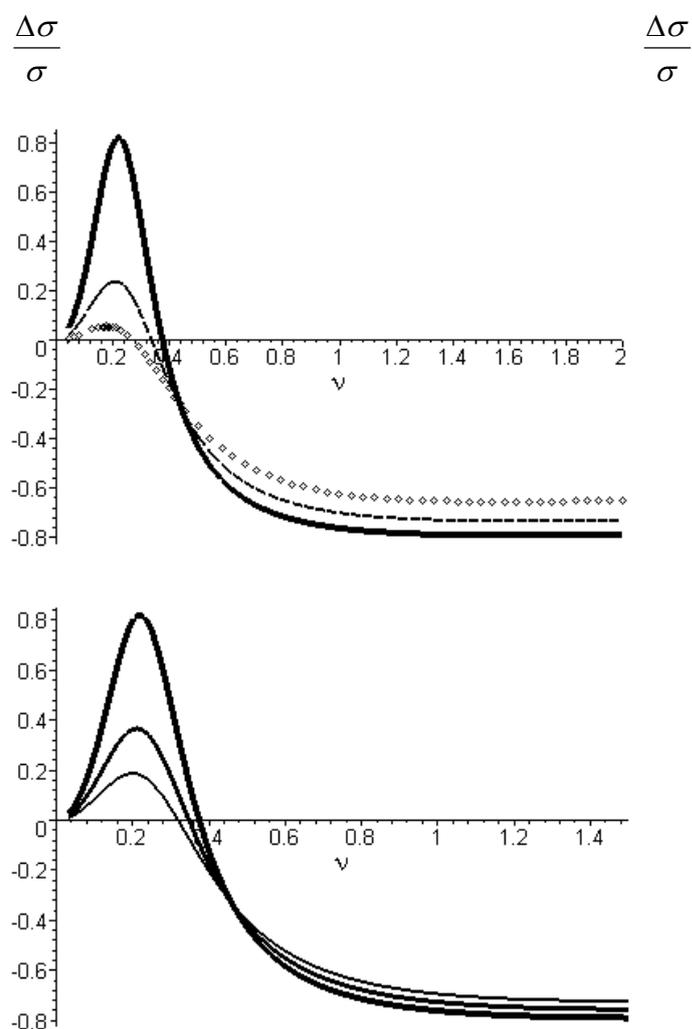


Рис. 1. Зависимость отношения изменения электропроводности в магнитном поле к электропроводности плёнки без поля при различных значениях параметров p_1 и p_2 .

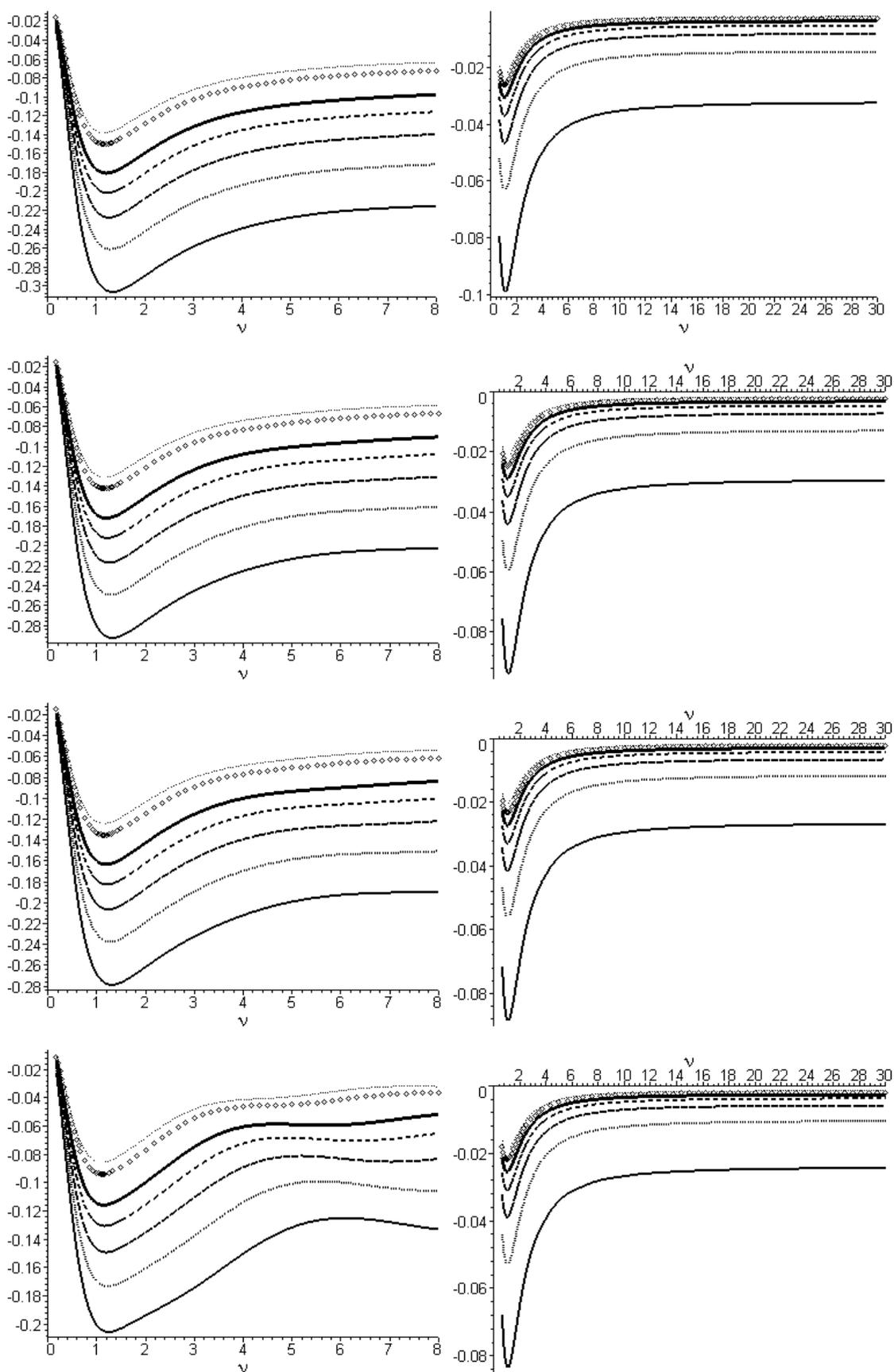


Рис. 2. Зависимость отношения изменения электропроводности в магнитном

поле к электропроводности плёнки без поля при различных значениях параметров p_1 и p_2 .

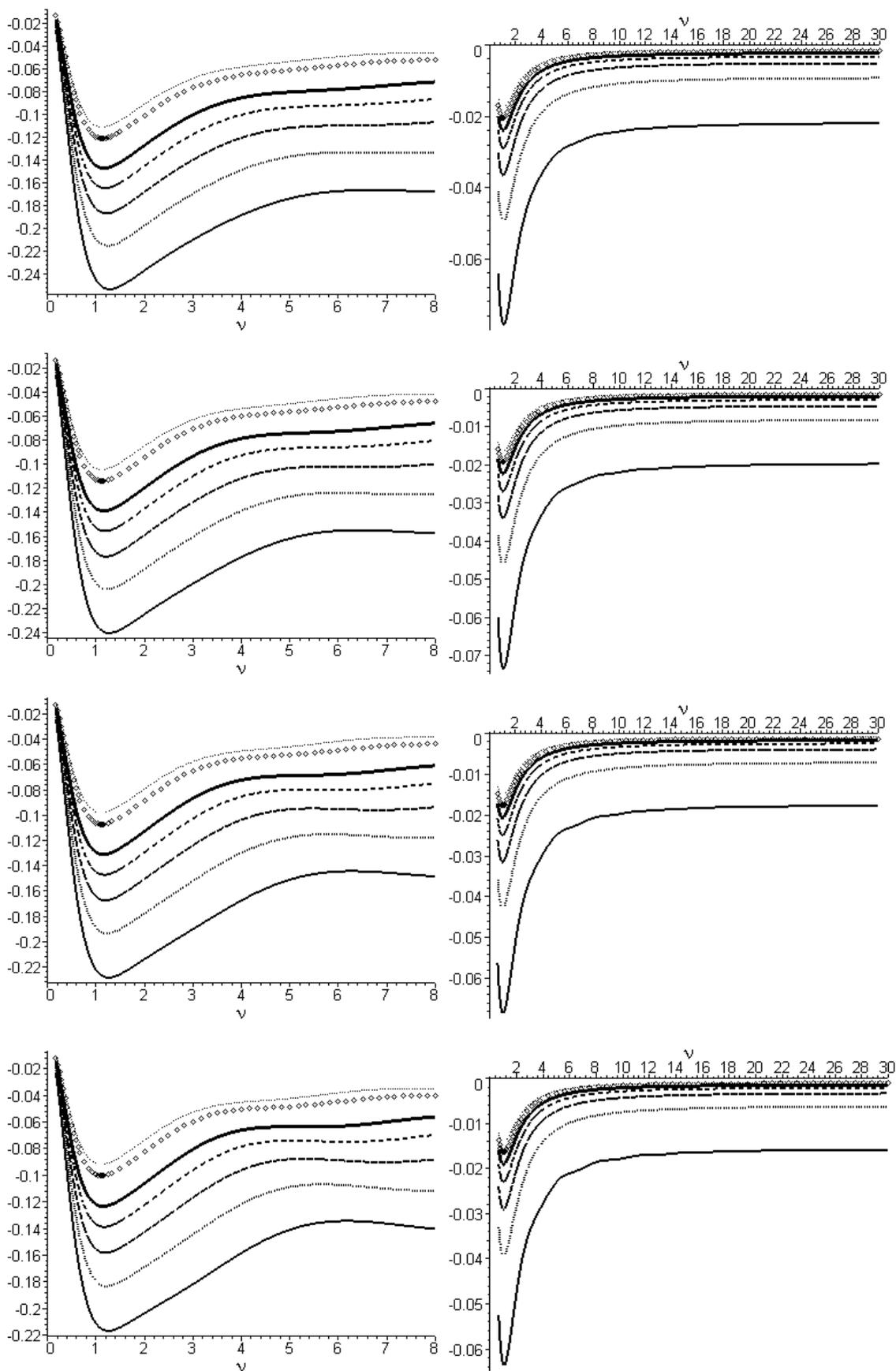
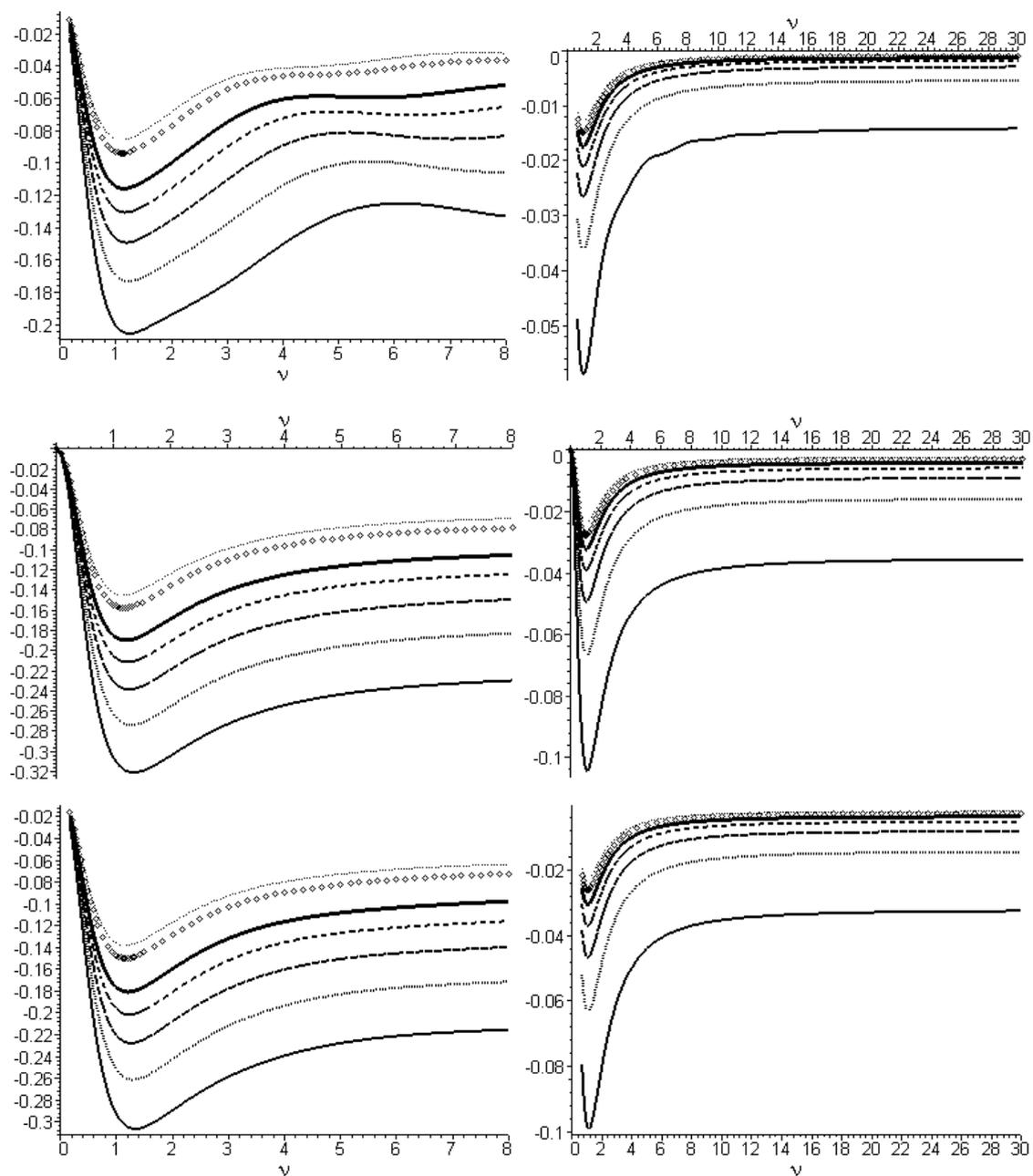


Рис. 3. Зависимость отношения изменения электропроводности в магнитном поле к электропроводности плёнки без поля при различных значениях параметров p_1 и p_2 .



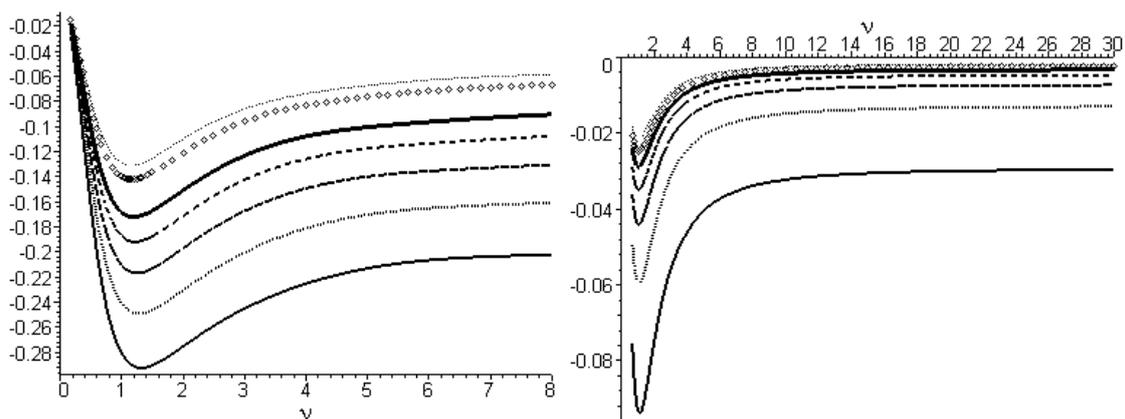
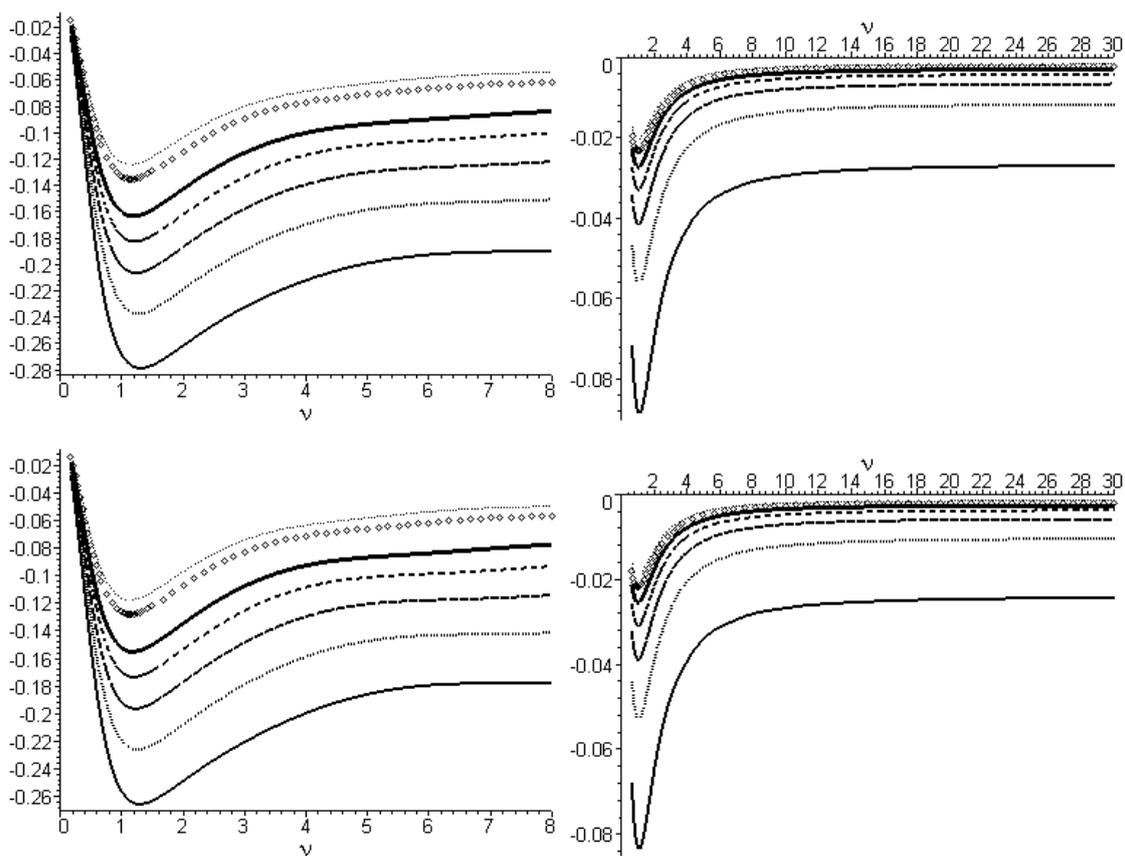


Рис. 4. Зависимость отношения изменения электропроводности в магнитном поле к электропроводности плёнки без поля при различных значениях параметров ρ_1 и ρ_2 .



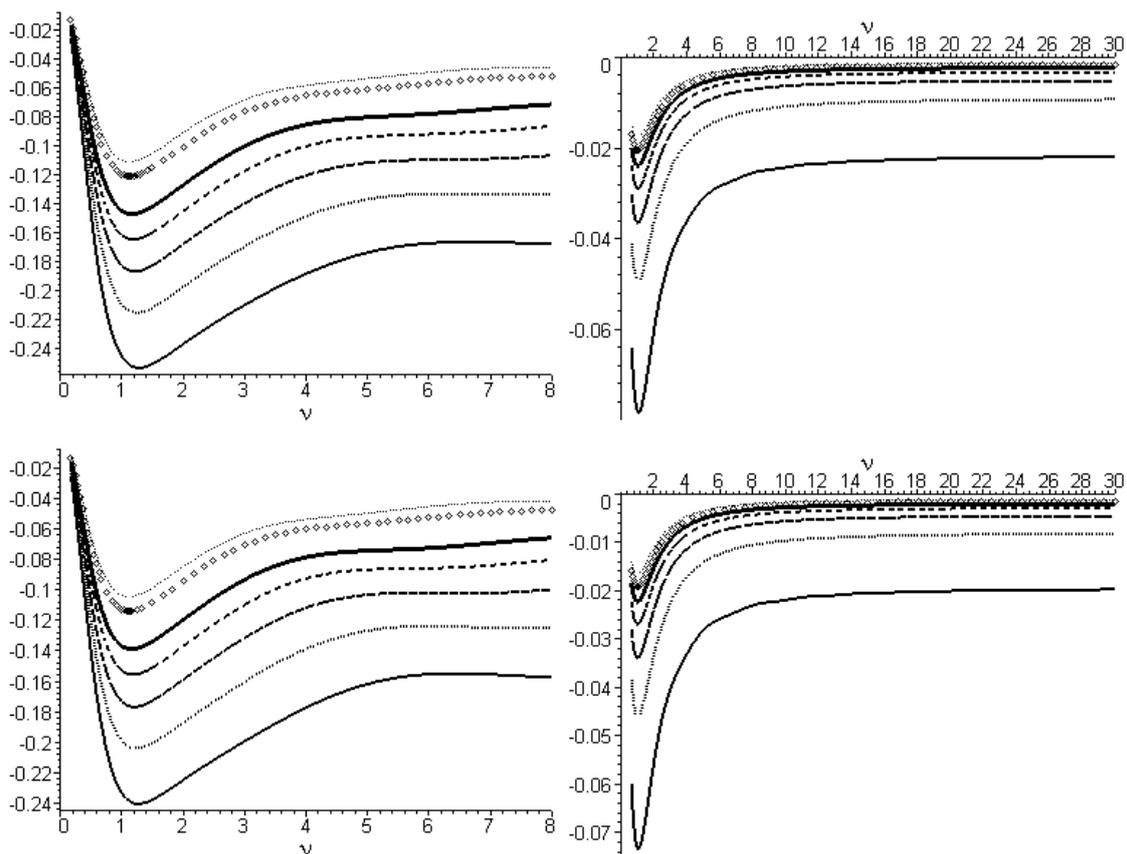


Рис. 5. Зависимость отношения изменения электропроводности в магнитном поле к электропроводности плёнки без поля при различных значениях параметров ρ_1 и ρ_2 .

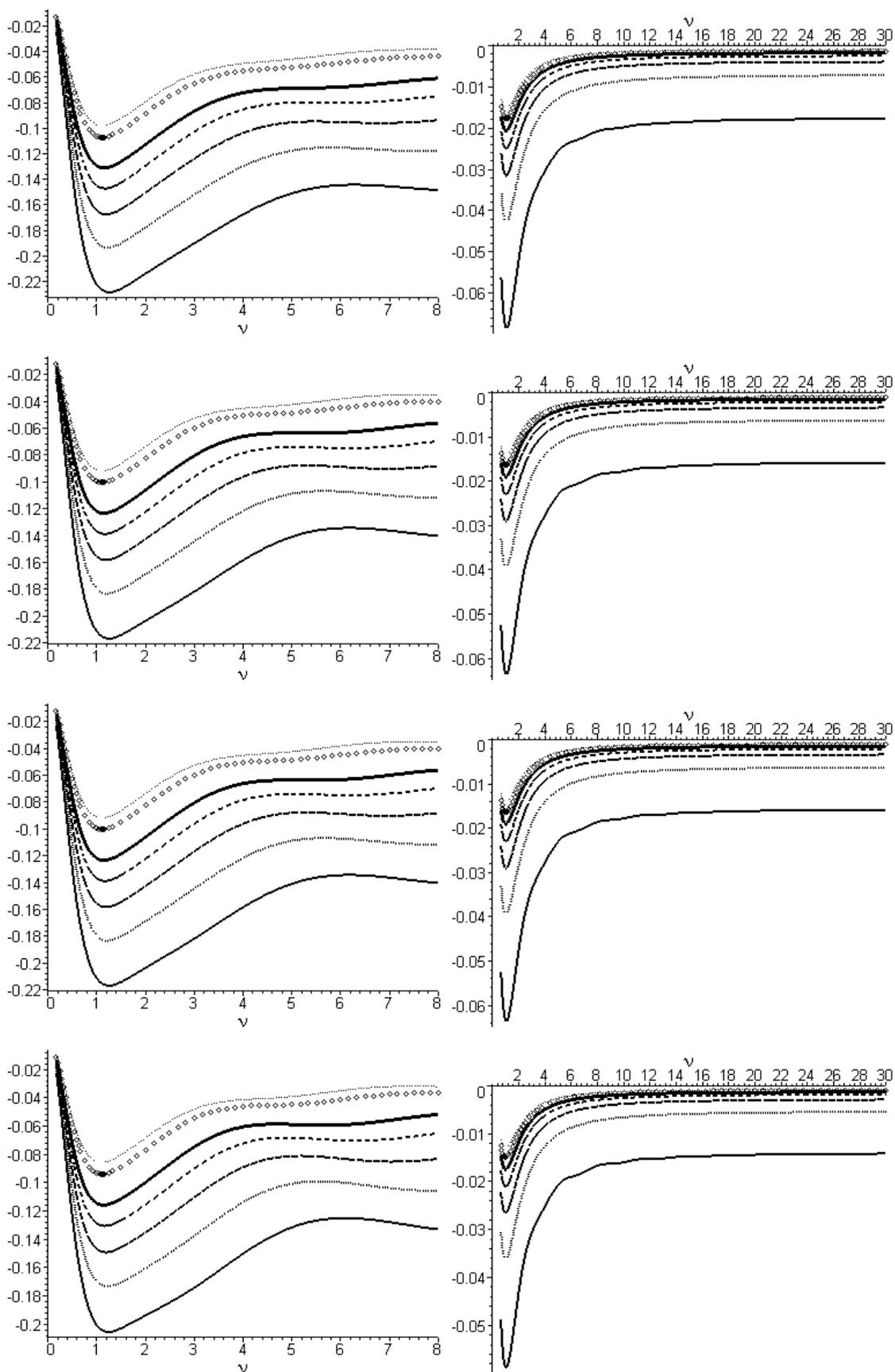


Рис. 6. Зависимость отношения изменения электропроводности в магнитном

поле к электропроводности плёнки без поля при различных значениях параметров p_1 и p_2 .

9. Обсуждение результатов

Исследовано явление электропроводности полупроводников в объёмных образцах и в плёнках, находящихся в скрещенных электрическом и магнитном полях. Проведено сравнение классической и квантовой теорий явления электропроводности полупроводников и полупроводниковых плёнок. Показано, что в отличие от массивных образцов, в вырожденных плёнках с изотропным законом дисперсии магнитное сопротивление отлично от нуля и может быть отрицательным. Этот факт может оказаться полезным при создании быстро переключающихся полупроводниковых приборов, работающих в различных полях. Показано существование квантового размерного эффекта в тонких и сверхтонких плёнках. Когда толщина плёнки d порядка длины волны де-Бройля носителей тока, то в этом случае поперечное движение носителей квантуется, и спектр становится частично дискретным, то есть имеет место квантово-размерный эффект. Исследование электропроводности полупроводниковой плёнки в магнитном поле имеет непосредственное отношение к проблеме построения квантового компьютера на плёнках и слоистых структурах в магнитном поле на основе квантового эффекта Холла [15]. Наличие участка отрицательной относительной электропроводности (рис. 1-6) открывает возможность конструирования квантового логического элемента на квантовом размерном эффекте в плёнках и слоистых структурах, а также обеспечит возможность повышения быстродействия при переключении квантового логического элемента.

Список литературы

5. Б. М. Аскеров. Электронные явления переноса в полупроводниках. Москва: Наука, 1985. - 320 с.
6. А. В. Ржанов. Электронные процессы на поверхности полупроводников, Москва: Наука, 1971. - 480 с.

7. В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников. Физика полупроводников. Москва: Мир, 1977. - 678 с.
8. И. М. Викулин, В. И. Стафеев. Физика полупроводниковых приборов. Москва: Радио и связь, 1990. - 150 с.
9. Квантовый эффект Холла. Сборник статей. (Новости физики твёрдого тела). / Сост. А. Я. Шик и Ю. В. Шмарцев. Москва: Мир, 1986. - 232 с.
10. Е. Н. Бормонтов. Квантовый эффект Холла // Соросовский образовательный журнал, 1999, N. 9. с. 81-88.
11. О. В. Кибис. Квантовый эффект Холла // Соросовский образовательный журнал, 1999, N. 9. с. 89-93.
12. К. Ф. Клитцинг. Квантовый эффект Холла; Нобелевская лекция 1985 г. // Успехи физических наук, 1986, Т. 150, N. 1. с. 107-126.
13. Э. И. Рашба, В. Б. Тимофеев. Квантовый эффект Холла. // Физика и техника полупроводников, 1986, Т. 20, вып. 6. с. 977-1024.
14. Л. В. Карабутов, М. С. Нугупаров. Квантовый эффект Холла в полупроводниках и перспективы его использования в науке и технике. // Итоги науки и техники. Электроника. Москва: ВИНТИ, 1990, Т. 27. с. 135-173.
15. С. М. Чудинов, В. А. Кульбачинский, Дж. Манчини, Б. К. Медведев, Д. Ю. Родичев. Квантовый эффект Холла и g-фактор 2D-электронов в гетероструктурах на основе GaAs. // Физика и техника полупроводников, 1990, Т. 24, вып. 11, с. 1905-1910.
16. И. М. Викулин, М. А. Глауберман, Н. А. Канищева, В. В. Козел. Тиристор, переключаемый магнитным полем. // Физика и техника полупроводников, 1990, Т. 24, вып. 11, с. 1959-1962.
17. Н. И. Добринска, Ц. И. Михайлова, И. Б. Велчев. Датчики Холла (холлотроны) на основе арсенида галлия. // Микроэлектроника, 1991, Т. 20, вып. 2, с. 183-188.

18. Н. И. Солин, Н. М. Чеботаев. Магнитосопротивление и эффект Холла магнитного полупроводника HgCr_2Se_4 в сильных магнитных полях. // Физика твёрдого тела, 1997, Т. 39, N. 5, с. 848-852.
19. К. К. Алтунин. Квантовый компьютер на основе квантового эффекта Холла. // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники, 6-7 декабря 2001 г., Ульяновск, УлГТУ, 2001. с. 11-12.

УДК 535.3

ББК 22.37

Исследование электронного образовательного ресурса по теме "Фотоэффект" в системе дистанционного обучения MOODLE

Алтунин Константин Константинович,

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова,
г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Рассматривается описание созданного электронного образовательного ресурса по теме "Фотоэффект" в системе дистанционного обучения MOODLE. Электронный образовательный ресурс по теме "Фотоэффект" может быть использован в школьном и вузовском курсе физики.

Ключевые слова: фотоэффект, электронный образовательный ресурс, MOODLE, курс физики.

В работе рассматриваются теоретические и методические проблемы использования электронного образовательного ресурса по теме "Фотоэффект" в системе MOODLE. Работа посвящена описанию электронного

образовательного ресурса по теме "Фотоэффект", который может быть использован в школьном и вузовском курсе физики.

В [1] проводилось сравнение информационных образовательных сред и электронных учебников на примере темы из курса физики.

В настоящее время наиболее популярными системами дистанционного обучения являются: Joomla LMS, MOODLE, Sakai, ATutor, LAMS, Claroline, Dokeos, OLAT, OpenACS, ILIAS, Docebo, eFont.

В [2] были рассмотрены проблемы учебно-методических пособий для системы дистанционного образования. В [3] рассматривалась технология проектирования и разработки гибких дистанционных обучающих курсов на основе телематики. В [4] была разработана теория и практика дистанционного обучения. В [5] рассматривались перспективные системы дистанционного обучения на платформе Microsoft Office Sharepoint Server 2007 в современном образовании.

Основой MOODLE являются курсы, которые состоят из деятельностных элементов и ресурсов. Система поддерживает около двадцати деятельностных элементов (форумы, глоссарии, задания, тесты, опросы, SCORM-пакеты, базы данных и т. д.), и каждый элемент за счёт богатых настроек может использоваться очень разнообразно.

Модульная организация системы MOODLE обеспечивает гибкость при модернизации системы с учётом особенностей учебного процесса. Открытый код системы позволяет адаптировать функции системы в соответствии с требованиями преподавателей и студентов и обеспечивает легкость согласования интерфейсов с существующими программными средствами. Одно из важных свойств MOODLE — универсальность. Эту систему дистанционного обучения можно устанавливать практически на любую платформу, под управлением любой из распространенных в настоящее время операционных систем.

Первоначальное краткое описание разработки электронного образовательного ресурса по теме "Фотоэффект" было сделано в работе [1]. В

работе проводится анализ созданного курса в системе MOODLE по теме "Фотоэффект" в системе дистанционного обучения Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова. Вид структуры модулей курса показан на рис. 1.

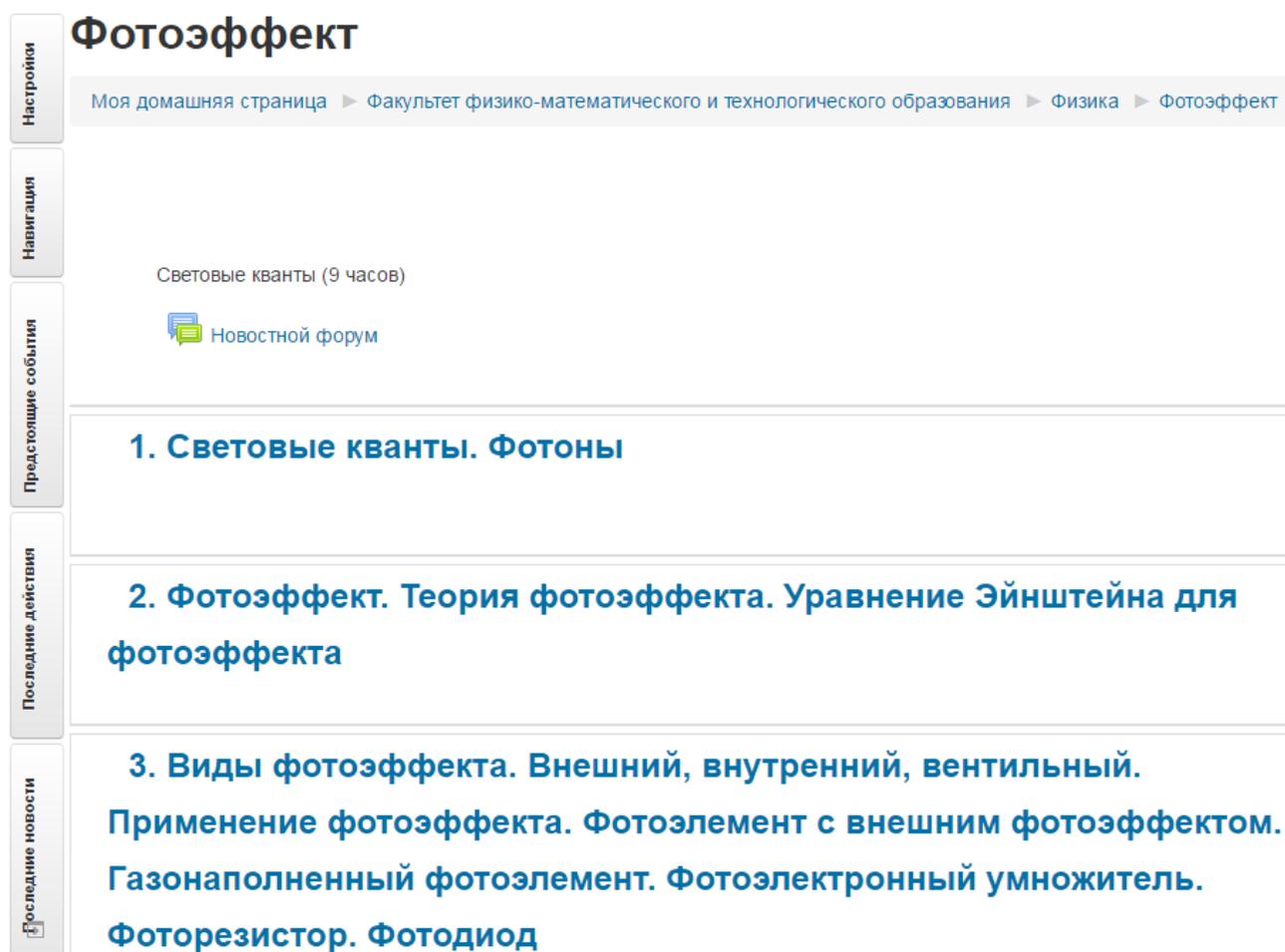


Рис. 1. Изображение структуры модулей курса "Фотоэффект" в системе дистанционного обучения MOODLE.

Можно выделить следующие особенности, которые привносит система дистанционного обучения при изучении рассматриваемого курса: кроме основного курса по изучаемой дисциплине, используется материал для подготовки в домашних условиях (предусмотрено использование электронных учебников, справочных информационных систем), который позволяет расширить учебное содержание; дифференциация учебного

материала в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами слушателя.

Использование технологий дистанционного образования как дополнительного средства позволит: иметь возможность самостоятельно изучить дополнительную информацию параллельно с базовым курсом; реализовать принципиально новый уровень доступности образования, сняв временные, географические и прочие ограничения, при сохранении его качества; объединить очную и заочную формы обучения, совершенствуя и развивая их, максимально используя достоинства индивидуального обучения (эффективность) и массового (экономичность); использовать богатые возможности информационных технологий в представлении учебного материала, делая его максимально наглядным, а потому понятным и запоминающимся; создать условия для непрерывного образования; освободить преподавателя от некоторых функций передатчика информации, консультанта и контроллера, а также освободить время для индивидуальной, дополнительной работы с обучаемым; реализовывать технологию обучения, распределенную во времени (обучаемый не привязан к времени занятия и к преподавателю, а значит, может обучаться в удобном для него темпе); развить навыки самостоятельной работы, востребованные в современной жизни и повысить сознательность, активность обучающихся при руководящей роли преподавателя; уменьшить материальные расходы на обучение.

Рассмотрены методические аспекты создания и применения электронных курса по теме "Фотоэффект" в системе дистанционного обучения MOODLE. Сейчас, когда идёт повсеместное внедрение средств новых информационных технологий в образовательный процесс, остро ощущается нехватка программных средств. Электронный образовательный ресурс расширит возможности традиционного обучения, сделает учебный процесс более разнообразным. Его использование позволит не только улучшить и закрепить получаемые знания, но и увеличить интерес к занятиям по физике. Использование электронного образовательного ресурса по теме "Фотоэффект"

в системе MOODLE способствует интенсификации учебно-воспитательного процесса, более осмысленному изучению материала, приобретению навыков самоорганизации, превращению систематических знаний в системные, помогает развитию познавательной деятельности обучаемых и интереса к предмету. У обучаемых, прошедших обучение с использованием обучающей программы происходит не только существенное развитие логического мышления, но и значительно повышается уровень рефлексивных действий с материалом, изучаемым на занятиях. Электронный образовательный ресурс, созданный в системе MOODLE, способен стать эффективным помощником, автоматизирующим наиболее трудоёмкие элементы труда преподавателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтунин К. К., Коннова Т. С. Исследование информационных образовательных сред и электронных учебников на примере темы «Фотоэффект» // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, 27 апреля 2016 года. – Ульяновск : Типография «Вектор-С», 2016. — С. 11–16.
2. Андреев А. А., Солдаткин В. И., Лупанов К. Ю. Проблемы разработки учебно-методических пособий для системы дистанционного образования // Применение новых технологий в образовании. Материалы IX Международной научно-практической конференции (Москва, 3-5 июня 1998 г.). М.: АТИСО, 1998.
3. Довгялло А. М., Колос В. В., Кудрявцева С. П. Технология проектирования и разработки гибких дистанционных обучающих курсов на основе телематики // Управляющие системы и машины. 1999. № 1. С. 79-95.
4. Полат Е. С., Буханкина М. Ю., Моисеева М. В. Теория и практика дистанционного обучения. М.: Академия, 2004. - 416 с.
5. Путькина Л. В., Деревинский Д. О. Системы дистанционного обучения на платформе Microsoft Office Sharepoint Server 2007 // Дистанционное

обучение в высшем профессиональном образовании: опыт, проблемы и перспективы развития: тезисы докладов 2 Межвузовской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 10 июня 2009 г.). Санкт-Петербург, 2009. С. 94-97.

УДК 519:85, 65:01

ББК 22:18, 65:290

**Математическое моделирование систем массового обслуживания:
методика принятия управленческих решений с помощью модели**

Глухова Наталья Владимировна,

кандидат биологических наук, доцент кафедры высшей математики,
ФГБОУ ВО «Ульяновский Государственный педагогический
университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Ульяновск, Россия

Аннотация. В работе рассматривается математическая модель Колмогорова-Эрланга для систем массового обслуживания с отказами и очередями. Приводится алгоритм построения системы дифференциальных уравнений по схеме переходов для данной модели и показано, какие практические выводы можно сделать при помощи данной модели. В частности, описана методика оценки рентабельности увеличения численности штата (числа каналов обслуживания) или его сокращения. Приведены конкретные примеры ситуаций, в которых изменение численности штата является выгодным или невыгодными. Описаны условия, в которых для произвольной системы массового обслуживания с очередью необходимо введение искусственных ограничений на очередь (система предварительной записи).

Ключевые слова: системы массового обслуживания, вероятность, пропускная способность, отказ, очередь.

В литературе можно встретить различные определения систем массового обслуживания (с.м.о.), но все они содержательно сходны. Например, с.м.о. называется система, состоящая из нескольких (возможно одного) пунктов, предназначенных для обслуживания клиентов, которые случайным образом обращаются в данную систему [11, с. 47], [4, с. 34]. Б.А. Горлач определяет с.м.о. как системы, в которых на входе располагаются запросы на обслуживание, на выходе же – оказанные услуги [9, с. 269]. Примерами с.м.о. являются магазины, справочные, рестораны, почтовые отделения, службы консультирования по телефону, мастерские – то есть любые системы, предлагающие некоторые услуги, обратиться за которыми клиенты могут в случайное время (разумеется, в рамках времени работы) [2, с. 132]. Анализу деятельности с.м.о. посвящено большое количество литературы, в основном по исследованию операций. Большая часть источников является, на наш взгляд, перегруженной теоретической математической информацией. Так в работе [5, с. 950] отмечается сложность для восприятия менеджерами абстрактных математических рассуждений при решении задач динамического программирования. Это же можно отнести и к задачам, касающимся анализа с.м.о. Тем не менее, вопросы исследования операция имеют самое широкое практическое применение в сфере не только менеджмента, но и социальной [6, с. 130] и гуманитарной [7, с. 215 – 217] деятельности, в которой работают специалисты в большинстве не имеющие глубокого математического образования, для которых работа с математическими объектами сопряжена с серьезными трудностями [8, с. 133]. Поэтому важной задачей представляется максимальное упрощение методов решения задач, возникающих в процессе принятия решений. В то же время имеются и работы, впадающие в другую крайность. В них без каких-либо обоснований даются готовые формулы, по которым рассчитываются основные характеристики с.м.о. Формулы эти громоздки, часто содержат не совсем понятные по смыслу задачи обозначения,

сложны для запоминания. В качестве примера можно указать формулу для расчёта вероятности простоя p_0 , которая без вывода приводится в работах [1, с. 262], [9, с. 283] для простейшего случая с.м.о. с отказами в установившемся режиме:

$$p_0 = \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{2!\mu^2} + \dots + \frac{\lambda^n}{n!\mu^n}\right)^{-1}.$$

Данная величина p_0 затем в этом же параграфе используется как составная часть ещё в пяти формулах. И это только самый простой случай – в с.м.о. с очередями формулы становятся еще более громоздкими. Кроме того, применение формулы без понимания того, откуда она получилась, приводит не только к недоверию к результатам расчётов, но и к ошибочному её применению в тех ситуациях, к которым она неприменима (не формируется представление о сфере применимости модели, как это можно видеть в работе [1, с. 254 – 266]).

В тоже время, можно решать задачи по оптимизации с.м.о. и без глубокого изучения математической теории Марковских процессов. В настоящей статье мы опишем, следуя в основном работе [2, с 126 – 150] с некоторыми упрощениями, схему вывода дифференциальных уравнений Колмогорова-Эрланга, укажем алгоритм составления уравнений без подробностей вывода, приведем примеры применения вероятностных характеристик с.м.о., работающих в стабильном режиме. При этом будет использоваться минимум математического аппарата, доступный даже школьникам – потребуется только умение решать простейшие системы линейных уравнений, а также знание понятий «производная» и «вероятность» и формулы суммы геометрической прогрессии. Кроме того, в большинстве работ по с.м.о. при анализе моделей ограничиваются расчётом вероятностных характеристик без указания конкретного практического применения этих результатов. В качестве исключений можно отметить работу [3, с. 119], в которой предлагается определить число каналов, требуемое для того, чтобы обслуживались не менее 80 % заявок (в указанной работе задача решается по готовым громоздким

формулам при помощи программы Excel), а также работу [2, с. 146], в которой делается намёк на оптимизационную задачу, которую в этой работе не решают, а лишь предлагают сформулировать и решить «неленивому и любопытному читателю», и имеется задача о сравнении двух способов организации железнодорожных касс [2, с. 153 – 155]. В настоящей работе мы постараемся сделать акцент именно на практической применимости результатов к принятию конкретных управленческих решений.

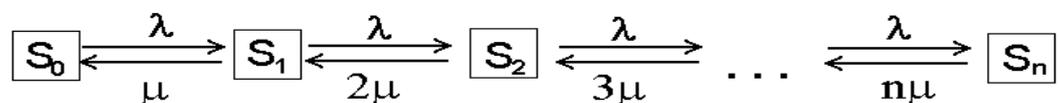
Будем называть процесс обращения посетителей *потоком заявок*, а среднее количество обращений от клиентов за определённое время называется *интенсивностью* этого потока (обозначим её λ , как это принято в теории марковских процессов [2, с. 118]). Например, если в с.м.о. в среднем обращается один посетитель за 3 минуты, то $\lambda = 1/3$ з/мин. Поток посетителей, покидающих систему после того, как их обслужили, также обладает интенсивностью. Среднее количество клиентов, обслуживаемых одним каналом за определённое время будем обозначать символом μ . Например, если среднее время обслуживания одного клиента (T) составляет 5 минут, то скорость обслуживания составляет $1/5$ заявки в минуту ($\mu = 0,2$ з/мин). Будем также полагать, что оба потока, протекающие в системе, являются стационарными, ординарными и не имеют последствия (подробнее с этими понятиями можно ознакомиться в работах [2 с. 118 – 120], [4, с. 35]).

Модели с.м.о. распадаются на два больших класса – *с отказами* (например, системы обслуживания по телефону – если клиент звонит на линию, по которой в данный момент разговаривают, то клиент слышит короткие гудки и вынужден звонить повторно в другое время) и *с очередью* (например, в супермаркете, если все кассы заняты, то покупатель становится в очередь). Важно также различать модели по типу очереди, которые могут быть неограниченными или ограниченными.

Пусть имеется с.м.о. с отказами с n пунктами обслуживания (каналами). В таком случае, данная система может находиться в одном из $n + 1$ состояний:

S_0 – все свободны, S_1 – в системе находится один посетитель и один пункт занят, ... , S_n – все пункты заняты. Здесь, для простоты, примем, что обслуживающий персонал во всех пунктах работает с одинаковой скоростью, поэтому важно только общее количество работающих пунктов, а не то, какие конкретно пункты работают. Например, если регистратура в поликлинике с тремя окошками обслуживает 2 пациентов, то важно, что одно окошко свободно; какое именно – неважно (это справедливо, если работники регистратуры работают одинаково; если один работает медленнее, чем другие то требуется более детальный анализ).

В начальный момент работы системы (когда она только открылась) в ней ещё нет заявок, следовательно, с.м.о. находится в состоянии S_0 . При первом обращении с.м.о. переходит в состояние S_1 . Скорость этого перехода определяется интенсивностью λ . Из состояния S_1 система может перейти как в состояние S_2 (с той же интенсивностью λ), так и в S_0 (заявка обслужена и система снова свободна, скорость данного перехода характеризуется величиной μ). Аналогично из S_2 с.м.о. может перейти в состояние S_3 (появилась третья заявка, три канала заняты, интенсивность λ), или в S_1 (переход от S_2 к S_1 осуществляется со скоростью 2μ , так как в состоянии S_2 уже работает два пункта, а значит и их общая скорость в два раза больше). Продолжая аналогичные рассуждения, можем составить следующую схему:



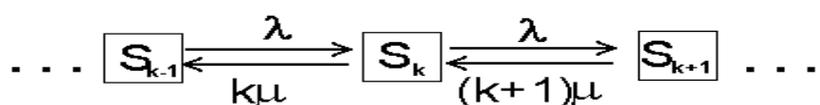
Обозначим через $p_k(t)$ вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии S_k . Опишем теперь, чему будет равна вероятность того, что система будет находиться в состоянии S_k через небольшой промежуток времени Δt . Вероятность каждого перехода из одного состояния в другое за указанный промежуток времени есть произведение длительности этого

промежутка на интенсивность соответствующего данному переходу потока. В состоянии S_k мы можем попасть одним из следующих трёх способов.

1. Из состояния S_{k-1} , если за время Δt к нам обратится еще один клиент – вероятность этого $\lambda \Delta t p_{k-1}(t)$.

2. Из состояния S_{k+1} , если за данный промежуток Δt один клиент завершил обслуживание, то есть один пункт освободился – вероятность этого события равна $(k+1)\mu \Delta t p_{k+1}(t)$.

3. Из состояния S_k , если ничего нового не произошло – вероятность того, что с.м.о. осталась в S_k , составляет $(1 - \lambda \Delta t - k\mu \Delta t)p_k(t)$.



Суммируя все возможные варианты получаем:

$$p_k(t + \Delta t) = \lambda \Delta t p_{k-1}(t) + (k+1)\mu \Delta t p_{k+1}(t) + (1 - \lambda \Delta t - k\mu \Delta t)p_k(t).$$

Проведя очевидные преобразования и перейдя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим:

$$p_k'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_k(t + \Delta t) - p_k(t)}{\Delta t} = \lambda p_{k-1}(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t) - \lambda p_k(t) - k\mu p_k(t).$$

Вывод этого дифференциального уравнения совершенно не требуется воспроизводить каждый раз. Достаточно применить следующий алгоритм:

- 1) записываем $p_k'(t)$ для каждого состояния S_k ;
- 2) рассматриваем последовательно все стрелки, соединённые с квадратом, изображающим данное состояние на графе;
- 3) если стрелка входит в квадрат, изображающий рассматриваемое состояние, то ставим знак плюс, а если выходит, то минус;
- 4) записывается интенсивность, стоящая рядом со стрелкой;
- 5) интенсивность умножается на вероятность того состояния, откуда стрелка выходит;
- 6) переходим к следующей стрелке, если ещё не все стрелки описаны (возврат к п. 3), либо переходим к составлению следующего уравнения (п. 1).

В полученную систему уравнений добавляем еще одно условие: сумма вероятностей всех возможных состояний должна быть равна единице:

$$p_0(t) + p_1(t) + p_2(t) + \dots + p_n(t) = 1.$$

В результате получим систему, называемую *системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Эрланга* (названа в честь её авторов).

На начальном этапе работы, например, с.м.о. работает не стабильно, так как количество клиентов может существенно меняться – либо о с.м.о. еще не знают, поэтому клиентов мало, либо, напротив, была произведена рекламная акция, поэтому количество клиентов будет завышенным, но через какое-то время все процессы, как правило, стабилизируются. В практических задачах нас чаще всего интересуют именно характеристики такого стабильного (установившегося) режима [10, с. 612]. В этом случае, все вероятности $p_k(t)$ – это просто числа (будем обозначать их символами p_k). В теории случайных процессов доказывается утверждение «если число состояний системы конечно, и из каждого из них можно за конечное число шагов перейти в любое другое, то вероятности стабильного состояния существуют» [2, с. 129]. Если все $p_k(t)$ – константы, то их производные равны нулю, и уравнения из дифференциальных превращаются в линейные:

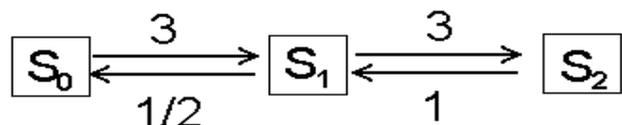
$$\begin{cases} \mu p_1 - \lambda p_0 = 0 \\ \lambda p_0 - \mu p_1 - \lambda p_1 + 2\mu p_2 = 0 \\ \lambda p_1 - 2\mu p_2 - \lambda p_2 + 3\mu p_3 = 0, \\ \dots \\ \lambda p_{n-1} - n\mu p_n = 0 \\ p_0 + p_1 + \dots + p_n = 1 \end{cases}$$

Полученную систему уже легко решить без специальных математических знаний.

Пример 1: Имеется коммутатор с двумя параллельными телефонами, на которых работают одновременно две телефонистки. Клиенты звонят на коммутатор в среднем 3 раза каждую минуту, среднее время разговора – 2 минуты. Пусть среднее число обращений на коммутатор не зависит от времени

суток (поток заявок стационарен). Найдите вероятности с.м.о, работающей в стабильном режиме.

Решение: Составим схему переходов для данной системы. Количество пунктов обслуживания $n = 2$, интенсивность обращений $\lambda = 3$ з/мин, интенсивность обслуживаний $\mu = 1/2$ з/мин:



По указанному выше алгоритму составляем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} p_0'(t) = -3p_0(t) + \frac{1}{2}p_1(t) \\ p_1'(t) = 3p_0(t) - \frac{1}{2}p_1(t) - 3p_1(t) + p_2(t) \\ p_2'(t) = 3p_1(t) - p_2(t) \\ p_0(t) + p_1(t) + p_2(t) = 1 \end{cases}$$

Если система стабилизировалась, то все производные оказываются равными нулю, все функции вероятностей становятся константами, то есть:

$$\begin{cases} -3p_0 + \frac{1}{2}p_1 = 0 \\ 3p_0 - \frac{1}{2}p_1 - 3p_1 + p_2 = 0 \\ 3p_1 - p_2 = 0 \\ p_0 + p_1 + p_2 = 1 \end{cases}$$

Выражаем из первого равенства p_1 через p_0 , затем складываем первое уравнение со вторым и выражаем p_2 , подставляем результаты в последнее:

$$\begin{cases} p_1 = 6p_0 \\ p_2 = 3p_1 = 18p_0 \\ p_0 + 6p_0 + 18p_0 = 1 \end{cases}$$

Тогда $25p_0 = 1$ откуда следует, что $p_0 = 1/25 = 0,04$, $p_1 = 6p_0 = 0,24$, $p_2 = 0,72$.

Таким образом, в установившемся режиме с.м.о. будет полностью свободна в 4 % случаев, в 24 % случаев будет работать одна телефонистка, а в 72 % случаев они будут работать обе.

Для практических нужд полезно определить следующие величины.

Вероятность простоя – вероятность, что клиентов в системе нет, это p_0 .

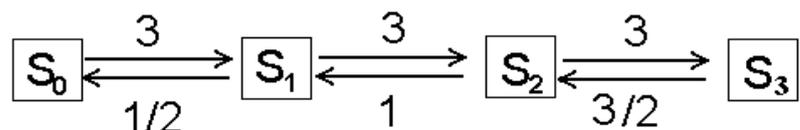
Вероятность отказа – вероятность того, что клиент не будет обслужен по причине занятости всех пунктов обслуживания (она равна вероятности последнего состояния на схеме, p_n).

Относительная пропускная способность (Q) – процент или доля клиентов из числа обратившихся, которые получают обслуживание. Вычисляется вычитанием из 1 вероятности отказа. В примере 1 в 72 % случаев все телефонистки будут заняты, следовательно, 72 % позвонивших получают отказ. Значит, будет обслужено только 28 % позвонивших ($Q = 0,28$).

Абсолютная пропускная способность (A) – реальное количество клиентов, которые с.м.о. обслужит за заданный период времени. Её можно рассчитать, вычислив указанный процент обслуженных заявок (Q) от числа обратившихся (λ), то есть $A = \lambda Q$. В приведённом выше примере $A = 3 \cdot 0,28 = 0,84$ з/мин. Найденную величину A можно перевести в другие единицы времени. Поскольку все интенсивности рассчитывались за минуту, то и абсолютная пропускная способность будет получена за минуту. Но мы можем подсчитать, сколько заявок обслуживает наша система за час, умножив данный результат на 60. Для данного примера $A = 50,4$ заявки в час. Умножив 50,4 на количество рабочих часов в день, получим суточную пропускную способность системы и т.д.

Знание абсолютной пропускной способности позволяет спрогнозировать рентабельность процедур сокращения или увеличения числа обслуживающих каналов. Если система, как в нашем примере, перегружена, то есть обслуживается менее 30 % клиентов, то можно ожидать, что увеличение количества каналов может привести к увеличению прибыли, так как большее число клиентов будет обслужено. Однако, это не всегда справедливо, так как содержание дополнительного канала всегда связано с расходами – нужно выплачивать зарплату дополнительной телефонистке, а также оплачивать телефонную линию, а возможно и дополнительное

помещение. Зная абсолютную пропускную способность, а также доход, получаемый от обслуживания одного звонка, мы можем сравнить доходы за определенный период времени (которые мы вычислим, перемножив две эти величины) с расходами и понять, будет ли данная процедура рентабельна или нет. Также можно рассмотреть и вопрос о рентабельности сокращения штата. Решим задачу в следующих условиях. Пусть каждый клиент за обслуженный звонок платит коммутатору 2 рубля. Содержание одной линии коммутатора (оплата телефонной связи и зарплата телефонисткам) обходится в 500 рублей в сутки, плюс 200 рублей в сутки за арендуемое помещение, в котором сидят обе работающие телефонистки. Помещение позволяет разместить в нем еще одну линию. Коммутатор работает круглосуточно. Требуется выяснить, будет ли выгодным подключение дополнительной линии. При двух каналах коммутатор получает $24 \cdot 50,4 = 1209,6$ звонков в сутки и, следовательно, клиенты платят в среднем $1209,6 \cdot 2 = 2419,2$ руб. каждый день. Расходы составляют 1200 руб. в день, то есть чистая прибыль, которую приносит коммутатор в настоящее время, составляет 1219,2 руб. в сутки. Рассмотрим, что произойдет, если мы подключим третью линию. Схема переходов для такой ситуации будет иметь вид:

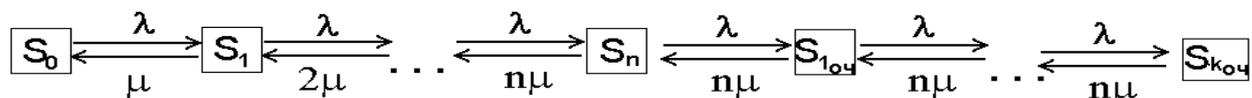


Откуда получим систему:

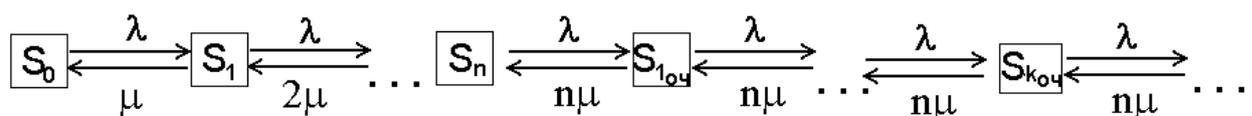
$$\begin{cases} -3p_0 + \frac{1}{2}p_1 = 0 \\ 3p_0 - \frac{1}{2}p_1 - 3p_1 + p_2 = 0 \\ 3p_1 - p_2 - 3p_2 + \frac{3}{2}p_3 = 0 \\ 3p_2 - \frac{3}{2}p_3 = 0 \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1 \end{cases}$$

Здесь, как и ранее, $p_1 = 6p_0$, $p_2 = 18p_0$, и кроме того появляется $p_3 = 2p_2 = 36p_0$. Тогда $p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 61p_0$, откуда $p_0 = 1/61$, $p_{отк} = p_3 = 36/61$, $Q = 25/61$. Умножая Q на $\lambda = 3$, получаем, что увеличенный коммутатор сможет обслужить $75/61$ заявок за минуту или $24 \cdot 60 \cdot \frac{75}{61} = \frac{108000}{61}$ заявки в сутки. Это приносит доход $\frac{216000}{61} \approx 3540$ руб. 98 коп. Расходы на содержание коммутатора при этом также возрастут, так как появится дополнительная линия, и составят 1700 руб. в сутки. Тогда чистая среднесуточная прибыль будет равна 1840 руб. 98 коп, что более чем на 600 рублей превысит прибыль от коммутатора с двумя линиями. Поэтому следует принять решение об увеличении количества каналов.

Анализ работы с.м.о. с очередью, ограниченной k местами очень похож на анализ с.м.о. с отказами, если только в схему состояний добавить состояния $S_{1оч}$ – в с.м.о. одна заявка ждёт своей очереди, $S_{2оч}$ – две заявки в очереди, $S_{kоч}$ – в с.м.о. k заявок в очереди. Схема переходов для этой с.м.о. имеет вид:



Ситуация резко осложняется, если очередь не ограничена, то есть количество возможных состояний бесконечно: мы не можем определить максимально возможное количество человек в очереди. Поэтому нам придётся иметь дело с системой, содержащей бесконечное число уравнений с бесконечным числом неизвестных. Однако и из этой ситуации есть выход. Запишем систему переходов и систему уравнений для с.м.о. с неограниченной очередью в установившемся режиме:



$$\left\{ \begin{array}{l} \mu p_1 - \lambda p_0 = 0 \\ \lambda p_0 - \mu p_1 - \lambda p_1 + 2\mu p_2 = 0 \\ \dots \\ \lambda p_{n-1} - n\mu p_n - \lambda p_n + n\mu p_{10ч} = 0 \\ \lambda p_n - n\mu p_{10ч} - \lambda p_{10ч} - n\mu p_{20ч} = 0 \\ \dots \\ p_0 + p_1 + \dots p_n + p_{10ч} + p_{20ч} + \dots = 1 \end{array} \right.$$

Последовательно складывая уравнения и выражая p_k через p_0 , получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0 \\ p_2 = \frac{\lambda}{2\mu} p_1 = \frac{\lambda^2}{2\mu^2} p_0 \\ \dots \\ p_n = \frac{\lambda^n}{n\mu^n} p_0 \\ p_{10ч} = \frac{\lambda}{n\mu} p_n \\ \dots \\ p_0 + p_1 + \dots p_n + p_{10ч} + p_{20ч} + \dots = 1 \end{array} \right.$$

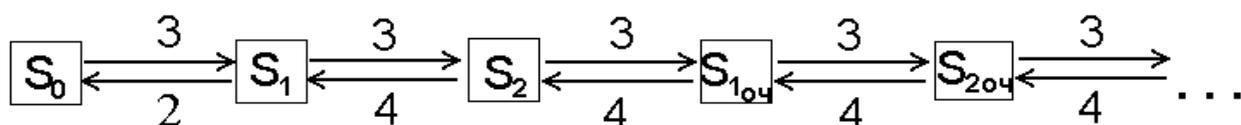
Можно заметить, что, начиная с p_n , каждая следующая переменная получается умножением предыдущей на выражение $\frac{\lambda}{n\mu}$, то есть в последнем уравнении системы имеем, начиная с p_n , геометрическую прогрессию. Если $\frac{\lambda}{n\mu} \geq 1$, то бесконечная сумма будет возрастать до бесконечности. Это означает, что очередь будет неограниченно возрастать (система не будет справляться с поступающим потоком заявок). Поэтому, прежде чем составлять систему дифференциальных уравнений, полезно проверить данное условие. Если это так, то необходимо увеличивать количество каналов, либо, если это невозможно по тем или иным соображениям вводить искусственное ограничение на очередь. Отметим, что если система не является монополистом, то реально очередь бесконечно возрастать не будет – клиенты просто будут уходить из этой с.м.о. и обращаться в другие, так как очередь слишком велика. Поэтому данная с.м.о. может потерпеть очень большие убытки от того, что у неё слишком мало персонала. Во всяком случае, никакие прогнозы, построенные исходя из предположения бесконечной очереди, не

оправдаются, наиболее вероятным будет постепенное уменьшение интенсивности клиентов до уровня, когда это условие перестанет выполняться. Если система монополист (например, пенсионный фонд или единственная поликлиника в населенном пункте), то людям просто некуда будет деваться, и они все равно будут создавать эту очередь. В такой ситуации необходимо ввести искусственное ограничение на очередь (предварительная запись, либо талоны на приём), а далее решать задачу с ограниченной очередью. Если $\frac{\lambda}{n\mu} < 1$, то геометрическая прогрессия – бесконечно

убывающая, её сумму можно вычислить по формуле: $S = \frac{b_0}{1-q}$, где b_0 первый член данной прогрессии (в нашем случае $b_0 = p_n$), а q – знаменатель геометрической прогрессии ($q = \frac{\lambda}{n\mu}$). Применяв данную формулу можно вычислить p_0 , а значит и любые другие вероятности.

Пример 2. В супермаркет с 2 кассами обращается в среднем 3 покупателя в минуту, один кассир в среднем успевает обслужить 2 покупателя в минуту. Найти вероятность простоя данной системы.

Решение: Интенсивность потока заявок $\lambda = 3$ з/мин, интенсивность потока обслуживаний $\mu = 2$ з/мин. Схема переходов имеет вид:



В установившемся режиме получим систему уравнений:

$$\begin{cases} -3p_0 + 2p_1 = 0 \\ 3p_0 - 2p_1 - 3p_1 + 4p_2 = 0 \\ 3p_1 - 4p_2 - 3p_2 + 4p_{1оч} = 0 \\ 3p_2 - 4p_{1оч} - 3p_{1оч} + 4p_{2оч} = 0 \\ \dots \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_{1оч} + p_{2оч} + \dots = 1 \end{cases}$$

откуда

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{3}{2} p_0 \\ p_2 = \frac{3}{4} p_1 = \frac{9}{8} p_0 \\ p_{1оч} = \frac{3}{4} p_2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 \\ p_{2оч} = \frac{3}{4} p_{1оч} = \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 \\ \dots \\ p_0 + \frac{3}{2} p_0 + \frac{9}{8} p_0 + \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 + \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 + \dots = 1 \end{array} \right.$$

Вычислим сумму геометрической прогрессии, начинающейся с $p_2 = (9/8)p_0$

$$\frac{9}{8} p_0 + \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 + \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 + \dots = \frac{\frac{9}{8} p_0}{1 - \frac{3}{4}} = \frac{\frac{9}{8} p_0}{\frac{1}{4}} = \frac{9}{2} p_0.$$

Тогда $p_0 + \frac{3}{2} p_0 + \frac{9}{8} p_0 + \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 + \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0 + \dots = p_0 + \frac{3}{2} p_0 + \frac{9}{2} p_0 = 7 p_0 = 1,$

откуда, $p_0 = 1/7$ (вероятность простоя).

При анализе с.м.о. с очередью полезно знать ещё две характеристики этой системы: среднюю длину очереди ($L_{оч}$) и среднее время, проводимое заявкой в очереди ($W_{оч}$). Следует учитывать, что если эти величины окажутся неразумно большими, то, например, покупатели в магазине, видя такую большую очередь, скорее всего не будут дожидаться обслуживания и будут покидать нашу систему, не дожидаясь обслуживания, то есть поток заявок перестанет быть простейшим (нарушается условие отсутствия последствия). В таких случаях анализ, проведённый по описанным выше правилам, станет некорректным и приведёт нас к ошибочным результатам (например, мы получим завышенные значения прибыли, не соответствующие действительности, так как часть клиентов мы просто потеряем). Для оценки $L_{оч}$, умножим количество людей в очереди в каждом состоянии на вероятность этого состояния:

$$L_{оч} = 1 \cdot p_{1оч} + 2 \cdot p_{2оч} + 3 \cdot p_{3оч} + \dots$$

Здесь мы опять имеем дело с бесконечным числом слагаемых, которые, к сожалению, уже не образуют геометрическую прогрессию. Однако, эту сумму можно разложить на сумму нескольких геометрических прогрессий, поменяв

местами слагаемые (вообще говоря в бесконечных суммах это надо делать с некоторой осторожностью, но данное действие является допустимым, если задача имеет решение, то есть, если $q = \frac{\lambda}{n\mu} < 1$):

$$L_{оч} = p_{1оч} + p_{2оч} + p_{2оч} + p_{3оч} + p_{3оч} + p_{3оч} \dots = \\ = (p_{1оч} + p_{2оч} + p_{3оч} + \dots) + (p_{2оч} + p_{3оч} + \dots) + (p_{3оч} + p_{4оч} + \dots).$$

Выражение в каждой скобке есть сумма геометрической прогрессии, то есть:

$$L_{оч} = \frac{p_{1оч}}{1-q} + \frac{p_{2оч}}{1-q} + \frac{p_{3оч}}{1-q} + \dots = \frac{p_{1оч}}{1-q} + \frac{p_{1оч}q}{1-q} + \frac{p_{1оч}q^2}{1-q} + \dots = \frac{p_{1оч} + p_{1оч}q + p_{1оч}q^2 + \dots}{1-q}.$$

В числителе мы вновь получаем бесконечно убывающую геометрическую прогрессию с тем же знаменателем. Таким образом,

$$L_{оч} = \frac{p_{1оч}}{1-q} = \frac{p_{1оч}}{(1-q)^2}.$$

Среднее время, проводимое заявкой в очереди ($W_{оч}$), можно определить пользуясь следующим рассуждением. Если нам известно из каких-либо соображений, что в очереди мы будем стоять $W_{оч}$ минут, то к тому моменту, когда подойдёт наша очередь, за нами будет стоять $\lambda W_{оч}$ человек (все пришедшие после нас будут за нами), то есть $L_{оч} = \lambda W_{оч}$, откуда получаем формулу:

$$W_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda}.$$

Рассчитаем $L_{ср}$ и $W_{оч}$ для с.м.о. из примера 2. Так как $p_{1оч} = \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{8} p_0$, а $p_0 = 1/7$,

значит $p_{1оч} = \frac{27}{224}$,

$$L_{оч} = \frac{p_{1оч}}{(1 - \frac{\lambda}{n\mu})^2} = \frac{\frac{27}{224}}{(1 - \frac{3}{4})^2} = \frac{\frac{27}{224}}{\frac{1}{16}} = \frac{27}{14},$$

$$W_{оч} = \frac{1}{3} \cdot \frac{27}{14} = \frac{9}{14} \text{ мин.}$$

Видим, что в среднем в нашей очереди будет стоять 1 – 2 человека, и время, проводимое ими в очереди будет составлять менее одной минуты, что вполне приемлемо, а, следовательно, нет необходимости увеличивать количество каналов обслуживания или вводить искусственные ограничения на очередь. При этом сокращение числа каналов до одного приведёт к нарушению условия $\frac{\lambda}{n\mu} < 1$, то есть сокращение персонала для данной с.м.о. также недопустимо, принимаем решение о том, что количество персонала остаётся неизменным.

Список литературы

1. Афанасьев М.Ю., Багриновский К.А., Матюшок В.М. Прикладные задачи исследования операций: Учебное пособие. М.: Инфра-М, 2006. 352 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2001. 206 с.
3. Верник А.Н., Эткин А.Е., Эткина Г.П. Математические методы и модели в экономике. Ульяновск, УлГТУ, 2008. 208 с.
4. Глухова Н.В. Методы оптимизации использования трудовых ресурсов. Учебное пособие. Ульяновск, ФГБОУ ВО УлГПУ, 2017. 50 с.
5. Глухова Н.В. Новая методика изучения темы «динамическое программирование» на примере задачи об инвестировании для студентов, обучающихся экономике и управлению // *Фундаментальные исследования*. – 2014. № 8-4. С. 950–954.
6. Глухова Н.В. О мотивации изучения математических дисциплин студентами, обучающимися по направлению подготовки «Социальная работа» // *Проблемы современного математического образования в высшей школе: Материалы международной заочной научной конференции*. Ульяновск: УлГПУ, 2013. С. 130–134.
7. Глухова Н.В., Гришина С.А. Менеджеральные задачи как средство гуманитаризации математического образования // *Гуманизация и гуманитаризация образования XXI века. Проблемы современного образования. Материалы 12-ой межд. науч.-метод. конф. памяти*

- И.Н. Ульянова (19–20 октября 2011 г.). Ульяновск, УлГПУ, 2011. С. 215–217.
8. Глухова Н.В., Фолиадова Е.В. О применении задач с междисциплинарным содержанием при проведении олимпиад среди школьников и студентов // Актуальные вопросы методики обучения математике и информатике в условиях стандартизации образования. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. препод. мат., информ. школ и вузов. Ульяновск: УлГПУ, 2016. С. 133–139.
9. Горлач Б.А. Исследование операций: учебный комплекс для студентов вузов, обучающихся по экономическим и техническим специальностям. Самара: Аэропринт, 2008. 370 с.
10. Таха Х.А. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2001. 912 с.
11. Теория вероятностей с элементами математической статистики и анализа систем массового обслуживания / сост. Н.А. Волкова, Н.В. Глухова. Ульяновск, 2009. Т. 2, ч. 2. 76 с.

УДК 536.71

ББК 74.262.22

Подход к решению олимпиадной задачи о состоянии идеального газа в системе двух одинаковых цилиндрических сосудов, соединённых трубками с краном

Лушникова Юлия Олеговна,

Студентка 5 курса группы ФМ-13 факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Рассмотрен последовательный подход к решению олимпиадной задачи о состоянии идеального газа в системе двух одинаковых

цилиндрических сосудов, соединённых трубками с краном на основе формул молекулярно-кинетической теории. Приведён краткий обзор методов решения задач по физике.

Ключевые слова: задача по физике, олимпиадная задача по физике, цилиндрические сосуды, трубки, поршень, идеальный газ, кран, температура, давление.

В настоящее время существует большое количество олимпиад по физике и физико-математическим дисциплинам для школьников, поэтому становится актуальной создание системы подготовки одарённых школьников к олимпиадам по физике различного уровня. Резко возрастает роль дистанционных курсов, видео курсов, трансляция разбора решений олимпиад в современной подготовки к олимпиадам по физике. В 10 классе закладываются фундаментальные основы подготовки по физике в классах профильного и углубленного уровней, что является принципиально важным в начале подготовки к олимпиадам по физике различного уровня.

В [1] показано, что главной задачей современного образования является воспитание интеллектуально развитой личности, стремящейся к познанию. В соответствии с планами модернизации образования актуальными становятся вопросы разработки содержания образования и методики обучения физике в школах разного профиля. Одним из направлений в решении этой задачи является разработка содержания элективных курсов (курсов по выбору) для реализации профильного обучения. Олимпиады, являясь одной из общепризнанных форм работы с одарёнными школьниками, способствуют развитию их творческого, нравственного и духовного потенциала. Функции олимпиад – создание условий, при которых пробуждается интерес к изучению физики и техники у большого числа школьников, углубление теоретических знаний и практических умений; реализация идеи непрерывного образования

путем подготовки одарённой учащейся молодежи для продолжения обучения в вузах.

В [3] рассматриваются методы обучения решению задач по разделу «Динамика», который традиционно считается одним из самых трудных «задачных» разделов школьного курса физики. Обычно ученикам предлагают решать такие задачи, пользуясь хорошо известным «алгоритмом»: сделать чертёж, на котором изображены все силы и так далее. Однако часто действия требуют предварительного анализа ситуации, вникания в существо описанного в условии явления. Так, действуя по алгоритму, ученик должен начинать решение с построения чертежа, на котором изображены все силы. Однако до конца решения или, по крайней мере, до тщательного анализа условия ему ещё не известны модули сил, а порой даже и их направления. Подобные «неоднозначности» характерны для задач выше среднего уровня сложности, в особенности для задач ЕГЭ части С. В таких случаях до начала «формульного» решения и даже до построения чертежа надо провести «расследование» условия на качественном уровне, а именно качественные задачи вызывают у учеников наибольшие трудности (в том числе на ГИА и ЕГЭ): решение таких задач требует понимания физики, а не бездумной подстановки чисел в формулы. Значит, для решения качественных задач необходимо и более качественное знание физики! Предложен исчерпывающий разбор ситуаций, которые могут быть рассмотрены при решении задач на движение тела по наклонной плоскости.

В [4, 5, 7, 8] продолжается рассмотрение методов обучения решению задач по физике. В [8] в рамках темы «Законы сохранения» подробно разобрана задача о движении монеты, скатывающейся с гладкой двугорбой горки, лежащей на гладком же столе. В [4] в рамках тем «Статика» и «Закон Архимеда» подробно разобрана задача о равновесии стеклянной палочки в стакане с водой, опирающейся на край стакана. В [5] в рамках тем «Механические колебания» и «Плавание тел» подробно разобрана задача о колебаниях бруска в воде.

В [2, 6, 7, 9] рассматриваются методы обучения решению задач по физике, в том числе с целью подготовки к ЕГЭ. В [7] в рамках темы «Кинематика» рассмотрена задача о сложении скоростей при равномерном прямолинейном движении не только вдоль одной прямой, но и по разным прямым в одной плоскости. В [6] в рамках тем «Статика» и «Закон Архимеда» подробно разобрана задача о равновесии стеклянной палочки в стакане с водой, опирающейся на край стакана. В [2] в рамках темы «Молекулярная физика и термодинамика» подробно разобраны задачи на применение газовых законов в случаях, когда рассматривается один вид газа, причём масса газа остаётся неизменной. В [9] в рамках темы «Динамика», рассмотрена задача о движении системы тел (два связанных через блок с грузом бруска - один на другом) с учётом силы трения.

Процесс решения задачи по физике может быть представлен как переход от исходных данных (информации, предоставляемой условием задачи) к результату (конечным данным) путём использования некоторого набора методов (моделирования, анализа, математических методов и т.д.), отражающих физические законы.

Любую физическую задачу можно рассматривать как одно из средств развития обучающихся, а содержание их деятельности по решению задач может быть разнообразным. Физические задачи, в особенности сам процесс их решения, меняют свой характер – из приложения к объясняемой теме они превращаются в новый способ добывания знаний.

В десятом классе существует два типа программ. По одному из них первые месяцы углубленно повторяется механика. И лишь к концу первого полугодия начинается изучение газовых законов. Заканчивается год электростатикой и конденсаторами. Весь остальной материал – постоянный ток, магнитные явления, переменный ток, оптика, атомная и ядерная физика изучается в одиннадцатом классе. В таблице 1 приведено тематическое планирование подготовки олимпиадного уровня по физике в 10 классе.

Таблица 1. Тематическое планирование подготовки олимпиадного уровня по физике в 10 классе

№ п/п	№ темы	Тема
1	1.1.	Кинематика материальной точки. Системы отсчёта. Равномерное движение. Средняя скорость. Мгновенная скорость. Ускорение. Прямолинейное равнопеременное движение. Свободное падение. Графики движения (пути, перемещения, координат от времени); графики скорости, ускорения и их проекций в зависимости от времени и координат.
2	1.2.	Движение по окружности. Нормальное и тангенциальное ускорение. Угловое перемещение и угловая скорость.
3	1.3.	Относительность движения. Закон сложения скоростей. Абсолютная, относительная и переносная скорость.
4	1.4.	Криволинейное равноускоренное движение. Полёты тел в поле однородной гравитации. Радиус кривизны траектории.
5	1.5.	Кинематические связи (нерастяжимость нитей, скольжение без отрыва, движение без проскальзывания). Плоское движение твёрдого тела.
6	1.6.	Динамика материальной точки. Силы. Векторное сложение сил. Законы Ньютона.
7	1.7.	Динамика систем с кинематическими связями
8	1.8.	Гравитация. Закон Всемирного тяготения. Первая космическая скорость. Перегрузки и невесомость. Центр тяжести.
9	1.9.	Силы трения. Силы сопротивления при движении в жидкости и газе.
10	1.10.	Силы упругости. Закон Гука.

11	1.11.	Импульс. Закон сохранения импульса. Центр масс. Теорема о движении центра масс. Реактивное движение.
12	1.12.	Работа. Мощность. Энергия (гравитационная, деформированной пружины). Закон сохранения энергии. Упругие и неупругие взаимодействия. Диссипация энергии.
13	1.13.	Статика в случае непараллельных сил. Устойчивое и неустойчивое равновесие.
14	1.14.	Механические колебания. Маятник. Гармонические колебания. Волны. Определения периода колебаний, амплитуды, длины волны, частоты).
15	2.1.	Газовые законы. Изопроецессы. Законы Дальтона и Авогадро. Температура.
16	2.2.	Основы молекулярно-кинетической теории. Потенциальная энергия взаимодействия молекул.
17	2.3.	Термодинамика. Внутренняя энергия газов. Количество теплоты. Первый закон термодинамики. Теплоёмкость. Адиабатный процесс. Цикл Карно.
18	2.4.	Насыщенные пары, влажность.
19	2.5.	Поверхностное натяжение. Капилляры. Краевой угол. Смачивание.
20	3.1.	Электростатика. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряжённость. Теорема Гаусса. Потенциал.
21	3.2.	Проводники и диэлектрики в электростатических полях.
22	3.3.	Конденсаторы. Соединения конденсаторов. Энергия конденсатора. Объёмная плотность энергии электрического поля.
23	3.4.	ЭДС. Методы расчёта цепей постоянного тока (в том числе правила Кирхгофа, методы узловых потенциалов,

		эквивалентного источника, наложения токов и т.п.). Нелинейные элементы.
24	3.5.	Работа и мощность электрического тока.
25	3.6.	Электрический ток в средах. Электролиз.
26	3.7.	Магнитное поле постоянного тока. Силы Лоренца и Ампера.

Рассмотрим задачу по молекулярно-кинетической теории.

Два одинаковых цилиндрических сосуда высоты H с вертикальными стенками соединены трубками (рис. 1). В левом сосуде имеется массивный поршень, способный без трения двигаться вдоль стенок. Над поршнем и под поршнем находится идеальный газ. Кран на верхней трубке закрыт, а на нижней открыт. Поршень пребывает в равновесии точно в середине цилиндра, при этом давление под поршнем в два раза больше, чем над ним. Нижний кран закрывают, а верхний открывают. На какой высоте установится поршень? Система поддерживается при постоянной температуре [10].

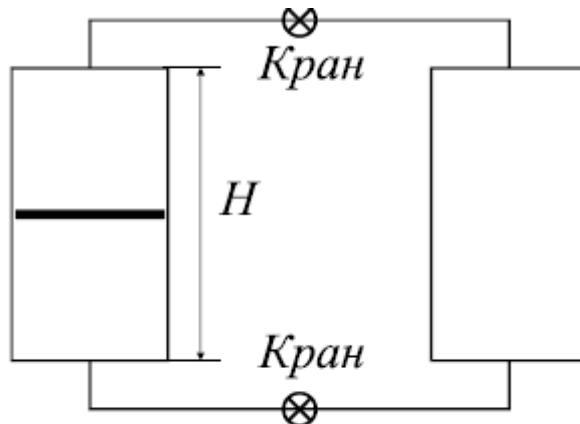


Рис. 1. Схема установки с двумя цилиндрами, которые соединены трубками с краном.

Рассмотрим решение представленной выше задачи.

Отметим, что в первом положении в верхней части левого сосуда находилась некоторая масса газа m , а в нижней — масса $2m$. В правом сосуде находилась масса газа $4m$. После того, как верхний кран открыли, а нижний закрыли, то

образовалось два объёма газа с массами $5m$ и $2m$ соответственно. Запишем для них уравнение состояния:

$$p_1 = 5 \frac{m}{V_1} RT = 5 \frac{m}{\mu S(2H - x)} RT ,$$

$$p_2 = 2 \frac{m}{V_2} RT = 2 \frac{m}{\mu S x} RT .$$

Мы учли, что $V_1 = S(2H - x)$ и $V_2 = Sx$, где S — площадь поршня, а x — новая его координата. Разность давлений p_2 и p_1 определяется массой поршня. Известно, что первоначально давление над поршнем p_0 в два раза меньше, чем под поршнем. Поэтому можно записать, что $p_2 - p_1 = p_0$. Давление p_0 создано массой газа m , занимавшей половину левого сосуда. Поэтому

$$p_0 = 2 \frac{m}{\mu S H} RT .$$

Из полученных четырёх уравнений получаем:

$$\frac{2}{x} - \frac{5}{(2H - x)} = \frac{2}{H} .$$

Это соотношение приводится к квадратному уравнению

$$2x^2 - 11Hx + 4H^2 = 0 ,$$

решая которое, получим

$$x = (11 - \sqrt{89}) \frac{H}{4} .$$

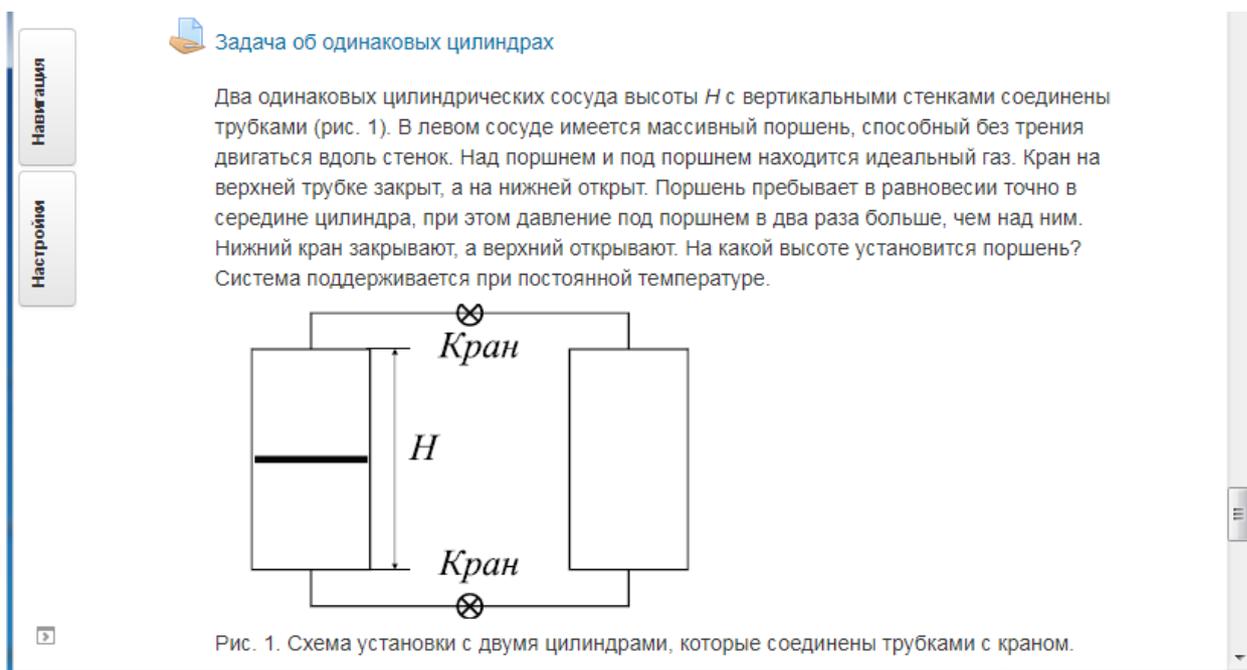


Рис. 2. Элемент дистанционного курса с задачей об установке с двумя цилиндрами, которые соединены трубками с краном.

Перед разработкой дистанционного курса, посвящённого методике решения олимпиадных задач по физике, был проанализирован опыт создания дистанционных курсов по теории фотоэффекта [11], по нанооптике [12], оптике наноструктур и наноплазмонных материалов [13–14] системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

В ходе самостоятельной части работы создан электронный курс «Методика олимпиадных задач по физике». Изображение части, созданного информационного курса представлено на рис. 2. Была разработана система олимпиадных задач, часть которой размещена в форме заданий дистанционного курса. На рис. 2 изображён олимпиадного задания по молекулярной физике в разработанном дистанционном курсе на платформе MOODLE.

Рассмотрены условия эффективной реализации методики для решения олимпиадной задачи по молекулярной физике. Выявлена специфика представленной олимпиадной задачи по физике. Сложные олимпиадные

задачи служат для построения максимально разветвлённой структуры внутрипредметных связей физики.

Список литературы

1. Басалова Т. Ф., Прокофьева Н. А., Петракова Г. А. Совершенствование формирования профессиональных навыков учителя в рамках курса по выбору "Олимпиадные задачи по физике" // В сборнике: Университет XXI века: научное измерение. Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, магистрантов и соискателей ТГПУ им. Л. Н. Толстого: в 2 томах. Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого. 2010. С. 118-120.
2. Генденштейн Л. Э., Кошкина А. В., Левиев Г. И., Орлов В. А. Система обучающих задач по физике // Физика. Первое сентября. 2012. № 9. С. 43-45.
3. Генденштейн Л. Э., Кошкина А. В., Орлов В. А. Система обучающих задач по физике // Физика. Первое сентября. 2011. № 15. С. 37-41.
4. Генденштейн Л. Э., Кошкина А. В., Орлов В. А. Система обучающих задач по физике // Физика. Первое сентября. 2011. № 17. С. 37-40.
5. Генденштейн Л. Э., Кошкина А. В., Орлов В. А. Система обучающих задач по физике // Физика. Первое сентября. 2012. № 1. С. 38-42.
6. Генденштейн Л. Э., Кошкина А. В., Орлов В. А. Система обучающих задач по физике, 10-11 кл. // Физика. Первое сентября. 2012. № 3. С. 45-48.
7. Генденштейн Л. Э., Кошкина А. В., Орлов В. А., Левиев Г. И. Система обучающих задач по физике, 10-11 кл. // Физика. Первое сентября. 2012. № 4. С. 41-44.
8. Генденштейн Л. Э., Кошкина А. В., Орлов В. А. Система обучающих задач по физике // Физика. Первое сентября. 2011. № 16. С. 37-40.
9. Генденштейн Л. Э., Левиев Г. И., Орлов В. А. Система обучающих задач по физике // Физика. Первое сентября. 2012. № 6. С. 37-40.

10. Кузнецов А. П., Кузнецов С. П., Мельников Л. А., Шевцов В. Н. Олимпиадные задачи по физике. Москва, Ижевск, 2002. - 71 с.
11. Алтунин К. К., Коннова Т. С. Исследование информационных образовательных сред и электронных учебников на примере темы «Фотоэффект» // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, 27 апреля 2016 года. – Ульяновск : Типография «Вектор-С», 2016. — С. 11–16.
12. Алтунин К. К. Разработка и внедрение электронного курса по нанооптике // В книге: Актуальные проблемы физической и функциональной электроники материалы 19-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара. 2016. С. 128–129.
13. Алтунин К. К., Хамзина Л. Ш. Разработка и внедрение электронного курса на примере темы “Наноплазмонные материалы” // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, 27 апреля 2016 года. — Ульяновск : Типография «Вектор-С», 2016. — С. 78–81.
14. Алтунин К. К., Юртаева Н. Д. Разработка и внедрение электронного курса по нанооптике на примере темы “Наноматериалы с квазиулевой диэлектрической проницаемостью” // В сборнике: Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, 27 апреля 2016 года. — Ульяновск : Типография «Вектор-С», 2016. — С. 88–91.

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 004.7

ББК 32.973.2.

Использование нейронной сети для расчета энергетической и термической стабильности двумерных супракристаллических структур

Каренин Алексей Александрович,

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информатики, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова,

г. Ульяновск, Россия

Технический прогресс может быть достигнут одним из двух путей – совершенствованием старых машин и методов, либо открытием чего-то принципиально иного. Для продвижения по второму пути, как правило, нужно сначала довольно долго идти по первому. В ряде случаев до тупика. Современные реалии требуют материалов имеющих не только весьма специфические физические характеристики, но и даже совокупность двух или более характеристик, не встречающихся в одном материале прежде.

Начиная с открытия графена, человечество задумалось о конструировании (сборке) материала с заранее определенными физическими характеристиками. Зная молекулярную структуру материала, класс симметрии его кристаллической решетки и тип атомов в ее узлах можно с достаточной точностью спрогнозировать физические свойства таких материалов. Полученные таким образом материалы могут обладать уникальным физическим свойством (графен и его сверхпроводимость), но не набором взаимоисключающих параметров и свойств.

Если рассматривать планарные структуры, то: исходя из физических соображений, атомы в таких структурах должны образовывать правильные многоугольники (в силу равнозначности и равновесности связей между парами одинаковых атомов и стабильности углов гибридизации); из геометрических соображений таких многоугольников – это могут быть -3, 4, 5 и 6-ти угольники.

Наибольший интерес могут представлять кристаллические структуры, в узлах примитивной ячейки кристаллической решетки которых будут находиться не отдельные атомы или молекулы, а атомарные комплексы с собственной кристаллической решеткой. Такие структуры называются супракристаллами [1] и благодаря наличию сразу двух кристаллических решеток они могут обладать весьма интересными наборами физических свойств [2].

Супракристаллическая решетка представляет собой одну из сеток Кеплера изображенных на рисунке 1, однако, не все они могут играть роль супракристаллической решетки. [3]

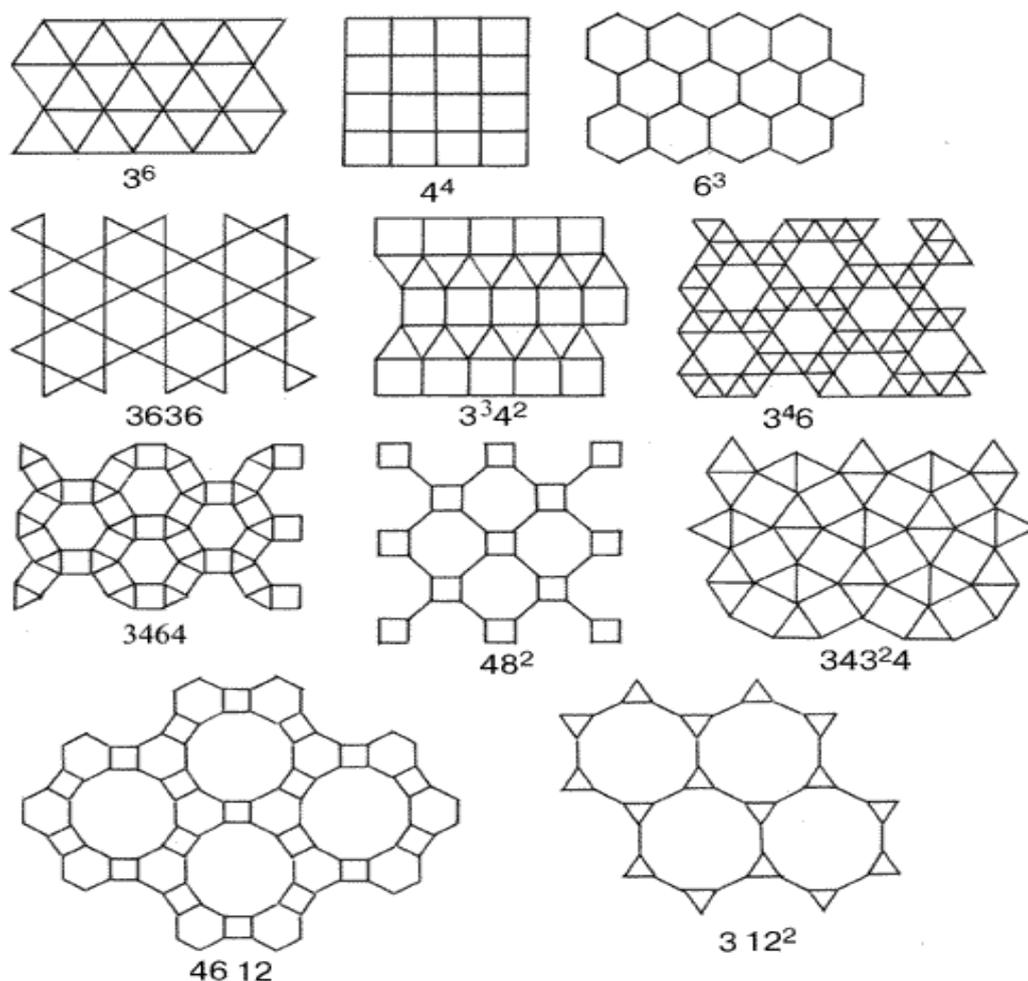
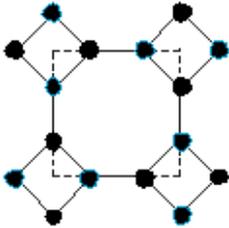
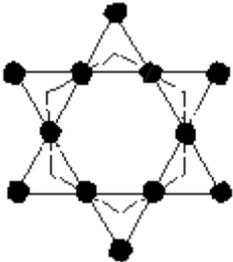
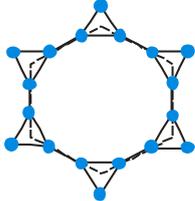
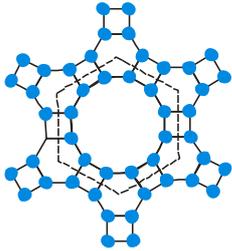
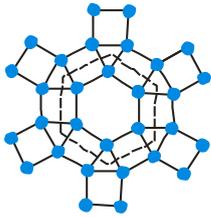


Рисунок 1 Сетки Кеплера

Некоторые из физических свойств кристаллов, имеющих принадлежность к тем или иным точечным группам симметрии, могут быть описаны предельными точечными группами, в которых содержатся оси симметрии бесконечного порядка. Таким образом, зная к какой группе симметрии кристаллов принадлежит проектируемый материал, можно указать возможность наличия или отсутствия в нём некоторых физических свойств.

Классы симметрии двумерных супракристаллов представлены в таблице 1.

Таблица 1 Классы симметрии 2D-супракристаллов

Вид структуры	Обозначение Структуры	Сингония	Класс точечной симметрии
	(X)44	Тетрагональная	4mm
	(XY)44	Тетрагональная	4
	(X)63(6)	Гексагональная	6mm
	(X)63(12)	Гексагональная	6mm
	(X)664	Гексагональная	6mm
	(X)634	Гексагональная	6mm

	(XY)634	Гексагональная	6
--	---------	----------------	---

На рисунке 2 можно увидеть матрицы равновесных физических свойств, используя которые можно говорить о наличии или отсутствии тех или иных свойств у проектируемого материала.

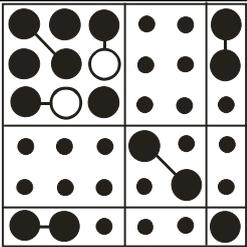
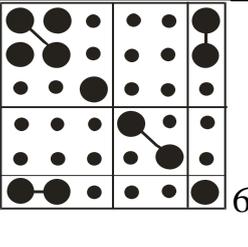
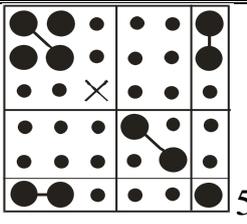
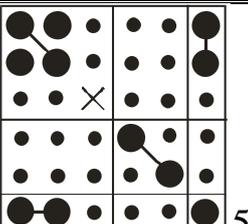
Общая структура матрицы		Обозначения:	
	σ	E	ΔT
S	s	d_t	α
D	d	ε	P
ΔS	α_t	p_t	c/T
			N
		<ul style="list-style-type: none"> • компонента, равная нулю ● компонента, отличная от нуля ●—● равные компоненты ●—○ компоненты, численно равные, но противоположные по знаку × $\alpha_{S_1 \Gamma S_2}$ N число независимых компонентов 	
Тетрагональная сингония			
класс 4		класс $4mm$	
			
Гексагональная сингония			
класс 6		класс $6mm$	
			

Рисунок 2. Матрицы равновесных физических свойств 2D-супракристаллов

Основной проблемой проектирования наноразмерных кристаллических структур является определение их стабильности. В работах [1,2,3] описано использование комплекса программ abinit с использованием файлов потенциалов и метода Монте-Карло.

Выбор C как основы для супракристаллических структур обусловлен существованием его планарной аллотропной формы – графена. Как близкий к нему рассмотрен атом Si. S, P попали в список так как обладают большим набором аллотропных, устойчивых форм[4]. Однако существование хакеелитных структур на основе связки B-N ставит вопрос о необходимости наличия аллотропных форм[5]. Так алмаз не может образоваться при н.у., однако остается крайне стабильным при них.

Расчет одной структуры, с одним набором атомов на одной сетке без учета краевых эффектов, занимает от нескольких суток до недель. Расчет всех возможных структур с перебором всех возможных комбинаций атомов с учетом возможности поддержания двойных и более связей является не обоснованным ни с точки зрения затраченных ресурсов, ни времени расчета.

Ситуацию может решить использование нейронной сети. Нейронная сеть в общем случае представляет собой некоторую общность процессоров связанных между собой. Такие процессоры играют роль искусственных нейронов и имеют достаточно простую форму и реализацию. Основным плюсом нейронной сети является ее обучаемость.

В нашем случае на вход такой сети предполагается подавать набор необходимых физических свойств для проектируемого материала, а на выходе получать рекомендации по выбору супракристаллической или кристаллической решетки и наборам атомов которые будут стоять в узлах решетки или составлять там же комплексы атомов.

На этапе обучения сети необходимо “скормить” ей как можно больше разнообразных существующих кристаллических структур со всеми их параметрами. В режиме простоя данная сеть продолжит обучаться, поочередно перебирая все возможные комбинации, отдавая приоритет расчету структур имеющих большую вероятность оказаться стабильными, с учетом уже накопленного материала.

Как и любая нейронная сеть, сеть для расчета стабильности кристаллических структур с каждой рассчитанной и введённой структурой корректирует вес связей между нейронами, совершенствуя и улучшая метод поиска нужных параметров проектируемой структуры.

В качестве проверочного инструмента предполагается использовать 2-3 различных комплекса программ для расчета стабильности нано размерных атомарных структур. Использование большего числа программ вызовет нежелательный рост времени расчета, а меньшего приведет к падению степени достоверности полученных данных. Однако, определить точно необходимое количество различных программ для достижения приемлемой точности вычислений представляется возможным только на этапе экспериментальной работы проектируемой среды.

Стоит отметить, что результатом работы такой сети будет служить лишь рекомендация по построению потенциально возможной структуры. Для оценки возможности технической реализации такой структуры и ее стоимости нейронной сети потребуются данные для уже созданных подобных структур и на начальном этапе такие оценки могут быть весьма грубыми. В процессе своей эксплуатации и развития данная нейронная сеть не только “обучится” делать достоверные прогнозы, но и создаст базу данных по теоритически возможным материалам и их параметрам.

Список литературы

1. Браже, Р.А. Компьютерное моделирование свойств супракристаллов / Р.А. Браже, А.А. Каренин // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2011. – Т. 18. – №2. – С.37-52.
2. Браже, Р. А. Математические модели двумерных супракристаллов / Р. А. Браже, А. А. Каренин // Математическое моделирование физических, экономических, технических, социальных систем и процессов, г. Ульяновск / под ред. д.т.н. проф. Ю.В. Полянского. - УлГУ, 2009. – С. 51-52.
3. Браже, Р. А. Упругие характеристики углеродных 2D-супракристаллов в сравнении с графеном / Р. А. Браже, А. А. Каренин, Р. М. Мефтахутдинов // ФТТ. – 2011. – Т.53. – Вып.7 – С.1406–1408.
4. Каренин, А.А. Формирование у студентов современных представлений о фазовых состояниях вещества на примере наноразмерных супракристаллических структур (наноаллотропов) / А.А. Каренин // Материалы международной научно-педагогической конференции Формирование учебных умений УлГПУ им. И.Н. Ульянова, 22-23 апреля 2011, Ульяновск, С. 122-129.
5. Лисенков, С. В. Геометрическая структура и электронные свойства планарных и нанотрубных структур типа “хакелит” / С. В. Лисенков,
6. Г. А. Виноградов, Н. Г. Лебедев // ФТТ. – 2006. – Т.48. – №. 1.