

СОДЕРЖАНИЕ

2015. № 4

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

- А.А. Аганин, М.А. Ильгамов*
Двадцать лет исследований по пузырьковой кумуляции 5
- И.Ш. Насибуллаев, Э.Ш. Насибуллаева, Е.В. Денисова*
Динамика течения жидкости в технических системах с жиклерами 20
- М.А. Ilgatov, Sh.U. Galiev, B.R. Mace, T.Sh. Galiyev*
Modelling of resonant and transresonant waves in natural resonators:
from gravity waves to the origin of the Universe 26
-

ФИЗИКА

- С.Н. Цеплина, Е.Е. Цеплин*
Электронные возбужденные состояния 1.9-бенз-10-антрона 38
- И.П. Попов*
Скорость распространения волновой функции 42
-

ХИМИЯ

- Г.Л. Шарипов, Р. Хоролжасв, А.М. Абдрахманов, Б.М. Гареев, А.А. Тухбатуллин*
Тушение мелатонином сонохемилюминесценции люминола в водном растворе 44
- М.Х. Курбангалеева, Л.Р. Курбангалеева, А.Ю. Абдуллина*
Усовершенствование стадии дистилляции путем применения негашеной извести
в производстве кальцинированной соды 48
- М.Г. Файзуллин, Р.В. Галеев, А.Х. Мамлеев*
Микроволновый спектр и конформация 2-метил-1.3-диоксолана 52
-

БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ГЕНЕТИКА

- В.В. Коробов, Н.В. Жарикова, Е.Ю. Журенко, Т.Р. Ясаков,
А.И. Сагитова., А.Г. Гаврильченко, Т.В. Маркушева*
Bacillus simplex CM53F – новый штамм-деструктор хлорфеноксикислот 56
- Н.В. Жарикова, Е.Ю. Журенко, Т.Р. Ясаков, В.В. Коробов, А.И. Сагитова,
С.Н. Стариков, А.А. Стамбулиди, Э.А. Гимранов, Т.В. Маркушева*
Новый штамм-деструктор фенола и хлорфеноксиуксусных кислот
Gordonia alkanivorans 51D 62

<i>А.М. Дрегуло</i> Влияние кальциевых и магниевых материалов на выделение тяжелых металлов из активного ила и двигательную способность микроорганизмов ила	67
<i>З.Н. Сулейманова, В.В. Якупова</i> К рекомендации использования некоторых видов семейства кирказоновых в зимних садах	71
<i>О.В. Соловьева, Е.А. Тихонова</i> Естественный биофильтр гидротехнических сооружений в условиях рекреационной акватории (бухта Круглая, Черное море)	76

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>С.Е. Знаменский</i> Структурная эволюция Кизильского разлома (Южный Урал)	83
---	----

ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОЛОГИЯ

<i>А.Б. Юнусова, Г. Иом Дин, А.И. Тузбеков, Т.М. Надыршин, Р.М. Мухаметзянова-Дуггал, А.Г. Баимов</i> Этносоциальные факторы реализации инвестиционной стратегии в регионах Южного Урала	89
<i>А.И. Тузбеков, И.И. Бахшиев</i> Археологические памятники как объекты сакрализации (на примере могильника Ильчигулово IV)	103
<i>Т.М. Надыршин</i> Основы религиозной культуры и светской этики в общеобразовательных школах Челябинска	108
<i>А.Б. Юнусова, О.И. Христовуло, А.Х. Абдуллин</i> Геоинформатика для ислама: о проекте создания интерактивной электронной карты «Ислам на Южном Урале»	112
<i>А.Г. Баимов</i> Мечети в военных частях на территории Южного Урала	116
<i>Р.Г. Шарипов</i> К проблеме соотношения культа предков, шаманизма и тенгрианства в религиозных представлениях древних тюрков	120

CONTENTS

2015. № 4

MATHEMATICS AND MECHANICS

- A.A. Aganin, M.A. Ilgamov*
Twenty years of research on bubble cumulation 5
- I.Sh. Nasibullayev, E.Sh. Nasibullaeva, E.V. Denisova*
The dynamics of fluid flow in the technical systems with jets 20
- M.A. Ilgamov, Sh.U. Galiev, B.R. Mace, T.Sh. Galiyev*
Modelling of resonant and transresonant waves in natural resonators:
from gravity waves to the origin of the Universe 26
-

PHYSICS

- S.N. Tseplina, E.E. Tseplin*
Excited singlet states of benzanthrone 38
- I.P. Popov*
The propagation velocity of the wave function 42
-

CHEMISTRY

- G.L. Sharipov, R. Khoroljav, A.M. Abdrakhmanov, B.M. Gareev, A.A. Tukhbatullin*
Quenching of luminol sonochemiluminescence by melatonin in aqueous solution 44
- M.H. Kurbangaleeva, L.R. Kurbangaleeva, A.Yu. Abdullina*
Improvement of the stage of distillation by use of not extinguished lime
in production of the calcinated soda 48
- M.G. Fayzullin, R.V. Galeev, A.Kh. Mamleev*
Microwave spectrum and conformation of 2-methyl-1,3-dioxolane 52
-

BIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND GENETICS

- V.V. Korobov, N.V. Zharikova, E.Yu. Zhurenko, T.R. Yasakov,
A.I. Sagitova, A.G. Gavrilchenko, T.V. Markusheva*
The new chlorophenoxyacetic acids-degrading bacterium *Bacillus simplex* CM53F 56
- N.V. Zharikova, E.I. Zhurenko, T.R. Iasakov, V.V. Korobov, A.I. Sagitova,
S.N. Starikov, A.A. Stambulidi, E.R. Gimranov, T.V. Markusheva*
The new phenol and chlorophenoxyacetic acids-degrading bacterium *Gordonia alkanivorans* 51D 62

<i>A.M. Dregulo</i>	
The effect of calcium and magnesium materials on heavy-metal removal from activated sludge and motion ability of activated sludge microorganisms	67
<i>Z.N. Suleymanova, V.V. Yakupova</i>	
On the recommendation for using some species of <i>Aristolochiaceae</i> Juss. family in winter gardens ...	71
<i>O.V. Solovyeva, E.A. Tikhonova</i>	
Natural biofilter of the hydraulic structures in the recreational areas (Kruglaya Bay, the Black Sea) ...	76

EARTH SCIENCE

<i>S.E. Znamensky</i>	
Structural evolution of the Kizil Fault (Southern Urals)	83

HISTORY, ARCHEOLOGY, ETHNOLOGY

<i>A.B. Yunusova, G. Yom Din, A.I. Tuzbekov, T.M. Nadyrshin, R.M. Mukhametzyanova-Duggal, A.G. Baimov</i>	
Ethnosocial factors of investment strategy implementation in the regions of the South Urals	89
<i>A.I. Tuzbekov, I.I. Bakhshiev</i>	
Archaeological sites as objects of sacralization (exemplified by Ilchigulovo IV burial ground)	103
<i>T.M. Nadyrshin</i>	
«The Fundamentals of Religious Cultures and Secular Ethics» in comprehensive schools of Chelyabinsk	108
<i>A.B. Yunusova, O.V. Christodoulou, A.K. Abdullin</i>	
Geoinformation technology for Islam: on the project to create interactive electronic maps «Islam in the South Urals»	112
<i>A.G. Baimov</i>	
Mosques in military units of the South Urals	116
<i>R.G. Sharipov</i>	
On relations of the ancestor worship, shamanism and tengriism in religious world-views of the ancient Turks	120

УДК 532.5

ДВАДЦАТЬ ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПУЗЫРЬКОВОЙ КУМУЛЯЦИИ

© А.А. Аганин, М.А. Ильгамов

В двадцатилетней истории исследований по сверхсжатию кавитационных пузырьков наиболее важными представляются две даты.

Это доклад Р.И. Нигматулина и Р. Лехи на Международной конференции по термодинамике ядерных реакторов NURETH-95 (США, 1995 г.), а также выступление Р.И. Нигматулина на Международной конференции по математике, механике и физике, посвященной 95-летию М.А. Лаврентьева, проходившей в 1995 г. в Казани.

Эти доклады привлекли внимание ученых к проблеме. Наиболее важным и определяющим среди них был сотрудник Оукриджской национальной ядерной лаборатории США Руси Талеархан. Он красочно описал свое впечатление от доклада Р.И. Нигматулина на указанной конференции в США. «Когда я зашел в зал, лекция уже началась, и я увидел выступающего Роберта Нигматулина, движения которого напоминали игру баскетболиста. В докладе были приведены все уравнения и решения, необходимые для доказательства возможности существования нелинейного резонанса Эта лекция положила начало 15-летнему сотрудничеству с Нигматулиным и учеными его научной школы»¹.

В теоретические исследования по проблеме включились в разное время ученые из Уфы и Казани. Перечислим их (в алфавитном порядке): А.А. Аганин, И.Ш. Ахатов, Р.Х. Болотнова, Н.К. Вахитова, М.Н. Галимзянов,

Т.С. Гусева, М.А. Ильгамов, С.И. Коновалова, Л.А. Косолапова, В.Г. Малахов, Э.Ш. Насибуллаева, А.С. Топольников, Д.Н. Топорков, Т.Ф. Халитова, Н.А. Хисматуллина, В.Ш. Шагапов.

Вторая дата – это эксперимент Р. Талеархана. Он пишет: «В начале 2001 г. мы стали отмечать безусловные признаки того, что происходит реакция термоядерного синтеза в результате схлопывания микропузырьков в ацетоне, в котором атомы водорода заменены на атомы дейтерия. Мы воспрянули духом. Наша работа получила как широкое одобрение, так и сопротивление со стороны некоторых ученых и политиков в США, поскольку речь шла о распределении многомиллионного бюджета на проведение научно-исследовательских работ по линии Министерства обороны США. Переломным моментом стала встреча в Оукриджской лаборатории в конце 2001 г., на которой решался вопрос о том, можно ли допустить публикацию нашей статьи, написанной для журнала «Science». К этому времени Нигматулин и Лехи уже сделали подробные расчеты, которые стали мощной теоретической основой для проделанных экспериментальных исследований и помогли привлечь директора Оукриджской лаборатории на нашу сторону. ... Статья вышла в 2002 г. с сопровождением главного редактора «Science» Д. Кеннеди».

У многих исследователей эти эксперименты вызвали желание не объяснить полу-

¹ Талеархан Р. Жизнь, полная впечатляющих достижений во всех ее сферах. Ученый нашего времени глазами современников / автор-сост. Х.М. Каримова. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2010. 472 с.

АГАНИН Александр Алексеевич – д.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: aganin@kfti.knc.ru

ИЛЬГАМОВ Марат Аксанович – чл.-корр. РАН, Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, e-mail: ilgamov@anrb.ru

ченный результат, а найти ошибки в методике эксперимента и доказать, что этого не может быть². Борьба мнений по поводу этого эксперимента продолжается до сих пор. Свидетельством этого является появление недавней статьи³ (ответная статья [178]).

Постановка эксперимента требовала от автора большой научной смелости и решимости. Надо сказать, что этот эксперимент, где определяющими являются много входных параметров, относится к таким, с которыми лучше не связываться. Об этом писал П.Л. Капица в своей книге «Эксперимент, теория, практика». Вот отрывок из нее:

«Когда в 30-е годы я получил очень сильные магнитные поля, в 10 раз сильнее тех, которые получали до меня, ряд ученых советовал мне провести опыты по исследованию влияния сильного магнитного поля на скорость света. Настойчивее всех со мной говорил об этом Эйнштейн. Он сказал: «Я не верю, что бог создал вселенную такой, что в ней скорость света ни от чего не зависит». Из сделанных уже в этом направлении опытов было известно, что если бы я осуществил такой опыт с моими более сильными полями, то все же эффект был бы очень маленький, только второго порядка. При этом, конечно, истинную величину эффекта, поскольку явление было бы новое, предвидеть было нельзя. В то же время опыт обещал быть исключительно сложным, так как до этого про-

водились подобные эксперименты с полями до 20 тысяч эрстед, и они показали, что даже при очень чувствительном методе измерения магнитное поле заметно не влияет на скорость света.

Другим человеком, настаивающим на этом эксперименте и даже предлагавшим финансовую поддержку, был Оливер Лодж. Он также обращался ко мне с советом осуществить этот исключительно трудный и тонкий опыт. И все же я отказался. Почему?»

П.Л. Капица объясняет, что второй независимый эксперимент с убедительным подтверждением моих результатов мог состояться очень нескоро, возможно, через десятилетия. И все это время научный мир относился бы к ним с недоверием⁴.

За истекшие годы мы являемся свидетелями этого неверия в результат эксперимента Р. Талеархана, о чем говорит П.А. Капица. Эксперимент, повторенный сотрудниками Р. Талеархана в университете Пурду, также не добавил аргументов в этом плане [92]. Наиболее полное обсуждение эксперимента содержится в [178].

За истекшее время после 2002 г. каких-то ярких событий в рассматриваемой проблеме, пожалуй, не было. Но теоретические исследования продолжались, хотя многие из названных выше ученых отошли от этой работы. Уточнялись модели отдельных процессов, получены новые результаты, шло проникно-

² Putterman S.J., Crum L.A., Suslick K. Comments on «Evidence for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation» by R.P. Taleyarkhan et.al. // Science. 295. 1868. 2002; Naranjo B. Comment on «Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation» // Physical Review Letters. 2006. V. 97. 149403.

³ Говердовский А.А., Имшенник В.С., Смирнов В.П. О перспективах термоядерной энергетики на основе кавитации пузырей // Успехи физических наук. 2013. Т. 183, N. 4. С. 445–448.

⁴ Из истории науки известно, как некоторые сведения экспериментально добывались многие десятилетия, но иногда заканчивались безрезультатно. Вспомним историю определения веса тела на разных высотах от поверхности Земли. В 1630–1640 гг. Декарт намечал опыты, однако, понимая, что достижимая разница высоты мала по сравнению с размерами Земли, отказался от идеи (это было время прихода в царствование первого из Романовых; речи не могло быть о каких-то научных изысканиях в России).

Через лет тридцать Роберт Гук, блестящий экспериментатор своего времени, установивший, в частности, экспериментально связи между напряжениями и деформациями в упругом теле (закон Гука), отважился на эксперименты по измерению веса тела от высоты его положения (1666 г.). Он взвешивал тело вместе с проволокой на вершине Святого Павла в Лондоне, а также производил эксперименты в колодцах. Но не смог показать разницу в весе тела. Еще не был сформулирован закон всемирного тяготения. О нем размышляли одновременно и Р. Гук, и И. Ньютон, которые позже яростно спорили о приоритете в этом вопросе.

вание в суть явления. Сейчас имеется крайняя необходимость в экспериментальных данных, полученных на более мощной установке, чем в [55].

Целью настоящей работы является представление полного списка публикаций указанных выше авторов. Кроме того, приводятся ряд результатов исследований. К сожалению, не все авторы откликнулись на просьбу написать о своих результатах.

1. О «баскетбольном» режиме кумуляции

Первой идеей [3, 10] о том, как достичь экстремальных параметров состояния среды в пузырьке (давления, плотности, температуры), был «баскетбольный» резонансный способ. Согласно этому способу, накачка энергии в систему газовый пузырек–жидкость сводится к непериодическому резонансному режиму воздействия внешним давлением. В момент максимального расширения пузырька давление в жидкости достаточно резко увеличивается до максимального, чтобы подталкивать жидкость, помогая ей сжимать пузырьки. Давление поддерживается высоким до момента максимального сжатия пузырька, после чего он начинает расширяться из-за высокого давления в пересжатом (из-за инерции жидкости) пузырьке. И именно после этого давление также должно резко сбрасываться до минимального, чтобы не мешать жидкости разгоняться за счет энергии сжатого в пузырьке газа. Давление должно поддерживаться таковым до следующего момента максимального расширения пузырька. При «раскачивании» объема пузырька периоды колебаний давления и радиуса пузырька должны возрастать по мере роста амплитуды колебаний. Реализация такого способа накачки энергии требует точно согласованного воздействия с использованием обратной связи между нагружающим давлением и радиальной скоростью пузырьков. Поэтому этот режим технически трудно реализуем, и впоследствии интерес к нему снизился.

В работах [17, 51] получено уравнение, описывающее процесс кумуляции механиче-

ской энергии вокруг пузырька, расположенного в центральной зоне «большого» сферического объема (для которого характерное время прохождения акустической волны по жидкости расстояний порядка радиуса объема жидкости значительно превышает период схлопывания пузырька), при воздействии поршнем. При таком воздействии кумуляция энергии происходит за счет сходящейся волны давления. Наиболее сильный эффект реализуется, когда частота колебаний давления на поверхности поршня совпадает с резонансной частотой сферического объема жидкости. Кроме того, в этом случае (пузырек в «большом» объеме) можно подобрать такой закон движения поршня, чтобы реализовался «баскетбольный» режим накачки.

В [113] рассмотрено течение воды с мелкими газовым зародышами (радиуса $R = 10^{-1}$ мм) через сопло. Установлена возможность реализации супервысоких давлений и температур (до нескольких тысяч градусов) в газовой фазе для изначально холодной смеси.

2. Широкодиапазонные уравнения состояния

При моделировании суперсжатия паровых пузырьков в жидкости возникает необходимость единого подхода для описания поведения веществ как в паровой, так и в жидкой фазе. При этом важно учитывать как испарение и конденсацию на границе пузырька и жидкости на начальной стадии, так и диссоциацию и ионизацию на завершающей стадии коллапса, сопровождающейся высокой концентрацией энергии в центре пузырька в диапазонах температур $300 - 10^8$ К, плотностей $10^{-3} - 10^4$ кг/м³ и очень больших давлениях $\sim 10^9$ бар.

В работах по схлопыванию кавитационных пузырьков в воде и ацетоне [33, 88, 115, 131] показано, что достаточно высокая молекулярная масса (низкая скорость звука) исходного пара способствует более высокому ресурсу фокусировки энергии, благодаря образованию сходящейся микроударной волны и сохранению околосферической формы пу-

зырька из-за более высокой плотности пара на его границе. Такая фокусировка приводит к образованию наноразмерного (~ 100 нм) сгустка плазмы, в которой в течение пикосекундного временного интервала ($\sim 10^{-1}$ пс) реализуется экстремальная температура ($\sim 10^8$ К) и плотность (~ 10 г/см³). При таких параметрах реализуются акты термоядерного синтеза типа $D + D$ или $D + T$, где D и T ядра изотопов водорода – дейтерия или трития. С ростом молекулярной массы исходного пара эффективность такого процесса, в частности, размер экстремальной зоны, длительность ее существования и выход термоядерной реакции, должны расти. В связи с этим интерес приобретают жидкости с высокой молекулярной массой, в частности тяжелые углеводородные жидкости. Поэтому была разработана методика и построены широкодиапазонные аналитические уравнения состояния в форме Ми-Грюнайзена не только для воды [62, 119, 120, 150], но и для углеводородных жидкостей – ацетона, бензола, тетрадекана и их дейтерированных аналогов [88, 110].

Построенные уравнения состояния, достоверно описывающие термодинамические свойства компонент двухфазной парожидкостной среды на линии насыщения, в области однофазных и метастабильных состояний, позволяют проводить теоретические исследования динамических процессов в большом диапазоне изменения давлений, температур и плотностей с учетом испарения и конденсации. С использованием разработанного уравнения состояния воды и пара исследованы нестационарные процессы истечения вскипающей жидкости в результате разгерметизации сосудов высокого давления [159, 173]. Изучены особенности формирования струй вскипающей жидкости, образующихся в процессе внезапного истечения воды из сосудов высокого давления, в зависимости от различных начальных параметров состояния насыщения, близких к термодинамической критической точке. Исследованы демпфирующие свойства пенной защиты в условиях динамического воздействия [169, 172]. Показано, что взаимодействие воздушной ударной

волны с пенным слоем сопровождается образованием вихрей в газовой области, являющихся следствием пространственной неоднородности формирующихся внутренних течений за счет переотражения волновых импульсов от границы с пеной.

3. Сжатие сферических кавитационных пузырьков

Рассматривается коллапс сферических кавитационных пузырьков в воде и жидком ацетоне. В начале коллапса (в момент времени $t = 0$) пар в пузырьке и окружающая жидкость покоятся, радиус пузырька $R_0 = 0.5$ мм. Давление жидкости на удалении от пузырька $p_\infty = 15$ бар, температура жидкости и пара $T_\infty = 20^\circ\text{C}$, пар в пузырьке в состоянии насыщения при температуре T_∞ . Применяется математическая модель Р.И. Нигматулина [88], в которой движение жидкости и пара описывается уравнениями газовой динамики. Учитываются теплопроводность обеих сред, неравновесные процессы испарения–конденсации на межфазной границе, применяются широкодиапазонные уравнения состояния [62, 119, 120, 150].

Рис. 1 иллюстрирует изменение давления в пузырьке и окружающей его жидкости в заключительной высокоскоростной стадии коллапса пузырьков в воде и ацетоне. Видно, что содержимое пузырька в воде сжимается относительно однородно (рис. 1, *a*). В отличие от этого, в пузырьке в ацетоне (рис. 1, *b*) на некотором удалении от межфазной поверхности формируется ударная волна (при $r \approx 35$ мкм, когда радиус пузырька $R \approx 54$ мкм). В результате ее схождения значения параметров в центре пузырька в ацетоне возрастают намного больше, чем в пузырьке в воде. Продолжительность стадии сжатия пузырька в воде и ацетоне различается незначительно. Вместе с тем глубина коллапса пузырька в воде существенно больше: минимальный радиус пузырька у пузырька в воде $R_{\min} \approx 11$ мкм, а у пузырька в ацетоне $R_{\min} \approx 39$ мкм. Сильно различаются также и максимальные скорости сжатия. Несмотря на то, что максимальная скорость сжатия пузырька в воде около 1810 м/с, что значительно больше, чем в ацетоне (570 м/с),

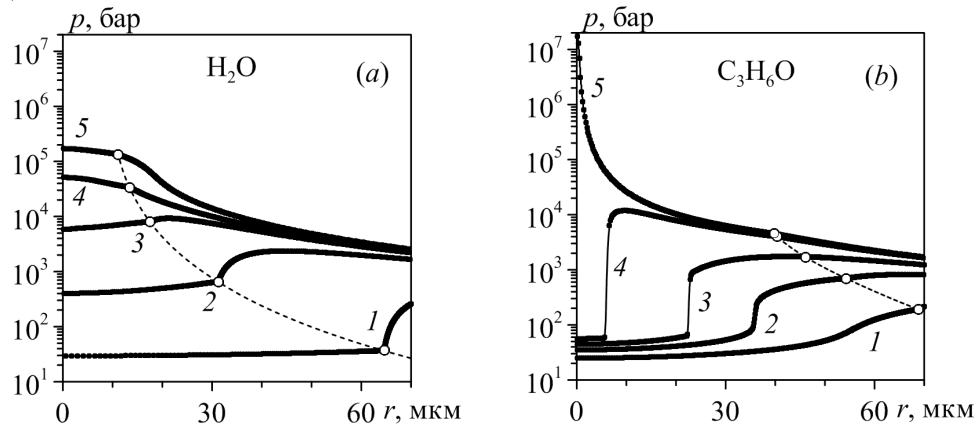


Рис. 1. Радиальное распределение давления в паре и жидкости в конце коллапса пузырька ($r = 0$ соответствует центру пузырька) в воде (а) и ацетоне (б) в пять последовательных моментов времени (кривые 1–5). Кривые 5 относятся к моменту экстремального сжатия пара в пузырьке. Кружочками отмечены значения давления на поверхности пузырька

ударная волна в пузырьке в воде не возникает, а в пузырьке в ацетоне она образуется. Анализ показывает [177], что такое различие обусловлено тем, что ацетон по сравнению с водой обладает большей молекулярной массой M и меньшим показателем адиабаты γ : у ацетона $M = 58$ г/моль, $\gamma = 1.125$, у воды $M = 18$ г/моль, $\gamma = 1.325$.

4. Рост малой несферичности пузырька при сжатии

Рассматривается рост амплитуды малых возмущений сферической формы кавитационных пузырьков в воде и ацетоне при их коллапсе. Возмущения принимаются в виде отдельных сферических гармоник. Поверхность пузырька в сферической системе отсчета r, θ, ϕ с началом в центре пузырька представляется следующим образом: $r = R(t) [1 + \varepsilon_n(t) P_n(\cos \theta)]$. Здесь R – радиус пузырька, ε_n – безразмерная амплитуда (со знаком) отклонения формы пузырька от сферической в виде $P_n()$ – полинома Лежандра степени n . В начале коллапса $R(0) = R_0$, $\varepsilon_n(0) = \varepsilon_{n,0}$, где $\varepsilon_{n,0}$ – малая величина. Применяется квазиодномерное приближение с расщеплением динамики пара и жидкости на сферическую составляющую и малое несферическое возмущение. Сферическая составляющая описывается по модели работы [88], а несферическая – по модели работы [95].

Для оценки роста амплитуды малых возмущений сферичности пузырька используются

огibaющие $\varepsilon_{n,c}^{**}$ зависимостей $\varepsilon_{n,c}^* = |\varepsilon_{n,c} / \varepsilon_{n,0}|$ от номера гармоники n , определяющего возмущение сферичности в виде $P_n(\cos \theta)$. Здесь $\varepsilon_{n,c}$ – значение амплитуды ε_n в момент экстремального сжатия пара в центре пузырька. Способ построения огibaющих проиллюстрирован на рис. 2.

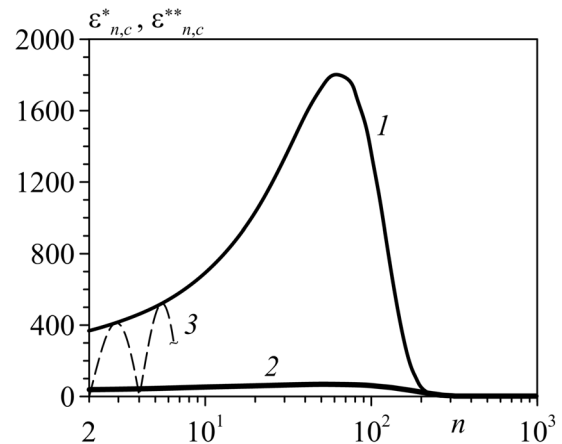


Рис. 2. Огибающие $\varepsilon_{n,c}^{**}$ зависимостей величины $\varepsilon_{n,c}^* = |\varepsilon_{n,c} / \varepsilon_{n,0}|$, характеризующей рост несферичности пузырька при его сжатии, от номера гармоники n (кривая 1 – вода, кривая 2 – ацетон) и фрагмент самой этой зависимости (кривая 3) для воды

Согласно представленным на рис. 2 огibaющим $\varepsilon_{n,c}^{**}$ зависимостям $\varepsilon_{n,c}^*(n)$, амплитуда безразмерных возмущений сферичности рассматриваемых кавитационных пузырьков $|\varepsilon_n|$ может возрасти при коллапсе до 1800 раз в воде и только до 70 раз в ацетоне. Такая большая разница (примерно в 25 раз) обус-

ловлена, в основном, двумя факторами. Во-первых, пузырек в воде сжимается примерно в 4 раза сильнее, а следовательно, сильнее проявляется и неустойчивость Биркгофа – Плессета, обусловленная уменьшением радиуса пузырька. Во-вторых, в конце сжатия пузырька в воде его поверхность подвергается сильному влиянию неустойчивости Рэля – Тейлора. В случае же пузырька в ацетоне неустойчивость Рэля – Тейлора практически отсутствует. Максимум роста амплитуды несферичности достигается при $n = n_m \approx 61$ для пузырька в воде и при $n = n_m \approx 58$ для пузырька в ацетоне. По мере увеличения n от $n = 2$ величина $\varepsilon_{n,c}^{**}$ возрастает при $n < n_m$ (в 4.9 раза для воды и в 1.8 раза для ацетона) и довольно быстро убывает из-за влияния вязкости при $n > n_m$, так что, начиная с $n = 270$ и 360 соответственно, несферичность пузырька в конце сжатия оказывается меньше, чем в его начале. Следует отметить, что наиболее легко возбуждаемые сфероидальные ($n = 2$) возмущения сферичности кавитационного пузырька растут при его сжатии в воде в 370 раз и в ацетоне в 38 раз.

5. Деформация радиально сходящейся ударной волны в пузырьке

Рассматривается деформация радиально сходящейся ударной волны, возникающей внутри изначально слабонесферического пу-

зырька в жидком дейтерированном ацетоне с температурой $T_\infty = 0^\circ\text{C}$, в финальной высокоскоростной стадии его коллапса. Применяется двумерное (осесимметричное) приближение. Используется математическая модель [116], являющаяся, по существу, обобщением одномерной модели [88] на осесимметричный случай. При изначально малой сфероидальной несферичности пузырька уравнение его поверхности при $t = 0$ можно представить в виде $r = R_0 [1 + \varepsilon_{2,0} P_2(\cos \theta)]$. Исследование проводится численно с применением модификации метода С.К. Годунова, имеющей второй порядок точности по пространству и времени [116].

Рис. 3 иллюстрирует деформацию сходящейся ударной волны в пузырьке, имеющем начальную несферичность $\varepsilon_{2,0} = \pm 0.0033$. Момент 1 близок к моменту возникновения ударной волны, а момент 5 соответствует началу смыкания полости перед ее фронтом. Продолжительность схождения около 0.025 мкс.

В обоих представленных на рис. 3 случаях смыкание ударной волны (момент 5) начинается со столкновения точек ее поверхности в центре пузырька (в точке $r = 0$). При этом в момент столкновения в изначально вытянутом пузырьке (при $\varepsilon_{2,0} = +0.0033$) ограниченная фронтом ударной волны полость

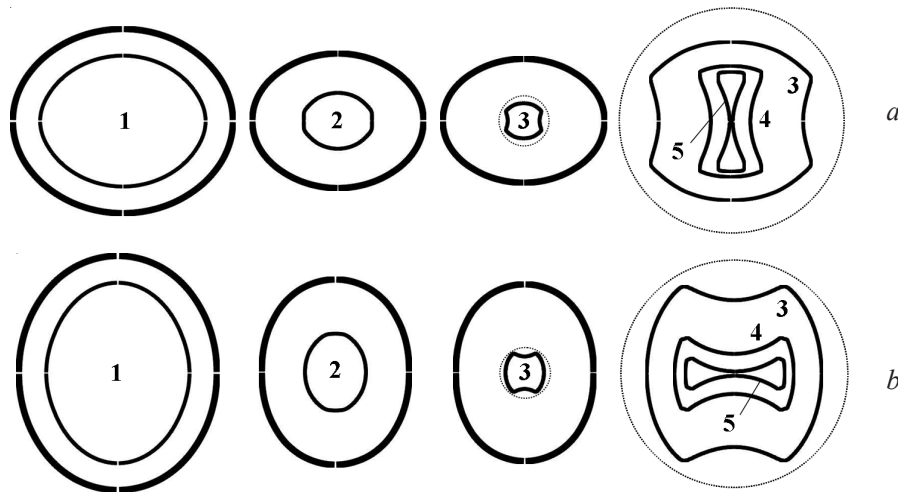


Рис. 3. Деформация радиально сходящейся ударной волны (внутренние жирные линии) в кавитационном пузырьке в ацетоне в пять моментов времени 1–5 конца его коллапса. Пузырек изначально сфероидальный: $\varepsilon_{2,0} = +0.0033$ (a), $\varepsilon_{2,0} = -0.0033$ (b). Внешние жирные линии в моменты 1–3 – поверхность пузырька. Тонкими круговыми линиями выделена центральная область пузырька диаметром 14.8 мкм

становится гантелеподобной, а в изначально сплюснутом пузырьке ($\epsilon_{2,0} = -0.0033$) – дискообразной. Естественно, что столь существенное различие фокусировки ударной волны не может не отразиться как на положении и конфигурации зон с экстремально высокими значениями давления, плотности и температуры в центральной области пузырька, так и на величину этих экстремально высоких значений. Фокусировка ударной волны в идеально сферическом пузырьке идеально сферическая. В изначально вытянутом пузырьке в рассмотренном диапазоне малой несферичности она реализуется как близкая к цилиндрической, а в изначально сплюснутом – как близкая к столкновению плоских волн. Поэтому можно ожидать, что достигаемые степени сжатия среды в окрестности центра пузырька будут в первом случае больше, чем во втором, а во втором – больше, чем в третьем.

6. Влияние малой несферичности пузырька на степень сжатия его содержимого

Естественно, что проиллюстрированное в предыдущем разделе столь существенное различие процесса фокусировки ударной волны в полости изначально сферических и слегка вытянутых и сплюснутых пузырьков не может не отразиться на степени сжатия среды в их полости. Влияние этого различия демонстрирует рис. 4. На этом рисунке представлено изменение $\lg N$, где $N(t)$ – определяемое с помощью интегральной свертки [88] число произведенных в пузырьке нейтронов при сжатии изначально сферического, вытянутого ($\epsilon_{2,0} = +0.0033$) и сплюснутого ($\epsilon_{2,0} = -0.0033$) пузырьков.

Как видно, характеризуемая числом произведенных нейтронов степень сжатия среды в несферических пузырьках меньше, чем в сферическом. При этом степень сжатия среды в изначально слегка вытянутом пузырьке больше, чем в изначально сплюснутом. Такое соотношение объясняется тем, что сферическая фокусировка ударной волны, соответствующая чисто сферическому пузырьку, при наличии малой начальной вытянутости пузырька фактически сменяется на фокусировку, близкую к цилиндрической, при наличии малой началь-

ной сплюснутости – на фокусировку, близкую к столкновению двух плоских ударных волн.

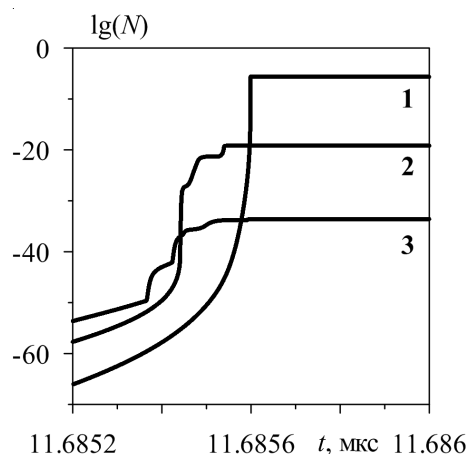


Рис. 4. Изменение логарифма от числа произведенных в пузырьке нейтронов N при сжатии изначально сферического (кривая 1), слегка вытянутого ($\epsilon_{2,0} = +0.0033$, кривая 2) и сплюснутого ($\epsilon_{2,0} = -0.0033$, кривая 3) пузырьков

Вычислительные эксперименты показали, что подобные сценарии деформаций сходящихся ударных волн в пузырьке, а значит, и аналогичные соотношения между степенями сжатия среды в пузырьке, реализуются также и при кривая $|0.001 \leq \epsilon_{2,0}| \leq 0.01$.

Таким образом, малые начальные сфероидальные отклонения формы кавитационного пузырька от сферической приводят к снижению степени сжатия среды в нем при его сильном сжатии на режиме с образованием в его полости радиально сходящихся ударных волн. При этом степень сжатия среды в изначально слегка вытянутом пузырьке оказывается больше, чем в изначально слегка сплюснутом. Такая разница связана с различием фокусировки сходящихся ударных волн в этих пузырьках. В случае изначально вытянутого пузырька ударная волна в начале смыкания полости перед ее фронтом приобретает гантелеподобную форму, а в случае изначально сплюснутого пузырька становится дискообразной. В результате в отличие от сферической фокусировки в чисто сферическом пузырьке в случае изначально вытянутого пузырька фокусировка ударной волны реализуется близкой к цилиндрической, а в случае изначально сплюснутого пузырька – близкой к столкновению двух плоских ударных волн.

Литература

1. Нигматулин Р.И. Сходящиеся цилиндрические и сферические детонационные волны // Прикладная математика и механика. 1967. Т. 31, N. 2. С. 158–163.
2. Akhatov I.S., Parlitz U., Lauterborn W. Pattern formation in acoustic cavitation // J. of the Acoustical Society of America. 1994. V. 96, N. 6. P. 3627–3635.
3. Нигматулин Р.И., Шагапов В.Ш., Вахитова Н.К., Лэхи Р.Т. Метод сверхсжатия газового пузырька в жидкости с помощью неперiodического колебания давления с умеренной амплитудой // Доклады РАН. 1995. Т. 40, N. 3. С. 122–126.
4. Nigmatulin R.I., Lahey R.T. Prospects for bubble fusion // Proceedings of the 7-th Nuclear Thermo-Hydraulics Conf. (NURETH-7). 1995. NUREG/CP-0142. V. 1.
5. Parlitz U., Scheffczyk C., Akhatov I.S., Lauterborn W. Structure formation in cavitation bubble fields // Chaos, Solitons and Fractals. 1995. V. 5, N. 10. P. 1881–1891.
6. Нигматулин Р.И., Ахатов И.Ш., Вахитова Н.К. Влияние сжимаемости жидкости в динамике газового пузырька // Доклады РАН. 1996. Т. 348, N. 6. С. 768–771.
7. Akhatov I.S., Parlitz U., Lauterborn W. Towards a theory of self-organization phenomena in bubble-liquid mixtures // Physical Review E. 1996. V. 54. P. 4990–5003.
8. Lahey R.T., Nigmatulin R.I. Bubble fusion reactor technology // Proceedings of Japan/U.S. specialists meeting «Two phase flow dynamics». 1996.
9. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Lahey (Jr.) R.T. On the volume oscillations of a gas bubble in a liquid filled flask // Proceedings of the 1996 ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting. Part 3 (of 3). 1996.
10. Nigmatulin R.I., Shagapov V.Sh., Vakhitova N.K., Lahey Jr. R.T. A method for superhigh compression-induced temperatures in a gas bubble using non-periodic resonance liquid pressure forcing // Chemical Engineering Communications. 1996. V. 152–53. P. 17–39.
11. Аганин А.А. Динамика газа в пузырьке, находящемся в центре сферического объема жидкости // Труды I Международной конференции «Модели механики сплошной среды, вычислительной технологии и автоматизированное проектирование в авиа- и машиностроении». 1997. Т. 1. С. 44–48.
12. Ахатов И.Ш., Вахитова Н.К., Галеева Г.Я., Нигматулин Р.И., Хисматуллин Д.Б. О слабых колебаниях газового пузырька в сферическом объеме сжимаемой жидкости // Прикладная математика и механика. 1997. Т. 61, N. 6. С. 952–962.
13. Akhatov I.S., Gumerov N., Ohl C.D., Parlitz U., Lauterborn W. The role of surface tension in stable single bubble sonoluminescence // Physical Review Letters. 1997. V. 78. P. 227–230.
14. Akhatov I.S., Mettin R., Ohl C.D., Parlitz U., Lauterborn W. Bjerknes force threshold for stable single bubble sonoluminescence // Physical Review E. 1997. V. 55. P. 3747–3750.
15. Mettin R., Akhatov I., Parlitz U., Ohl C.D., Lauterborn W. Bjerknes force between small cavitation bubbles in a strong acoustic field // Physical Review E. 1997. V. 56. P. 2924–2931.
16. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. On the theory of supercompression and sonoluminescence of a gas bubble in a liquid-filled flask // Multiphase Flow. Proceedings International Symposium ISMF'1997. P. 50–57.
17. Нигматулин Р.И., Шагапов В.Ш., Галеева Г.Я. Вынужденные нелинейные колебания газового пузырька в большой сферической колбе (резонаторе), заполненной жидкостью // Прикладная механика и техническая физика. 1998. Т. 39, N. 5. С. 77–87.
18. Nigmatulin R.I. Acoustics of two-phase fluids and sonoluminescence // Proceedings of 16-th International Congress on Acoustics and 135-th Meeting Acoustical Society of America. 1998. V. 4. P. 2443–2445.
19. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. The resonant supercompression and sonoluminescence of a gas bubble in a liquid filled flask // Chemical Engineering Communications. 1998. V. 168. P. 145–169.
20. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. On the theory of supercompression and sonoluminescence of a gas bubble in a liquid-filled flask // Proceedings of 16-th International Congress on Acoustics and 135-th Meeting Acoustical Society of America. 1998. V. 4. P. 2853–2854.
21. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. Resonant supercompression of bubbles in liquid: hydromechanical, acoustical, thermophysical, and chemical problems // Proceedings of 1st Annual Meeting. Inst. For Multiphase Science and Technology. 1998. P. IV-3–10.
22. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Численное моделирование динамики газа в пузырьке при схлопывании с образованием ударных волн // Прикладная механика и техническая физика. 1999. Т. 140, N. 2. С. 101–110.
23. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Колебания сферического пузырька газа в жидкости с образованием ударных волн // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 1999. N. 6. С. 126–133.
24. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Гидродинамическое моделирование периодических колебаний пузырька воздуха в воде // Труды Всероссийской научной конференции «Краевые задачи и их приложения». 1999. С. 129–135.

25. Аганин А.А., Нигматулин Р.И., Ильгамов М.А., Ахатов И.Ш. Динамика пузырька газа в центре сферического объема жидкости // Доклады РАН. 1999. Т. 369, N. 2. С. 182–185.
26. Нигматулин Р.И., Ахатов И.Ш., Вахитова Н.К., Топольников А.С. Моделирование колебаний газового пузырька в жидкости под действием внешнего акустического возмущения // Вестник Башкирского университета. 1999. Т. 3. С. 17–20.
27. Aganin A.A., Moiseev S.A. About sonoluminescence effect as a possible way of gamma-ray laser pumping // Proceedings First International Workshop IGE'97. 1999. P. 182–187.
28. Нигматулин Р.И., Ахатов И.Ш., Вахитова Н.К. Вынужденные колебания газового пузырька в сферическом объеме сжимаемой жидкости // Прикладная механика и техническая физика. 1999. Т. 40, N. 2. С. 111–118.
29. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. Hydromechanics, acoustics and transport in sonoluminescence phenomena // Sonochemistry and Sonoluminescence (Ed. L. Crum, T. Mason, J. Reisse, K. Suslick). NATO ASI Series. 1999. P. 127–138.
30. Nigmatulin R., Akhatov I., Vakhitova N. and Topolnikov A. Bubble collapse and shock wave formation in sonoluminescence // In «Nonlinear Acoustics at the Turn of the Millennium» (W. Lauterborn and T. Kurz, eds.). ISNA-15. 1999.
31. Parlitz U., Mettin R., Luther S., Akhatov I., Voss M., Lauterborn W. Spatiotemporal dynamics of acoustic cavitation bubble clouds // Philosophical transactions of the Royal Society of London A. 1999. V. 357. P. 313–334.
32. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Зависимость параметров сжатия пузырька от формы возбуждения // Труды математического центра им. Н.И. Лобачевского. 2000. Т. 7. С. 28–37.
33. Болотнова Р.Х., Закиров К.Р., Топольников А.С. Динамика парового пузырька в жидкости при лазерном и нейтронном пробое // Башкирский химический журнал. 2000. N. 3. С. 82–85.
34. Aganin A.A. Dynamics of a small bubble in a compressible fluid // International Journal Numerical Methods in Fluids. 2000. V. 33. P. 157–174.
35. Aganin A.A., Ilgamov M.A. Dependence of Bubble Compression Parameters on the External Pressure // Proceedings of International Conference on Multiphase Systems. 2000. P. 269–274.
36. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Bolotnova R.Kh., Topolnikov A.S., Nasibullayeva E.Sh., Kalyakina O.L., Zakirov K.R. Mathematical modeling of a single bubble and multibubble dynamics in a liquid // Proceedings of International Conference on Multiphase Systems. 2000. P. 294–301.
37. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. On the forced oscillations of a small gas bubble in a spherical liquid filled flask // J. of Fluid Mechanics. 2000. V. 414. P. 47–73.
38. Nigmatulin R.I., Akhatov, I.S., Vakhitova N.K., Nasibullayeva E.Sh. Dynamics of bubble clusters // AIP conference proceedings. 2000. V. 524. P. 455–460.
39. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Topolnikov A.S. Bubble collapse and shock formation in sonoluminescence // AIP conference proceedings. 2000. V. 524. P. 433–436.
40. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Динамика пузырька газа в центре сферического объема жидкости // Математическое моделирование. 2001. Т. 3, N. 1. С. 26–40.
41. Аганин А.А. Сжатие пузырька импульсно-периодическим воздействием // Актуальные проблемы механики сплошной среды. Юбилейный сборник, посвященный 10-ю ИММ. 2001. С. 36–47.
42. Аганин А.А. Метод сжатия пузырька импульсно-периодическим возбуждением // Материалы докладов Российского национального симпозиума по энергетике (РНЭС). 2001. Т. 1. С. 425–428.
43. Ахатов И.Ш., Вахитова Н.К., Топольников А.С., Меттин Р., Линдау О., Лаутерборн У. Динамика парового пузырька в условиях кавитационной люминесценции // Акустика неоднородных сред: сб. трудов. 2001. Вып. 117. С. 47–50.
44. Akhatov I., Lindau O., Topolnikov A., Mettin R., Vakhitova N., Lauterborn W. Collapse and rebound of a laser-induced cavitation bubble // Physics of Fluids. 2001. V. 13, N. 10. P. 2805–2819.
45. Akhatov I.Sh., Nigmatulin R.I., Vakhitova N.K., Nasibullayeva E.Sh., Kalyakina O.L. Dynamics of bubble clusters in an acoustic field // CD-Proceedings of IV International Conference on Multiphase Flow. 2001.
46. Nigmatulin R., Akhatov I., Vakhitova N., Bolotnova, Topolnikov A. Single bubble dynamics in sonoluminescence // CD Proceedings of IV International Conference on Multiphase Flow. 2001.
47. Аганин А.А., Гусева Т.С., Ильгамов М.А., Косолапова Л.А., Малахов В.Г. Устойчивость сильно-го сжатия сферического пузырька // Проблемы механики деформируемого твердого тела. 2002. С. 7–13.
48. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Динамика газового пузырька при возбуждении импульсами сжатия и разрежения в жидкости // Доклады РАН. 2002. Т. 382, N. 2. С. 176–180.
49. Ахатов И.Ш., Вахитова Н.К., Топольников А.С. Динамика пузырька в жидкости при воздействии лазерного импульса // Прикладная механика и техническая физика. 2002. Т. 43, N. 1. С. 52–59.
50. Нигматулин Р.И., Талейархан Р.П., Лэхи Р.Т. (мл.) Термоядерный синтез на основе дейтерия при акустической кавитации // Вестник АН РБ. 2002. Т. 7, N. 4. С. 3–25.
51. Шагапов В.Ш., Гималтдинов И.К., Юдин А.В. Нелинейные колебания пузырькового кластера в сфе-

- рическом резонаторе // Теплофизика высоких температур. 2002. Т. 40, N. 2. С. 284–291.
52. Akhatov I., Vakhitova N., Topolnikov A., Zakirov K., Wolfrum B., Kurz T., Lindau O., Lauterborn W. Dynamics of laser-induced cavitation bubbles // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2002. V. 26. P. 731–737.
53. McDaniel J.G., Akhatov I., Holt R.G. Inviscid dynamics of a wet foam drop with monodisperse bubble size distribution // *Physics of Fluids*. 2002. V. 14, N. 6. P. 1886–1894.
54. Taleyarkhan R.P., Block R.C., West C., Lahey R.T. (Jr.) Comments on the Shapira and Saltmarsh report. 2002. URL: <http://newenergytimes.com/v2/bubblegate/2002/TAL-CommentsOn-SS-Report.pdf>.
55. Taleyarkhan R. P., West C., Cho J.S., Lahey (Jr.) R.T., Nigmatulin R.I., Block R. Evidence for nuclear emissions during acoustic cavitation // *Science*. 2002. V. 295. P. 1868–1873.
56. Аганин А.А., Гусева Т.С., Ильгамов М.А. Искажение сферической формы пузырька при больших расширениях-сжатиях из состояния покоя // *Динамика газовых пузырьков и аэрозолей*. 2003. С. 95–132.
57. Гусева Т.С. Искажение сферической формы пузырька при его сильном расширении-сжатии // *Динамика газовых пузырьков и аэрозолей*. 2003. С. 133–178.
58. Ильгамов М.А., Насибуллаева Э.Ш. Нелинейный аналог уравнения Плессета для несферического движения газового пузырька // *Труды Института механики УНЦ РАН*. 2003. С. 164–177.
59. Ильгамов М.А., Насибуллаева Э.Ш., Кондратьев Д.В. О нелинейных несферических колебаниях газового пузырька в несжимаемой идеальной жидкости // *Труды Института механики УНЦ РАН*. 2003. С. 178–194.
60. Коновалова С.И. Динамика пузырьков и пузырьковых кластеров: формирование структур в акустическом поле // *Обзорные прикладной и промышленной математики*. 2003. Т. 10, вып. 3. С. 673.
61. Нигматулин Р.И. Термоядерный синтез в пузырьке // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2003. N. 3. С. 2–7.
62. Нигматулин Р.И., Болотнова Р.Х. Уравнение состояния жидкой воды при статических и ударных сжатиях // *Труды VI Заббахинских научных чтений*. 2003. 20 с. URL: www.vniitf.ru/rig/konfer/6zst/6zst.htm.
63. Топольников А.С. Массообмен и реакции диссоциации воды в динамике нелинейных колебаний одиночного пузырька и пузырькового кластера // *Динамика газовых пузырьков и аэрозолей*. 2003. С. 245–260.
64. Aganin A.A., Ilgamov M.A., Guseva T.S. Distortion of the spherical shape of a bubble under strong enlargement-compression // *Fifth International Symposium «HIGH DYNAMIC PRESSURE»*. 2003. P. 417–429.
65. Аганин А.А., Гусева Т.С. Устойчивость сферической формы пузырька в процессе его сильного расширения-сжатия // *Нелинейная динамика механических и биологических систем: Межвузовский сб.* 2004. Вып. 2. С. 103–107.
66. Аганин А.А., Гусева Т.С. Устойчивость сферической формы пузырька при его однократном сильном расширении-сжатии // *Тезисы Второй Международной летней научной школы «Гидродинамика больших скоростей»*. 2004. С. 24–26.
67. Аганин А.А., Гусева Т.С., Ильгамов М.А. Зависимость искажений сферической формы пузырька от модели его сильных радиальных колебаний // *Труды Всероссийской научной конференции «Современные проблемы физики и математики»*. 2004. Т. 2. С. 7–10.
68. Аганин А.А., Топорков Д.Ю. Изменение искажения сферической формы парового пузырька при большом расширении-сжатии // *Труды XVII сессии Международной школы по моделям механики сплошной среды*. 2004. С. 15–18.
69. Гусева Т.С. Искажение сферической формы пузырька в процессе его сильного расширения-сжатия // *Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении*. 2004. С. 239–245.
70. Ильгамов М.А., Косолапова Л.А., Малахов В.Г. Нелинейные колебания пузырька газа в жидкости при осесимметричном возмущении его сферической формы // *Труды математического центра имени Н.И. Лобачевского*. 2004. Т. 27. С. 119–123.
71. Ильгамов М.А., Косолапова Л.А., Малахов В.Г. Нелинейные несферические колебания пузырька газа в жидкости // *Тезисы Второй Международной летней научной школы «Гидродинамика больших скоростей»*. 2004. С. 81–83.
72. Ильгамов М.А., Насибуллаева Э.Ш., Кондратьев Д.В. Параметрический анализ несферических колебаний газового пузырька в жидкости // *Вестник УГАТУ*. 2004. Т. 5, N. 1. С. 39–47.
73. Nigmatulin R.I., Taleyarkhan R.P., Lahey R.T. (Jr.) The evidence for nuclear emissions during acoustic cavitation revisited // *J. of Power and Energy*. 2004. 128(A). P. 345.
74. Taleyarkhan R.P., West C., Cho J.S., Lahey R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I., Block R. Additional evidence of nuclear emissions during acoustic cavitation // *Physical Review E*. 2004. V. 69. 036109.
75. Аганин А.А., Гусева Т.С. Эволюция малого искажения сферической формы газового пузырька при его сильном расширении-сжатии // *Прикладная механика и техническая физика*. 2005. Т. 46, N. 4. С. 17–28.
76. Аганин А.А., Халитова Т.Ф. Эволюция формы осесимметричного пузырька при коллапсе //

Материалы VI Всероссийского семинара «Сеточные методы для краевых задач и приложения». 2005. С. 24–28.

77. Ахатов И.Ш., Коновалова С.И. Регулярная и хаотическая динамика сферического кавитационного пузырька // Прикладная математика и механика. 2005. Т. 69, N. 3. С. 636–647.

78. Гусева Т.С. Расчет несферической динамики газового пузырька в жидкости при сильном расширении-сжатии // Материалы VI Всероссийского семинара «Сеточные методы для краевых задач и приложения». 2005. С. 73–77.

79. Ильгамов М.А. Качественный анализ развития отклонений от сферической формы при схлопывании полости в жидкости // Доклады РАН. 2005. Т. 404, N. 1. С. 37–40.

80. Насибуллаева Э.Ш., Ахатов И.Ш. Динамика пузырькового кластера в акустическом поле // Акустический журнал. 2005. Т. 51, N. 6. С. 709–717.

81. Топорков Д.Ю. Расчет изменения искажения сферической формы парового пузырька при его сверхсильном однократном расширении-сжатии в дейтерированном ацетоне // Материалы VI Всероссийского семинара «Сеточные методы для краевых задач и приложения». 2005. С. 220–223.

82. Aganin A.A., Guseva T.S. Distortion of the spherical shape of a bubble under its single strong enlargement-compression // High Speed Hydrodynamics. Second International Summer Scientific School. 2005. P. 191–196.

83. Akhatov I.S., Nigmatulin R.I., Lahey R.T. (Jr.), The analysis of linear and nonlinear bubble cluster dynamics // Multiphase Science and Technology. 2005. Quarterly V. 17, Iss. 3. P. 225–256.

84. Konovalova S., Akhatov I.S. Structure formation in acoustic cavitation // Multiphase Science and Technology. 2005. V. 17, Iss. 3. P. 343–371.

85. Lahey R.T. (Jr.), Taleyarkhan R.P., Nigmatulin R.I. Bubble power // IEEE Spectrum. 2005. Т. 42, N. 5. С. 30–35.

86. Nasibullaeva E.S., Akhatov I.S. Dynamics of a bubble cluster in an acoustic field // Acoustical Physics. 2005. V. 51, N. 6. P. 705–712.

87. Nigmatulin R.I. Nano-scale thermonuclear fusion in imploding vapor bubbles // Nuclear Engineering and Design. 2005. V. 235. P. 1079–1091.

88. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Topolnikov A.S., Bolotnova R.Kh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. (Jr.), Taleyarkhan R.P. The Theory of supercompression of vapor bubbles and nano-scale thermonuclear fusion // Physics of Fluids. 2005. V. 17. 107106.

89. Nigmatulin R.I., Bolotnova R.Kh., Vakhitova N.K., Topolnikov A.S. Dynamics of bubble supercompression in organic liquids // «Mechanics of the 21st Century» edited by W. Gutkowski and T.A. Kowalewski. 2005.

90. Taleyarkhan R.P., Lahey R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I. Bubble nuclear fusion technology – status and challenges // Multiphase Science and Technology. 2005. Quarterly V. 17, Iss. 3. P. 191–224.

91. Topolnikov A.S. The influence of mass transfer and chemical reactions on the dynamics of bubbles and bubble clusters // Selected Papers of International Conference «Fluxes and Structures in Fluids». 2005. P. 333–339.

92. Xu Y., Butt A. Confirmatory experiments for nuclear emissions during acoustic cavitation // Festschrift edition celebrating the 65th birthday of prof. R.T. Lahey (Jr.). / Ed. by R.P. Taleyarkhan, P. Di' Marco, G. Lohnert. S. 1.: Elsevier, 2005. V. 235, Iss. 12. P. 1317–1324.

93. Аганин А.А., Гусева Т.С. Эволюция возмущений сферичности пузырька газа в жидкости при сильном сжатии // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 15-летию ИММ КазНЦ РАН. 2006. С. 83–103.

94. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Нигматулин Р.И., Топорков Д.Ю. Эволюция искажения сферичности парового пузырька при его сверхсильном расширении-сжатии в дейтерированном ацетоне // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 15-летию ИММ КазНЦ РАН. 2006. С. 72–82.

95. Аганин А.А., Нигматулин Р.И., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю. Искажение сферичности парового пузырька в дейтерированном ацетоне // Доклады РАН. 2006. Т. 408, N. 6. С. 767–771.

96. Ильгамов М.А. Качественная теория устойчивости сферической формы полости при сжатии в жидкости // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 15-летию ИММ КазНЦ РАН. 2006. С. 8–35.

97. Смородов Е.А., Галиахметов Р.Н. Экспериментальное обнаружение нейтронов при ударном сжатии дейтериевого пузырька в вязкой жидкости // Прикладная физика. 2006. N. 4. С. 5–11.

98. Lahey R.T. (Jr.), Taleyarkhan R.P., Nigmatulin R.I. Bubble nuclear fusion technology – status and challenges // Multiphase Science and Technology. 2005. V. 17. P. 191–224.

99. Lahey R.T. (Jr.), Taleyarkhan R.P., Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh. Sonoluminescence and the search for sonofusion // Advances in Heat Transfer. 2006. V. 39. P. 1–168.

100. Nagrath S., Jansen K., Lahey R.T. (Jr.), Akhatov I.Sh. Hydrodynamic simulation of air bubble implosion using a Level Set approach // J. of Computational Physics. 2006. V. 215, N. 1. P. 98–132.

101. Nigmatulin R.I. Nanoscale bubble thermonuclear fusion in acoustically cavitaded deuterated liquid // AIP Conference Proceedings. 2006. V. 849. P. 20–23.

102. Taleyarkhan R.P., Block R. C., Lahey, R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I., Xu Y. Nuclear Emissions During Self-Nucleated Cavitation // *Physics Review Letters*. 2006. V. 96. 034301.
103. Taleyarkhan R.P., West C., Lahey R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I., Block R., Xu Y. Reply on Naranjo comment // *Physical Review Letters*. 2006. V. 97. LQK1005.
104. Taleyarkhan R.P., West C., Lahey R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I., Block R., Xu Y. Reply on Lipson comment // *Physical Review Letters*. 2006. V. 97. LQK1028.
105. Аганин А.А., Гусева Т.С. Моделирование сжатия несферического пузырька // *Материалы VII Всероссийского семинара «Сеточные методы для краевых задач и приложения»*. 2007. С. 15–18.
106. Аганин А.А., Гусева Т.С., Халитова Т.Ф. Моделирование эволюции малых искажений сферичности коллапсирующего пузырька // *Труды Института механики УНЦ РАН*. 2007. Вып. 5. С. 60–65.
107. Аганин А.А., Халитова Т.Ф. Расчет эволюции отклонения от сферической формы пустой полости при ее сильном сжатии // *Материалы VII Всероссийского семинара «Сеточные методы для краевых задач и приложения»*. 2007. С. 19–22.
108. Аганин А.А., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Прямое численное моделирование сильного сжатия осесимметричной газовой полости в жидкости // *Труды Института механики УНЦ РАН*. 2007. Вып. 5. С. 73–78.
109. Насибуллаева Э.Ш., Ахатов И.Ш. Исследование диффузионной устойчивости пузырьков в кластере // *Прикладная механика и техническая физика*. 2007. Т. 48, N. 4. С. 40–48.
110. Нигматулин Р.И., Болотнова Р.Х. Широкодиапазонное уравнение состояния органических жидкостей на примере ацетона // *Доклады РАН*. 2007. Т. 415, N. 5. С. 617–621.
111. Топольников А.С., Коновалова С.И. Динамика паровых пузырьков в кластере в сильном акустическом поле // *Труды Института механики УНЦ РАН*. 2007. Вып. 5. С. 288–293.
112. Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Моделирование сжатия газовой полости в жидкости с учетом теплопроводности, испарения и конденсации // *Труды математического центра им. Н.И. Лобачевского*. 2007. Т. 36. С. 232–234.
113. Шагапов В.Ш., Лепихин С.А., Галимзянов М.Н. Реализация высоких давлений и температур в газовой фазе при истечении пузырьковой жидкости через сопло // *Инженерно-физический журнал*. 2007. Т. 80, N. 6. С. 134–137.
114. Lahey R.T. (Jr.), Taleyarkhan R.P., Nigmatulin R.I. Sonofusion technology revisited // *Nuclear Engineering and Design*. 2007. V. 237. P. 1571–1585.
115. Nigmatulin R., Bolotnova R., Vakhitova N., Topolnikov A., Konovalova S. Modeling of bubble cluster dynamics under conditions of bubble fusion experiments // *CD Proceedings of the 6th International Conference on Multiphase Flow*. 2007.
116. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Халитова Т.Ф. Моделирование сильного сжатия газовой полости в жидкости // *Математическое моделирование*. 2008. Т. 20, N. 11. С. 89–103.
117. Аганин А.А., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Расчет сильного сжатия сферического парогазового пузырька в жидкости // *Вычислительные технологии*. 2008. Т. 13, N. 6. С. 17–27.
118. Ильгамов М.А., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Динамика осесимметричного кавитационного пузырька при коллапсе // *Труды международной научной конференции «Дифференциальные уравнения и смежные проблемы»*. 2008. С. 109–113.
119. Нигматулин Р.И., Болотнова Р.Х. Широкодиапазонное уравнение состояния воды и пара. Метод построения // *Теплофизика высоких температур*. 2008. Т. 46, N. 2. С. 206–218.
120. Нигматулин Р.И., Болотнова Р.Х. Широкодиапазонное уравнение состояния воды и пара. Результаты расчетов // *Теплофизика высоких температур*. 2008. Т. 46, N. 3. С. 362–373.
121. Смородов Е.А., Галиахметов Р.Н., Ильгамов М.А. Физика и химия кавитации. М.: Наука. 2008. 228 с.
122. Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Коллапс сферического парового пузырька в жидкости // *Материалы VI Школы-семинара молодых ученых и специалистов под рук. акад. РАН В.Е.Алемасова «Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении»*. 2008. С. 153–156.
123. Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Коллапс газовой полости в жидкости с осесимметричными отклонениями от сферической формы // *Материалы Всероссийского семинара, посвященного столетию Аминова М.Ш. «Аналитическая механика, устойчивость и управление движением»*. 2008. С. 78–79.
124. Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Расчет сильного сжатия осесимметричного парового пузырька в жидкости // *Материалы Всероссийского семинара, посвященного столетию Кузьмина П.А. «Аналитическая механика, устойчивость и управление движением»*. 2008. С. 111–112.
125. Taleyarkhan R.P., Lapinskas J., Xu Y., Cho J.S., Block R.C., Lahey R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I. Modeling, analysis and prediction of neutron emission spectra from acoustic cavitation bubble fusion experiments // *Nuclear Engineering and Design*. 2008. V. 238, N. 10. P. 2779–2791.
126. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Малахов В.Г. Эволюция искажений сферичности кавитационного

пузырька при акустическом сверхсжатии // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль классических университетов в формировании инновационной среды регионов». 2009. Т. 1. С. 3–38.

127. Аганин А.А., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Искажение сферичности ударной волны в полости пузырька при его коллапсе // Сб. тезисов Международной конференции «Потоки и структуры в жидкостях: Физика геосфер». 2009. С. 5–8.

128. Топольников А.С. Динамика паровых пузырьков в кластере в периодическом акустическом поле // Сб. трудов XVI Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам. 2009. С. 686–688.

129. Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Деформация ударной волны в полости эллипсоидального пузырька при коллапсе // Тезисы докладов VII Всероссийской конференции молодых ученых «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии». 2009. С. 211–213.

130. Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Искажение сферичности ударной волны, сходящейся внутри кавитационного пузырька // Труды Математического центра им. Н.И. Лобачевского. 2009. Т. 39. С. 379–381.

131. Nigmatulin R.I., Bolotnova R.Kh., Vakhitova N.K., Topolnikov A.S., Konovalova S.I., Makhota N.A. Amplification of compression waves in clean and bubbly liquid // Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology. 2009. V. 58. P. 188–193.

132. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Нигматулин Р.И., Топорков Д.Ю. Эволюция искажений сферичности кавитационного пузырька при акустическом сверхсжатии // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2010. N. 1. С. 57–69.

133. Аганин А.А., Нигматулин Р.И., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю. Эволюция малых искажений сферичности кавитационного пузырька при акустическом сверхсжатии // Труды X Международной конференции «Забабахинские научные чтения». 2010. 7 с. URL: <http://www.vniitf.ru/images/zst/2010/sec1/1.pdf>.

134. Аганин А.А., Топорков Д.Ю., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Моделирование малых искажений сферичности кавитационного пузырька при его сверхсжатии // Вестник ТГГПУ. 2010. N. 4. С. 6–12.

135. Аганин А.А., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Метод численного решения задач сильного сжатия несферического кавитационного пузырька // Вычислительные технологии. 2010. Т. 15, N. 1. С. 14–32.

136. Аганин А.А., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Сильное сжатие слабонесферического

кавитационного пузырька // Труды X Международной конференции «Забабахинские научные чтения». 2010. 4 с. URL: <http://www.vniitf.ru/images/zst/2010/sec1/1-16.pdf>.

137. Ильгамов М.А. Перестройка гармоник при динамической потере устойчивости в механических системах // Доклады РАН. 2010. Т. 432, N. 5. С. 624–628.

138. Ильгамов М.А. Расширение-сжатие и устойчивость полости в жидкости при сильном акустическом воздействии // Доклады РАН. 2010. Т. 433, N. 2. С. 178–181.

139. Ильгамов М.А., Косолапова Л.А., Малахов В.Г. Движение пузырька газа в жидкости с учетом искажения его сферической формы // Вестник ТГГПУ. 2010. N. 3. С. 38–44.

140. Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю. Эволюция искажений сферичности кавитационного пузырька при его акустическом сверхсжатии // Сб. трудов Международной научно-технической и образовательной конференции «Образование и наука – производству». 2010. Ч. 1. С. 124–126.

141. Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю., Халитова Т.Ф. Эволюция искажений сферичности кавитационного пузырька при его сверхсжатии // Сб. научных трудов «Проблемы и достижения прикладной математики и механики». 2010. С. 104–113.

142. Нигматулин Р.И., Ильгамов М.А., Аганин А.А. Проблема устойчивости сферической формы пузырька при его сверхсжатии // Труды Института механики УНЦ РАН. 2010. Вып. 7. С. 19–37.

143. Топорков Д.Ю., Халитова Т.Ф. Сильное сжатие кавитационного пузырька // Сб. тезисов докладов Всероссийской научной школы молодых ученых «Механика неоднородных жидкостей в полях внешних сил». 2010. С. 86–89.

144. Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Расчет суперсжатия грушеподобного парового пузырька // Сб. трудов Международной научно-технической и образовательной конференции «Образование и наука – производству». 2010. Ч. 1. С. 155–157.

145. Aganin A.A., Khalitova T.F., Khismatullina N.A. Distortion of Sphericity of Shock Wave Inside a Bubble During Its Collapse // Selected Papers of the International Conference «Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres». 2009. P. 5–10.

146. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Динамика несферических пузырьков в жидкости в интенсивных акустических полях // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. N. 4. Ч. 5. С. 1943–1945.

147. Аганин А.А., Топорков Д.Ю., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Эволюция малых искажений сфе-

- рической формы парового пузырька при его сверхсжатии // Математическое моделирование. 2011. Т. 23. N. 10. С. 82–96.
148. Ильгамов М.А. Отклонение от сферичности паровой полости в момент ее коллапса // Доклады РАН. 2011. Т. 440, N. 1. С. 35–38.
149. Нигматулин Р.И. Схлопывание пузырьков, сверхсжатие и сонолюминесценция // Избранные проблемы современной механики / под ред. В.А. Садовниченко. М., 2011. С. 157–167.
150. Нигматулин Р.И., Болотнова Р.Х. Широкодиапазонное уравнение состояния воды и пара. Упрощенная форма // Теплофизика высоких температур. 2011. Т. 49, N. 2. С. 310–313.
151. Топорков Д.Ю. Эволюция искажений сферичности парового пузырька при его сильном сжатии // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. N. 4(3). С. 1178–1179.
152. Топорков Д.Ю., Халитова Т.Ф. Эволюция малых искажений сферичности парового пузырька при его сильном сжатии // Материалы XVII Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам. 2011. С. 625–627.
153. Халитова Т.Ф. Деформация ударных волн в пузырьке при его сильном сжатии // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. N. 4. Ч. 5. С. 2561–2563.
154. Khalitova T.F., Khismatullina N.A. Distortion of shock wave inside a bubble during its strong compression // Сб. тезисов докладов Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Механика неоднородных жидкостей в полях внешних сил. Вихри и волны». 2011. С. 22–24.
155. Taleyarkhan R.P., Lahey R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I. Nuclear Energy Encyclopedia: Science, Technology and Applications (S.B. Krivit, J.H. Lehr, T.B. Kingery). 2011. Ch. 46. P. 553.
156. Аганин А.А. Деформация кавитационных пузырьков в жидкости при их сильном расширении-сжатии // Тезисы докладов Всероссийской научной школы молодых ученых «Волны и вихри в сложных средах». 2012. С. 5–8.
157. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Кумуляция при сжатии кавитационных пузырьков в жидкости // Труды Института механики УНЦ РАН. 2012. Вып. 9. Ч. I. С. 16–21.
158. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Лэхи Р.Т. (мл.), Нигматулин Р.И., Талейархан Р.П., Топорков Д.Ю. Эволюция возмущений сферической формы кавитационного пузырька при его сверхсжатии // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17, N. 3. С. 1180–1195.
159. Болотнова Р.Х., Бузина В.А., Галимзянов М.Н., Шагапов В.Ш. Гидродинамические особенности процессов истечения вскипающей жидкости // Теплофизика и аэромеханика. 2012. N. 6. С. 719–730.
160. Топорков Д.Ю. Эволюция малых деформаций парового пузырька при его коллапсе в воде // Труды X Международной Четаевской конференции «Аналитическая механика, устойчивость и управление». 2012. С. 511–521.
161. Топорков Д.Ю. Рост малых деформаций сферичности парового пузырька при его коллапсе в воде // Труды Института механики УНЦ РАН. 2012. Вып. 9. С. 154–158.
162. Топорков Д.Ю. Эволюция малых деформаций парового пузырька при его коллапсе в бензоле // Тезисы докладов Всероссийской научной школы молодых ученых «Волны и вихри в сложных средах». 2012. С. 190–192.
163. Халитова Т.Ф. Радиальное схождение несферических ударных волн внутри пузырька при сильном сжатии // Труды X Международной Четаевской конференции «Аналитическая механика, устойчивость и управление». 2012. Т. 1. С. 499–507.
164. Bolotnova R.Kh., Galimzianov M.N., Topolnikov A.S., Buzina V.A., Agisheva U.O. Nonlinear effects in bubbly liquid with shock waves // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2012. V. 68. P. 2000–2007.
165. Nasibullaeva E.S., Volkova Y.V., Gumerov N.A., Akhatov I.S. Bubble cluster dynamics in an acoustic field // Proceedings of the 8th International Symposium on Cavitation. 2012. P. 190.
166. Аганин А.А., Топорков Д.Ю. Эволюция малых деформаций парового пузырька при его сильном сжатии в бензоле // Вестник Казанского технологического университета. 2013. N. 15. С. 28–33.
167. Аганин А.А., Топорков Д.Ю. Формирование ударных волн при сжатии кавитационного пузырька // Сб. материалов 4-й Международной научной школы молодых ученых «Волны и вихри в сложных средах». 2013. С. 54–57.
168. Аганин А.А., Халитова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Численное моделирование радиально сходящихся ударных волн в полости пузырька // Математическое моделирование. 2014. Т. 26, N. 4. С. 3–20.
169. Агишева У.О., Болотнова Р.Х., Бузина В.А., Галимзянов М.Н. Параметрический анализ режимов ударно-волнового воздействия на газожидкостные среды // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2013. N. 2. С. 15–28.
170. Nasibullaeva E.S., Akhatov I.S. Bubble cluster dynamics in an acoustic field // J. of the Acoustical Society of America. 2013. V. 133, N. 6. P. 3727–3738.
171. Taleyarkhan R.P., West C.D., Cho J., Lahey R.T. (Jr.), Nigmatulin R.I., Block R.C. Comments on Letter (Phys. Rev. L, Vol. 89, N. 10, 2002) by Shapira & M. Saltmarsh // arXiv:1307.3217. 2013.

172. Болотнова Р.Х., Агишева У.О. Пространственное моделирование динамики газожидкостной пены на подвижных лагранжевых сетках в условиях ударно-волнового воздействия // Вычислительные методы и программирование. 2014. Т. 15. С. 427–440.

173. Болотнова Р.Х., Бузина В.А. Пространственное моделирование нестационарной стадии истечения вскипающей жидкости из камер высокого давления // Вычислительная механика сплошных сред. 2014. Т. 7, N. 4. С. 343–352.

174. Ильгамов М.А. Сильное расширение-сжатие полости в жидкости при акустическом воздействии // Прикладная математика и механика. 2014. Т. 78, N. 3. С. 425–433.

175. Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю. Эволюция возмущений сферичности парового пузырька при его сверхсжатии // Прикладная механика и техническая физика. 2014. Т. 55, N. 3. С. 82–102.

176. Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю. Эволюция возмущений сферической формы кавитационного пузырька при его взрывном коллапсе // Ученые записки Казанского университета. 2014. Т. 156, кн. 1. С. 79–108.

177. Нигматулин Р.И., Аганин А.А., Топорков Д.Ю., Ильгамов М.А. Образование сходящихся ударных волн в пузырьке при его сжатии // Доклады РАН. 2014. Т. 458, N. 3. С. 282–286.

178. Нигматулин Р.И., Лэхи Р.Т. (мл.), Талейархан Р.П., Вест К.Д., Блок Р.С. О термоядерных процессах в кавитирующих пузырьках // Успехи физических наук. 2014. Т. 184, N. 9. С. 947–960.

179. Aganin A.A., Ilgamov M.A., Lahey (Jr.) R.T., Nigmatulin R.I., Taleyarkhan R.P., Toporkov D.Yu. Evolution of sphericity distortions of a cavitation bubble during acoustic supercompression // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. N. 1. С. 5–26.



TWENTY YEARS OF RESEARCH ON BUBBLE CUMULATION

© А.А. Аганин¹, М.А. Ильгамов²

¹Institute of Mechanics and Machinery, Kazan Scientific Centre, RAS,
2/31, ulitsa Lobachevskogo, 420111, Kazan, Russian Federation

²Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS,
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

УДК 532.516.5

ДИНАМИКА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ЖИКЛЕРАМИ

© И.Ш. Насибуллаев, Э.Ш. Насибуллаева, Е.В. Денисова

Основной целью научного исследования, в рамках которого была выполнена данная работа, является построение вычислительного стенда технического устройства для изучения режимов его работы. Поскольку все технические системы состоят из связанного набора стандартных элементов (трубы, жиклеры, поршни, заслонки и др.), то при разработке стенд может быть представлен также в виде набора связанных элементов. Каждый элемент имеет входные параметры-факторы и выходные данные (функции отклика), которые могут быть входными параметрами для следующего элемента. Сам элемент представляет собой правило перевода входных параметров в функции отклика в виде интерполяции результатов моделирования.

В настоящей работе разработана компьютерная модель жиклера как элемента вычислительного стенда. Для этого была изучена динамика течения жидкости через цилиндрическую трубу с жиклерами разных радиусов при различных значениях перепада давления на основе решения уравнений Навье – Стокса методом конечных элементов в открытом инженерном пакете Elmer FEM. Получено правило перевода перепада давления (входного параметра) в расход топлива (функцию отклика) с помощью интерполяционных формул. Проведено сравнение цилиндрического и острогрозочного жиклеров. Анализ областей применимости полученных результатов показал, что они могут быть использованы при проектировании как элементов топливной автоматики, так и микроэлектромеханических систем.

Ключевые слова: гидродинамика, жиклер, техническое устройство, вычислительный стенд.

Введение. В различных технических устройствах (ТУ), использующих жидкости или газы, широко применяются элементы с калиброванными отверстиями, так называемые гидросопротивления или жиклеры, позволяющие дозировать расход рабочего тела за счет создания требуемого перепада давления на определенном участке системы. Конструктивно по форме рабочей поверхности жиклеры делят на цилиндрические и острогрозочные (рис. 1). Ранее в работе [1] было показано, что для адекватного учета динамических характеристик в элементах исполнительных механизмов необходимо использовать математические модели течения жидкости (топлива), основанные на уравне-

ниях Навье – Стокса, а не на уравнениях Бернулли, использующихся в инженерных расчетах до настоящего времени. Заметим, что если для устройств, имеющих «классические» размеры, грубость расчетов по формулам Бернулли может быть компенсирована за счет различных технических решений, то для микроэлектромеханических систем (МЭМС), имеющих характерные размеры менее 0.5–0.2 мм, требуется более высокая точность расчетов. Поэтому актуальным представляется синтез более точных математических моделей, позволяющих, благодаря использованию современных вычислительных средств и методов, получить требуемые результаты за приемлемое время.

НАСИБУЛЛАЕВ Ильдар Шамилович – к.ф.-м.н., Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, e-mail: sp.ishn@gmail.com

НАСИБУЛЛАЕВА Эльвира Шамилевна – к.ф.-м.н., Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, e-mail: elvira@anrb.ru

ДЕНИСОВА Екатерина Всеволодовна – к.т.н., Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, e-mail: denisova@anrb.ru

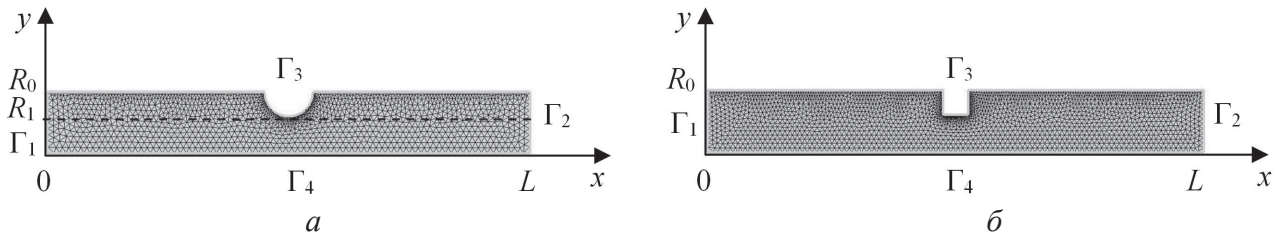


Рис. 1. Геометрия и расчетная сетка цилиндрического (а) и острокромочного (б) сопротивлений

Основной целью научного исследования является построение вычислительного стенда ТУ, который позволит изучить режимы его работы. При разработке стенд представляется в виде набора связанных элементов. Каждый элемент имеет набор входных параметров-факторов (внешние факторы, например, управляющий сигнал; внутренние факторы, например, физические параметры элемента) и выходные данные (функции отклика), которые могут быть входными параметрами для следующего элемента. Сам элемент представляет собой правило перевода входных параметров в функции отклика в виде аппроксимаций. Целью данной работы является разработка компьютерной модели жиклера.

Постановка задачи и основные уравнения. В работе изучается динамика течения жидкости через цилиндрическую трубу радиуса R_0 и длиной L с жиклером радиуса R_1 на основе решения уравнения Навье – Стокса [2] методом конечных элементов. На рис. 1 представлена геометрия в осесимметричном случае и введены следующие обозначения: Γ_1 – входное отверстие канала; Γ_2 – выходное отверстие канала; Γ_3 – стенка канала; Γ_4 – центральная ось канала (ось симметрии).

Течение несжимаемой жидкости в канале в отсутствие внешних сил описывается уравнениями Навье – Стокса и неразрывности [2]:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \mu \Delta \mathbf{u}, \quad (1)$$

$$\nabla \mathbf{u} = 0, \quad (2)$$

где \mathbf{u} – вектор скорости жидкости; t – время; ρ – плотность жидкости; ∇ – оператор набла; Δ – оператор Лапласа; ∇p – градиент давления; μ – динамическая вязкость жидкости.

В цилиндрической системе координат при осевой симметрии остаются только две составляющие скорости: в осевом направлении – u_z и в поперечном – u_r . Тогда в уравнениях Навье – Стокса (1) останутся только два уравнения, которые примут следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial r} + \\ &+ \mu \left(\frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} - \frac{u_r}{r^2} \right), \\ \rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \\ &+ \mu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} \right), \end{aligned} \right. \quad (3)$$

а уравнение неразрывности (2) примет вид

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{u_r}{r} = 0. \quad (4)$$

В случае прямолинейной трубы круглого сечения (при $R_1 \rightarrow R_0$) остается только одна составляющая скорости – в осевом направлении, которая зависит от поперечного перемещения, т.е. $u_z = u = u(r)$, и уравнение неразрывности (4) выполняется автоматически. А в уравнениях Навье – Стокса (3) останется только первое уравнение, которое в стационарном случае ($du/dt = 0$) примет вид:

$$\mu \left(\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} \right) = \nabla p. \quad (5)$$

Граничные условия имеют вид $u(R_0) = 0$.

Для постоянного вдоль слоя градиента давления, равного

$$\nabla p = \frac{-\Delta p}{L}, \quad (6)$$

где $\Delta p = p_1 - p_2$ – разность давлений на границах Γ_1 и Γ_2 , уравнение (5) имеет следующее аналитическое решение [3]:

$$u(r) = \frac{\Delta p}{4\mu L} (R_0^2 - r^2),$$

которое определяет параболический профиль скорости в поперечном направлении с максимумом в центре слоя:

$$u_{\max} = \frac{\Delta p}{L} \cdot \frac{R_0^2}{4\mu}. \quad (7)$$

Расход жидкости через поперечное сечение определяется формулой

$$Q_0(\Delta p) = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} u(r) \cdot r d\varphi dr = \pi \frac{\Delta p}{L} \cdot \frac{R_0^4}{8\mu}, \quad (8)$$

которая называется законом Хагена – Пуазейля для течения в круглой трубе.

Для численного решения уравнений (1), (2) проведем дискретизацию по времени и применим слабую формулировку для метода конечных элементов.

Дискретизацию по времени уравнения $\partial u / \partial t = F_1(\mathbf{x}, \dots)$ можно провести с помощью неявной схемы Кранка – Николсон 2-го порядка [4]:

$$\mathbf{u}^{n+1} = \mathbf{u}^n + \frac{\tau}{2} (F_1^{n+1} + F_1^n).$$

Тогда вариационная форма уравнения Навье – Стокса с данной дискретизацией по времени будет иметь вид:

$$\begin{aligned} F \begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ p \end{pmatrix} &= \int_{\Omega} \frac{2}{\tau} (\mathbf{u}^{n+1} - \mathbf{u}^n) \mathbf{v} + ((\mathbf{u}^{n+1} \nabla) \mathbf{u}^{n+1}) \mathbf{v} + \\ &+ p^{n+1} \nabla q + \frac{1}{\text{Re}} \nabla \mathbf{u}^{n+1} \nabla \mathbf{v} + ((\mathbf{u}^n \nabla) \mathbf{u}^n) \mathbf{v} + \\ &+ p^n \nabla q + \frac{1}{\text{Re}} \nabla \mathbf{u}^n \nabla \mathbf{v}, \end{aligned}$$

где $\mathbf{u} = (u_x, u_y)$ и p – переменные, а $\mathbf{v} = (v_x, v_y)$ и q – тестовые функции. Последняя система уравнений является нелинейной из-за конвективного слагаемого $\int ((\mathbf{u}^{n+1} \nabla) \mathbf{u}^{n+1}) \mathbf{v}$ и может быть решена итерационным методом Ньютона. Разложим функцию F в ряд Тейлора относительно малых изменений решения $(\delta \mathbf{u}, \delta p)$:

$$F \begin{pmatrix} \mathbf{u} + \delta \mathbf{u} \\ p + \delta p \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ p \end{pmatrix} + dF \begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \mathbf{u} \\ \delta p \end{pmatrix} + o \begin{pmatrix} \delta \mathbf{u} \\ \delta p \end{pmatrix},$$

где левая часть полагается равной нулю (уравнения удовлетворяют обновленному решению) и нелинейные слагаемые $o(\dots)$ в разложении отбрасываются; дифференциал dF равен

$$\begin{aligned} dF \begin{pmatrix} \mathbf{u} \\ p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \mathbf{u} \\ \delta p \end{pmatrix} &= \int_{\Omega} \frac{2}{\tau} \delta \mathbf{u} \mathbf{v} + ((\delta \mathbf{u} \nabla) \mathbf{u}^{n+1}) \mathbf{v} + \\ &+ ((\mathbf{u}^{n+1} \nabla) \delta \mathbf{u}) \mathbf{v} - \delta p \nabla q + \frac{1}{\text{Re}} \nabla \delta \mathbf{u} \nabla \mathbf{v}. \end{aligned}$$

На каждом шаге итерации Ньютона решается уравнение $F(\mathbf{u}, p) + dF(\mathbf{u}, p)(\delta \mathbf{u}, \delta p) = 0$, и решение обновляется на величину поправки $\mathbf{u} = \mathbf{u} + \delta \mathbf{u}$, $p = p + \delta p$ до тех пор, пока невязка $\|F\|$ не станет меньше ε_F или норма поправки решения $\max(\|\delta \mathbf{u}\|, \|\delta p\|)$ – меньше ε_{δ} .

Начальные условия: $\mathbf{u} = \mathbf{0}$, $p = 0$. Граничные условия с учетом того, что перепад давления $\Delta p = p_1 - p_2 > 0$: $\Gamma_1 - u_r = 0$, $p = p_1$; $\Gamma_2 - p = p_2$; $\Gamma_3 - u_z = 0$ (условие залипания), $u_r = 0$; $\Gamma_4 - u_r = 0$ (ось симметрии).

Результаты численного моделирования. Течение жидкости в жиклерах для разных значений перепада давления было смоделировано в открытом полнофункциональном инженерном пакете Elmer FEM [5].

При вычислении рассматривалось топливо марки РТ с плотностью $\rho = 780 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\mu = 1.014 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Отметим, что в МЭМС также используются жидкости с близкими характеристиками. Для определенности были выбраны следующие геометрические параметры для трубы: радиус $R_0 = 0.5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ и длина $L = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. На рис. 2 (линии 2–5) показаны зависимости расхода топлива от перепада давления для различных значений меньшего радиуса сопротивления R_1 . Для сравнения приведены зависимости, полученные по аналитической формуле (8) и с помощью численного расчета, для случая течения жидкости в цилиндрической трубе при $R_0 = R_1$ (прямые 1 на рис. 2). Видно, что при уменьшении R_1 расход жидкости в области малых давлений ($\Delta p < 10^{-1} \text{ Па}$) уменьшается по линейному закону, а в области больших перепадов давлений ($\Delta p > 10^3 \text{ Па}$) зависимость становится примерно равной $Q \sim \Delta p^{1/2}$.

Построение компьютерной модели жиклера. Результаты численного моделирования позволяют построить компьютерную модель жиклера как элемента вычислительного стенда, где основным входным фактором является перепад давления, а функцией отклика – рас-

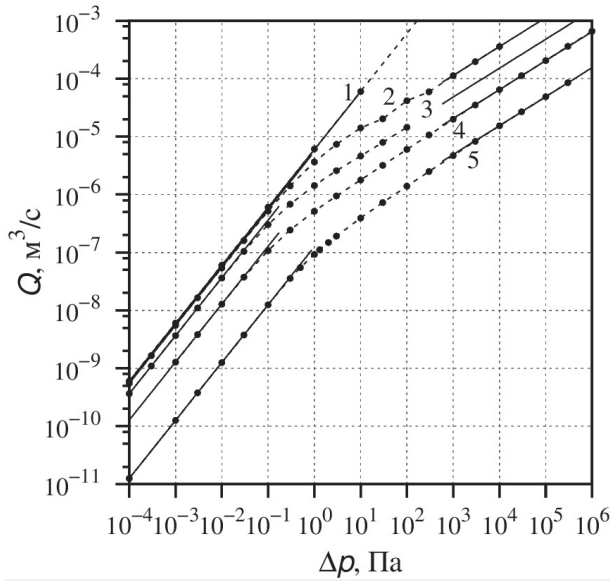


Рис. 2. Расход топлива Q в зависимости от разности давлений Δp : в трубе (прямые 1) – аналитическая формула (8) (штриховая линия) и расчет (прямая линия); в цилиндрическом жиклере – расчеты при $R_1 = 4$ мм (линия 2), $R_1 = 3$ мм (линия 3), $R_1 = 2$ мм (линия 4), $R_1 = 1$ мм (линия 5)

ход топлива, по следующему правилу. Область перепада давлений разбивается на три части, в каждой из которых расход топлива определяется своей интерполяционной формулой:

1) в области малого перепада давления ($\Delta p < 10^{-1}$ Па) зависимость расхода топлива от радиуса R_1 при малых перепадах давлений нелинейная:

$$Q(\Delta p, R_1) = f(R_1)Q_0(\Delta p),$$

$$f(R_1 = 0) = 0, \quad f(R_1 = R_2) = 1,$$

где $Q_0(\Delta p)$ определяется по формуле (8). Анализ результатов расчетов показывает хорошую интерполяцию в виде:

$$f(R_1) = \frac{R_0^2 + a_1(R_0 - R_1) + a_2(R_0 - R_1)^2}{R_0^2 + a_3(R_0 - R_1) + a_4(R_0 - R_1)^2},$$

где $a_1 = -0.010599309457375$; $a_2 = 1.115825530136863$; $a_3 = -0.010617458937986$; $a_4 = 2.447587877648498$ – коэффициенты, полученные интерполяцией. Данная зависимость представлена на рис. 3 (сплошная линия), где круги обозначают результаты моделирования, а линия – это интерполяционная формула $f(R_1)$. Для заданных значений параметров имеем $Q = 5.98645 \cdot 10^{-6} f(R_1)\Delta p$;

2) в промежуточной области (10^{-1} Па $< \Delta p < 10^3$ Па) расход топлива определяется по формуле

$$Q = k_i \Delta p,$$

где коэффициент k_i подбирается линейной аппроксимацией между двумя соседними расчетными точками, т.е. Q определяется линейной интерполяцией (рис. 2, пунктирные линии 2–5) по табличным значениям, полученным при численном моделировании;

3) в области высоких давлений ($\Delta p > 10^3$ Па) течение в трубе становится неустойчивым (число Рейнольдса, при котором течение становится неустойчивым, определяется экспериментально и зависит от таких факторов, как шероховатость поверхности и пр.) [3]. В гидросопротивлении устойчивость течений растет с уменьшением внутреннего радиуса R_1 . Построим интерполяционную зависимость относительно фиксированного внутреннего радиуса R_2 , при котором в области высоких давлений течение остается устойчивым:

$$g(R_1) = \frac{R_2^2 + b_1(R_2 - R_1)^2}{R_2^2 + b_2(R_2 - R_1) + b_3(R_2 - R_1)^2},$$

где $b_1 = -1.23577777157306$; $b_2 = 0.012103894850059$; $b_3 = 6.770505325040193$ – коэффициенты, полученные интерполяцией; $R_2 = 0.4 \cdot 10^{-2}$ м – максимальный при расчетах радиус жиклера. Данная зависимость представлена на рис. 3 штриховой линией. Для заданных значений параметров имеем $Q = 3.59876 \cdot 10^{-6} g(R_1)\Delta p^{1/2}$.

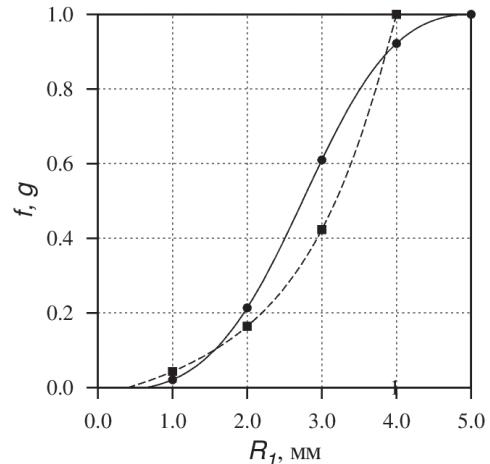


Рис. 3. Отношение расхода жидкости Q/Q_0 от радиуса жиклера R_1 : сплошная линия – случай малого перепада давления (функция f); штриховая линия – случай большого перепада давления (функция g)

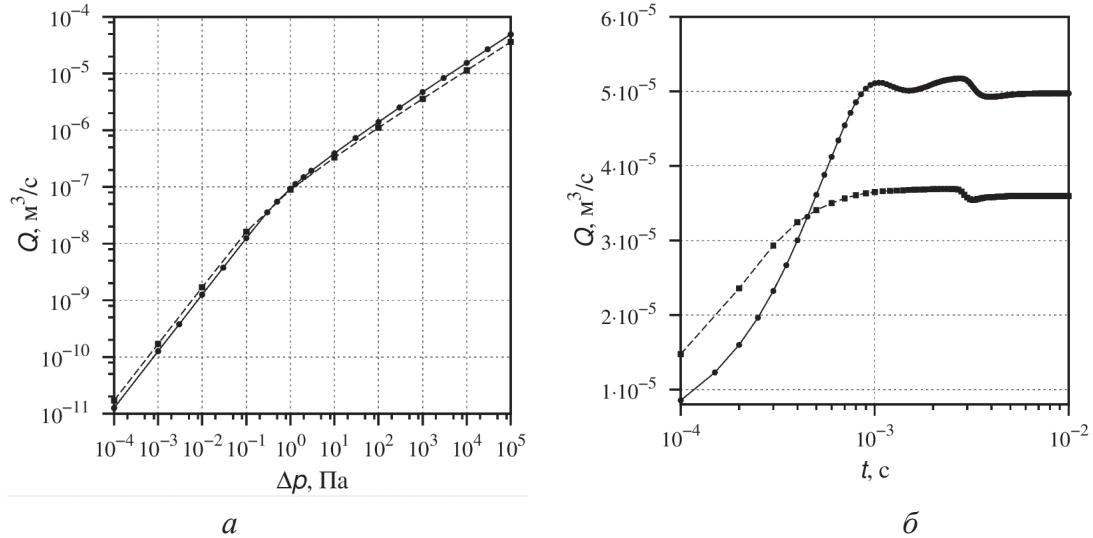


Рис. 4. Расход топлива Q от перепада давления Δp (а) и от времени t (б) для цилиндрического (точки, сплошная линия) и острокромочного (квадраты, штриховая линия) жиклеров

Сравнение цилиндрического и острокромочного жиклеров. На рис. 4, а представлен расход топлива Q для двух видов жиклеров (цилиндрического и острокромочного) при установленном течении топлива для различных значений перепада давления Δp при $R_1 = 1$ мм. На рис. 4, б приведено изменение расхода топлива со временем для двух видов жиклеров при $\Delta p = 10^5$ Па. Видно, что при стационарном течении расход топлива в цилиндрическом жиклере на 36% выше, чем в острокромочном.

Таким образом, при проектировании технических систем желательно использовать цилиндрические жиклеры, т.к. в этом случае потери меньше, следовательно, статическая точность элемента выше.

Области применимости полученных результатов. Для анализа областей применимости полученных результатов запишем уравнения в безразмерном виде. В качестве характерных величин выберем диаметр трубы $d = 2R_0$, среднюю величину амплитуды скорости на входе $u_m = u_{\max}/2$, где u_{\max} определяется по формуле (7), и время d/u_m . Тогда уравнения (1) и (2) с учетом формулы (6) примут вид:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = a_p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{u}, \quad \nabla \mathbf{u} = 0,$$

где $a_p = \text{Eu} \frac{d}{L}$ – безразмерный градиент давления; $\text{Eu} = \frac{\Delta p}{\rho u_m^2}$ – число Эйлера; $\text{Re} = \frac{d u_m \rho}{\mu}$ – число Рейнольдса.

При изменении параметров течения будут подобными, если уравнения движения в безразмерном виде остаются неизменными. Поскольку с учетом формулы (7) имеет место соотношение $a_p = 16/\text{Re}$, то единственным критерием подобия для данной задачи является число Рейнольдса, т.е., если выполняется соотношение

$$\text{Re} = \frac{d u_m \rho}{\mu} \sim \frac{\Delta p d^3 \rho}{L \mu^2} = \text{const},$$

то картина течения останется неизменной. При этом сохраняется и условие устойчивости течения, поскольку оно также определяется критическим числом Рейнольдса.

Единственное ограничение при решении задачи следует из необходимости выполнения гипотезы сплошной среды, в рамках которой феноменологические уравнения движения жидкости являются корректными. Данную гипотезу можно считать обоснованной, если выполняется следующее неравенство [6]:

$$\frac{r_s}{d} < 10^{-3},$$

где $r_s \approx \sqrt[3]{\bar{V}/N_A}$ – характерный размер в жидкости для неделимого объема \bar{V}/N_A ; \bar{V} – молярный объем жидкости; N_A – число Авогадро. Из последнего неравенства следует, что, например, для топлива ТС-1 и уайт-спирита, для которых $\bar{V} \approx 2 \cdot 10^{-4}$ $\text{m}^3/\text{моль}$, нижним пределом диаметра трубы является $d \approx 0.69$ $\mu\text{м}$, а для толуола – $d \approx 0.56$ $\mu\text{м}$.

Заключение. При решении задачи построения вычислительного стенда ТУ была разработана компьютерная модель одного из основных элементов – жиклера (гидродинамического сопротивления). Исследование динамики течения жидкости в цилиндрической трубе с жиклером позволило построить интерполяционные формулы, позволяющие по заданному перепаду давления для разных радиусов жиклеров рассчитать расход топлива. Численные расчеты динамики жидкости в цилиндрическом и острокромочном жиклерах показали, что при проектировании технических систем желательнее использовать цилиндрические жиклеры, поскольку они повышают статическую точность элемента. С помощью гидродинамического критерия подобия был проведен анализ областей применимости полученных результатов, который позволяет сделать вывод, что результаты могут быть применены как к устройствам топливной автоматики (сантиметровый и метровый масштабы), так и к микроэлектромеханическим устройствам (микронный масштаб).

Полученные результаты могут быть использованы для разработки соответствующих элементов вычислительного стенда ТУ.

В дальнейшем планируется провести исследование более сложных конструкций, оценить влияние внешних параметров, выявить эффективные размерные соотношения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 14-01-97019-р_поволжье_а, 14-08-97027-р_поволжье_а), Академии наук Республики Башкортостан (договора № 40/11-П, 40/64-П) и Программы Президиума РАН I.40П.

Литература

1. Денисова Е.В., Насибуллаев И.Ш., Насибуллаева Э.Ш., Черникова М.А. Течение жидкости в канале при малых перепадах давления: сравнение уравнений Бернулли и Навье – Стокса // Известия Уфимского научного центра РАН. 2014. № 4. С. 17–23.
2. Ландау Л., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 6. М.: Наука, 1988. 736 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 713 с.
4. Crank J., Nicolson P. A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of the heat conduction type// Proc. Camb. Phil. Soc. 1947. V. 43, № 1. P. 50–67.
5. URL: www.csc.fi/web/elmer (дата обращения 21.09.2015).
6. Евстапов А.А. Нанотехнологии в экологии и медицине: Курс лекций. М., 2010. 136 с.

THE DYNAMICS OF FLUID FLOW IN THE TECHNICAL SYSTEMS WITH JETS

© I.Sh. Nasibullayev, E.Sh. Nasibullaeva, E.V. Denisova

Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS,
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The main purpose of scientific research, in which this work was carried out, is to build computing stand of technical devices for the study of its operation modes. Since all the technical systems consist of a related set of standard elements (pipes, jets, pistons, valves, etc.), the stand can also be represented as a set of related elements in its development. Each element has the input parameters (factors) and output data (response functions), which may be input parameters for the next element. Element itself is a rule of the translation of the input parameters in the response function in the form of interpolation of the simulation results.

In this paper a computer model of the jet as a part of computing stand have been developed. For this purpose the dynamics of fluid flow through a cylindrical tube with jets of different radii for various values of the pressure difference has been studied on the basis of solving the Navier–Stokes equations using finite element method in the open engineering package Elmer FEM. The rule of translation a pressure difference (input parameter) into the fuel consumption (response function) using interpolation formulas has been received. Comparison of cylindrical and sharp edge jets have been carried out. It has been shown that it is desirable to use a cylindrical jets as they give the lowest losses. The analysis of the domain of applicability of obtained results showed that they can be used in the design of elements both fuel automation, and microelectromechanical system.

Key words: hydrodynamics, jet, technical device, computational model.

УДК 524.85

MODELLING OF RESONANT AND TRANSRESONANT WAVES IN NATURAL RESONATORS: FROM GRAVITY WAVES TO THE ORIGIN OF THE UNIVERSE

© М.А. Илгамов, Ш.У. Галиев, В.Р. Мэс, Т.Ш. Галиев

Giant ocean waves, catastrophic seismic waves, tsunamis and the origin of the Universe: such extreme phenomena are the result of resonant amplification of waves in strongly nonlinear resonant systems. They are poorly understood and some have yet to be described by mathematical methods, despite being observed in nature and experiments. We ask: is it possible to develop a universal, generic theory of wave motion in such systems? We believe that such a theory has been created for 1-dimensional waves which are sufficiently long. Here some of the results of this theory are presented. Some material is presented which provide understanding of the generation, growth, propagation and catastrophic amplification of waves in different natural resonators. In particular, this material might shed light on the origin and initial evolution of the Universe. Our goal is to illustrate a universal, interdisciplinary theory of the appearance and evolution of extreme waves as resonant and transresonant phenomena. We stress that the theory and its main results are presented in a number of articles and books [1–18]. There the reader can find additional information on the materials and the information presented in this paper.

Key words: resonantly-excited waves, universal theory, strongly-nonlinear resonant systems, shallow earthquakes, ocean and seismic extreme waves, cosmology, pre-Universe, origin of dark matter and dark energy.

1. Resonances and typical wave equations

Resonance is a classical problem of great practical importance. Apparently, the resonance phenomenon was known to Galileo and Huygens nearly four centuries ago. Eighteenth century astronomers began to study this phenomenon. The resonances were usually associated with oscillations of point-like masses, for example, pendulums and planets. Therefore, such model cannot describe the many complex phenomena which can take place in more complex resonators. Sometimes wave properties must be taken into account.

If we stretch and release a spring, it will start oscillating with a certain defined, characteristic frequency. Let us apply to the spring an external oscillating force. If the relation of two frequencies (the free and forced oscillations) is equal to any simple number (for example, one, two, three, four...) the amplitude of oscillations of the spring sharply increases. These numbers correspond to the modern resonant frequencies.

In any complex system a large quantity of the resonances is possible. Certainly, the conditions for

occurrence of the resonances are not yet equivalent to their realisations in actual situations, for example, in such a complex system, as the infinite quantity of interacting oceanic waves or electromagnetic waves in the Universe.

Let us consider the system characterized by two frequencies. By definition we have the resonance if $n_1\omega_1 + n_2\omega_2 = 0$, where ω_1 and ω_2 are frequencies, and n_1 and n_2 are non zero integers. Resonances lead to an occurrence in the solution of the terms with ‘dangerous’ dividers. In the case of the harmonious excitation these dividers look like $1 / (n_1\omega_1 + n_2\omega_2)$. The corresponding terms increase the solution to infinity in the case of exact resonance. A similar problem can arise in any dynamic system.

During the last 50 years we have developed a certain way [1–17] to overcome the difficulties associated with the appearance of the infinite amplitude of resonant waves. This way is applicable to equations which contain the d’Alembert operator. In particular, using this method we studied waves of expansion (compression) and surface waves described by following equation:

ILGAMOV Marat A. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS, e-mail: ilgamov@anrb.ru

GALIEV Shamil U. – Professor of the University of Auckland, Faculty of Engineering, the University of Auckland, Auckland, New Zealand, e-mail: s.galiyev@auckland.ac.nz

MACE Brian Richard – Professor of the University of Auckland, Faculty of Engineering, the University of Auckland, Auckland, New Zealand, e-mail: b.mace@auckland.ac.nz

GALIYEV Timur Sh., RSL Systems Limited, e-mail: togaliyev@xtra.co.nz

$$\eta_{tt} = a_0^2 \eta_{xx} (1 + \eta_x)^{-\gamma} + k \eta_{ttxx}. \quad (1)$$

Here a_0 is the sound velocity, γ and k are constants.

This equation might be approximately rewritten in the form

$$\eta_{tt} - a_0^2 \eta_{xx} = -\gamma a_0^2 \eta_x \eta_{xx} + \frac{1}{2} \gamma (\gamma + 1) a_0^2 \eta_x^2 \eta_{xx} + k \eta_{ttxx}. \quad (2)$$

In another example we consider the nonlinear Klein-Gordon equation (NKGE)

$$\Phi_{tt} - c_*^2 \Phi_{xx} = m^2 \Phi - \lambda \Phi^3. \quad (3)$$

Here c_*^2 , m^2 and g are constants. Equations (2), (3) have the d'Alembert operator which describes the propagation of linear waves in numerous systems. The influence of this operator on a wave profile is very significant far from resonances. Nonlinear terms in (2), (3) only correct the linear solution in these cases. On the contrary near the resonances the effect of right hand side terms of equations (2), (3) may be comparable with that of the linear terms. Furthermore, sometimes we can ignore an effect of the d'Alembert operator near the boundaries of the resonators. We stress that curves of section 3 were calculated according to equation (2). A landscape of Fig. 18 was calculated according to equation (3).

2. Natural resonators, resonant and transresonant waves in natural resonators

Natural resonators are natural systems where the waves can be naturally amplified. Sometimes this amplification may be very large. This can take place if dispersive and viscous effects are small enough. Due

to these properties the resonant amplification of waves in different natural resonators can be described by similar wave equations. Therefore the waves exciting in one natural resonator may be considered as models for any natural resonators. In particular, long waves similar to those excited in the ocean may exist in many natural resonators. We will consider two examples of the resonant amplification of waves.

First example of resonant and transresonant waves. We consider one-dimensional waves excited in the resonator as a result of vibrations of the boundary. Boundary conditions are written in the following form:

$$\eta = 0, \text{ at } x = 0; \quad (4)$$

$$\eta = l \cos \omega t, \text{ at } x = L. \quad (5)$$

Here l and ω are the amplitude and the frequency of the forcing oscillations, L is the length. The corresponding resonant frequencies of the problem is

$$\omega = N\pi a_0 / L. \quad (6)$$

Here $N = 1, 2, 3, 4, \dots$. A resonant band exists around the resonant frequencies (6), where the wave amplitude can be amplified strongly. We stress that within the resonant bands, various waves can be generated. For example, near the band borders the quadratic effects can prevail. In this case, the shock waves may be generated. Inside the resonant band the cubic nonlinear effects can be more important. As a result the waves can break there.

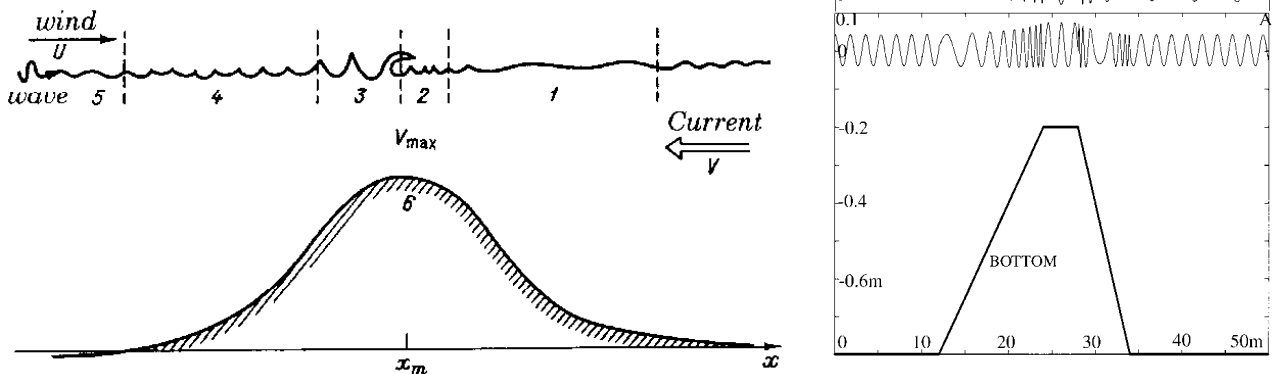


Fig. 1. Scheme of zones where different type of waves are generated: 1 – calm water; 2 – transition zone; 3 – breaking zone; 4 – whirlpool; 5 – background waves; 6 – submarine bank; x_m – point of the maximum speed [10, 17] (left). Example of wave evolution above the trapezium-like topography: A – the incident wave period is 1.01 and the amplitude is 0.041m; B – the incident wave period is 2.02 and the amplitude is 0.02 m; C – the incident wave period is 2.525 and the amplitude is 0.029 m [10, 17] (right)

The nonlinear waves with a stationary profile might be excited in the resonator, if the forcing frequency is fixed. However, it is possible that the forcing frequency varies within the resonant band. For example, this can take place during earthquakes. In this case transresonant waves can be excited in the resonator.

Second example. Transresonant waves.

There are cases when some of the parameters of the natural resonator change. For example, the depth of sea changes near the coastal areas. In the open ocean there are realms where the seabed almost reaches the surface.

Let us consider the surface waves crossing an underwater topography (mountain or bank) (Fig. 1). The catastrophic waves can form above the topography. Indeed, on the ocean surface there can simultaneously be waves having different lengths and directions. They propagate with different speeds depending on the depth, the wind, the current and other factors (Fig. 1 (left)). We will use the expression (7) [10, 17] to illustrate this amplification

$$\frac{\eta}{h} = \frac{p_0}{\rho(U^2 - gh)}. \quad (7)$$

Here η is the wave, h is the depth, ρ is a constant. Horace Lamb found (7) [10, 17] in the case of a travelling pressure $p_0 = \rho f(Ut - a)$ moving with the speed U .

The resonance (topographic resonance) takes place, if $U^2 \rightarrow gh$. According to (7) (Fig. 1) the wave amplitude may be maximal when the wave crosses the top of the underwater topography. The amplitude is infinite, if $U^2 = gh$. In reality the elevation grows up only during finite time. After some time the wave breaks as a result of nonlinear effects.

It is obvious that within the resonant band, where $U^2 - gh$ is small, various waves can be generated.

For example, near the band border (near the plane seabed) the quadratic effects can prevail. In this case, waves having a steep front may be generated. However, near the top (Fig. 1) the cubic nonlinear effects can prevail. As a result the waves can break.

Thus, the resonant band width is determined by the form of the underwater topography. Transresonant waves moving inside this band change their shape and height depending on their localization in the band.

3. Nonlinear analysis of some results of shallow earthquakes

Many objects in the surface of the Earth may be considered as natural resonators excited by seismic waves. When the object is stimulated at its resonant frequency, the amplitude of the vibrations greatly increases. In particular, sediment layers, ocean, hills, volcanoes, the ocean shelf are all natural resonators. There, the resonant effects can cause rapid and very large amplitude growth of seismic waves.

For example, Charles Darwin described the local amplification of the seismic waves which ruptured the small island Quiriquina. This island could be regarded as a natural resonator [8–10, 17]. Darwin wrote about *...the parallel and steep sides of the narrow island....* Very long seismic waves excited the shelf and vibrated the base of the island. Qualitative scheme of waves which might be excited on the island surface are shown in Fig. 2.

Resonant amplification of about 75 times was produced in the Mexico City sediments during the 1985 September 19 Michoacan earthquakes. That earthquake rattled the coast of Mexico about 400 kilometres west of Mexico City. Near that coast the shaking of the ground was mild and it caused little damage. As the seismic waves raced inland, the ground shook even less, and by the time the

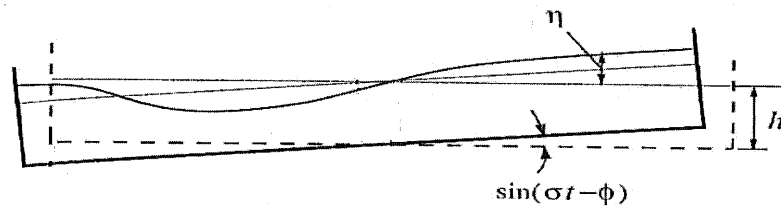


Fig. 2. Scheme of earthquake-induced oscillations and waves in certain natural resonators. Generally speaking, shock-like surface waves might have been excited in the island material during of the 20 February 1835 Chilean earthquake. Analogously, the earthquake-induced vertical motion of ground surface can force the resonant body waves in sediment valleys (basins), lakes and realms of the ocean

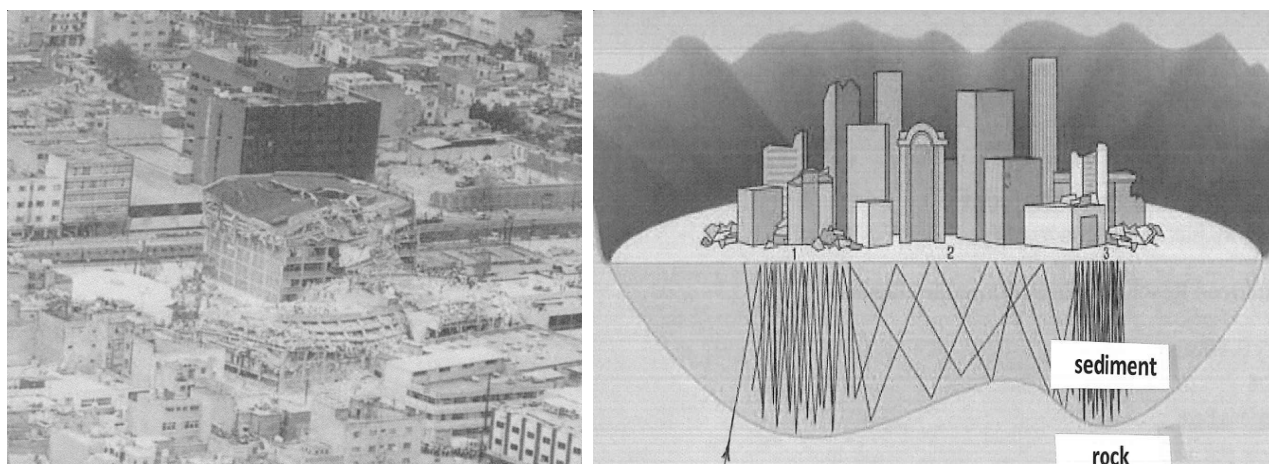


Fig. 3. The scheme of oscillations of vertical seismic waves within of a city foundation (Mexico City (the 1985 September 19 Michoacan earthquakes), Concepcion (Chile, 1835), Port-au-Prince (Haiti, 2010), Christchurch (New Zealand, 2011) and Ludian County (China, 2014)) (right). Results of the 1985 September 19 Michoacan earthquake. Some 300 buildings collapsed and more than 20000 people died (left)

waves were 100 kilometres from Mexico City the shaking had nearly subsided. Nevertheless, the seismic waves induced severe shaking in the city (Fig. 3 (left)), and some areas continued to shake for several minutes after the seismic waves had passed. That resulted from trapped and resonant amplification of the seismic waves by sediment basins located within the city (Fig. 3 (right)).

Generally speaking earthquakes cause horizontal and vertical ground movements. Let we assume that the vertical component of the earthquake was amplified in the Mexico City at 1985. This assumption is illustrated by Fig. 3 (right).

3.1. Results of the simulation of vertical-*induce waves*

The case of excitation shown in Fig. 2 includes both a vertical and a horizontal component. In most earthquakes, apparently, these two components are present in the vibrations of the earth's surface (Fig. 4).

Usually the vertical motion is smaller than the horizontal motion. Therefore, earthquake-hazard assessment studies have usually been focused on the horizontal shocks. The effects of strong vertical shocks are not practically discussed. The margins of safety against gravity-induced static vertical forces in buildings and structures usually provide adequate resistance to dynamic forces induced by the vertical acceleration during an earthquake. However, the earthquakes in Port-au-Prince

(2010, Haiti; the depth of the epicentre – 13 km), Christchurch (2011, New Zealand; the depth of the epicentre – 5 km) and Ludian County (2014, China; the depth of the epicentre – 10 km) are the examples of vertical seismic shocks that led to a collapse of the structures. The earthquake magnitudes were not very large – around 7, 6.3 and 6.1. However, the results were catastrophic. The vertical acceleration, measured during the 14 June 2008 Iwate-Miyagi earthquake in Japan was 3.8 g (the depth of the epicentre – 8 km, the earthquake magnitude – 6.9). This acceleration was 5.5 times the horizontal acceleration. A peak vertical acceleration was 2.7 g during the 2011 Tōhoku shallow earthquake. It is well known now that severe earthquakes generate large-amplitude waves and shocks in the Earth and its crust.

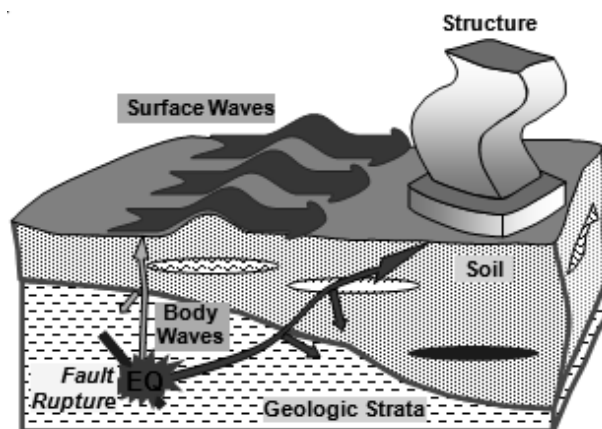


Fig. 4. The scheme of waves excited by earthquakes

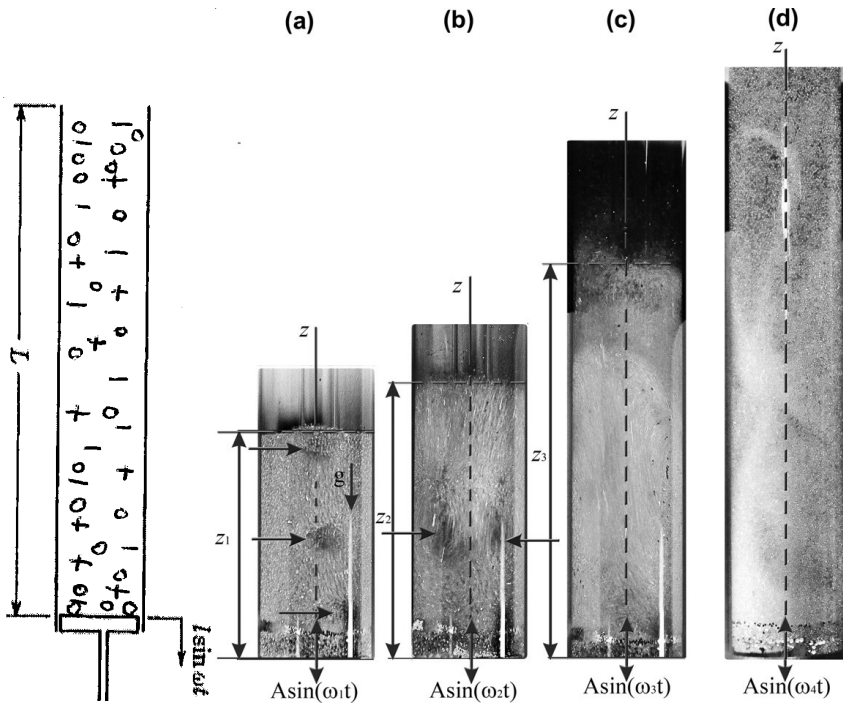


Fig. 5. Results of experiments in which bubbles are produced in vertically-shaken granular materials [17]

Generally speaking we do not know much about those large amplitude waves excited in the ground.

waves may be in vertical-induced layers of gassy sediment.

Therefore, for simplicity we can assume that these waves are one-dimensional and that they are excited in the surface layers of the Earth. Let them be vertical-excited body waves. In this case we can analyse these waves using the data of Figs. 5 and 6 where certain results of experimental studies of compression and rarefaction waves are shown. Fig. 5 shows the arrangement of the rarefaction (cavitation) zones in the vertically-oscillated tubes filled with granular materials, as well as the circulation of these materials.

The resonant pressure diagrams excited in finite vertical tubes filled by gas are shown in Fig. 6. We think that similar discontinuous oscillations and

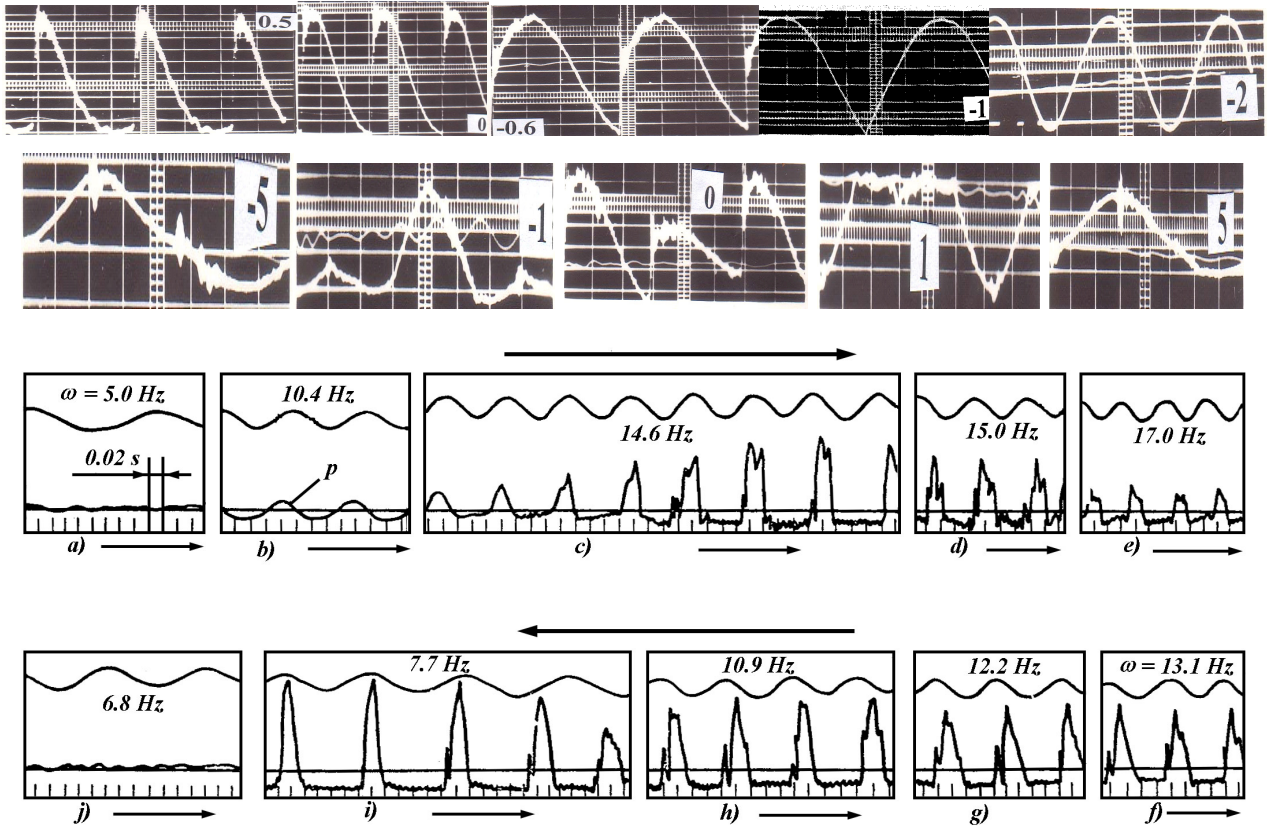


Fig. 6. The experimental pressure profiles at the end of the tubes which were measured for different forced frequencies

We think that these pictures show qualitatively some earthquake-induced oscillations which can be excited in natural resonant systems. Figs. 5 and 6 illustrate qualitatively loosening and rupture inside body waves which can take place in shallow seas, sediment layers and magma of volcano conduits during vertical seismic impacts.

The spatial nonlinear oscillations of the body wave in the tube calculated for the fundamental resonance are shown in Fig. 7. Waves are calculated for $R = 0, 0.866$ and 1 . Here R is the transresonant parameter which changes from -1 to 1 within the resonant band. The transresonant evolution of the wave profile is demonstrated. It is seen that the shock amplitude is increased when R is reduced to zero.

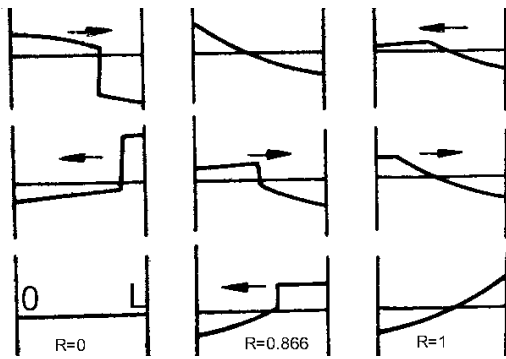


Fig. 7. Transresonant evolution of the wave excited in the tube when $R = 0, 0.866$ and $R = 1$. The shock wave travels in the tube, being repeatedly reflected from the boundaries, if $R < 1$. There is an amplification of the pressure when the shock wave reflects from the boundaries [17]

Near the second resonant frequency, two shock waves appear in the gas filled tube (Fig. 8).

Every day there are earthquakes which cause local oscillations of the ocean surface. If the depth is large, these oscillations can evolve into a tsunami near a coast. However, situations are possible where

the amplitude of seabed oscillations may be comparable with the depth, or where the seabed accelerations considerably exceed g , or there is resonance of vertical waves. In these cases there are strongly-nonlinear wave phenomena on the surface and at depth, which may be illustrated qualitatively by Figs. 5–8. The bubbles can appear as a result of local collapses of water inside the depression waves (non-stationary cavitation) that take place near the oscillating seabed and the water surface. Bubbles, craters and jets appear on the water surface during seaquakes.

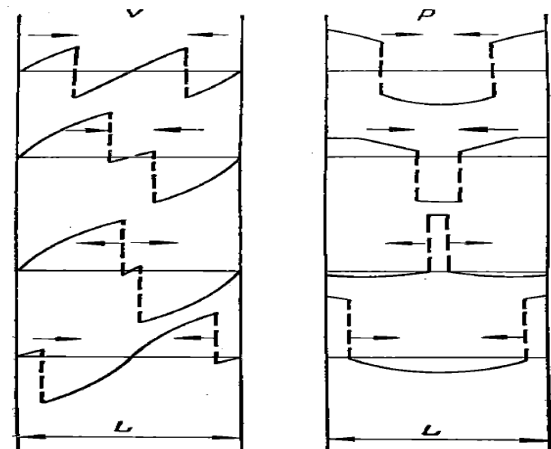


Fig. 8. The resonant shock waves of the velocity (left) and the pressure (right) excited at the second fundamental resonance of the gas column [17]

Apparently, Charles Darwin was the first researcher to describe these phenomena, although during the time of great geographical discoveries some Spanish and Portuguese sailors called such behaviour ‘sea shakes’, and some Dutch captains reported ‘awful seas’ [10, 17].

Fig. 9 shows the atomization of the surface of the drop. Similar processes can take place during seaquakes.

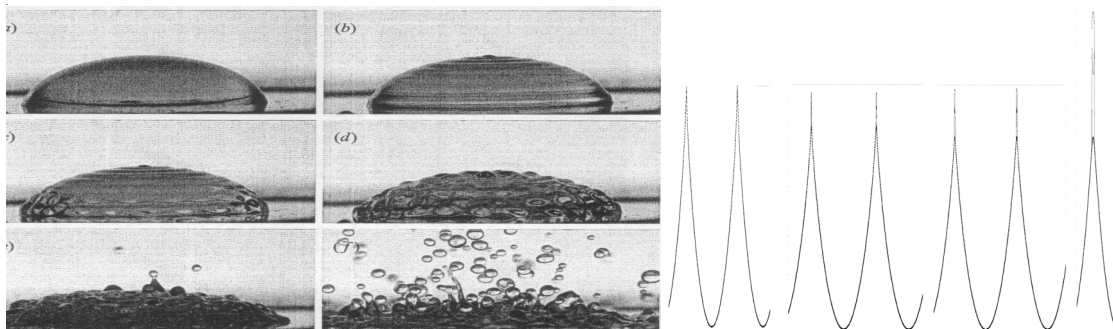


Fig. 9. Results of simulation of vertical-induced ‘awful seas’ (left) and the atomization of the surface of the drop (right)

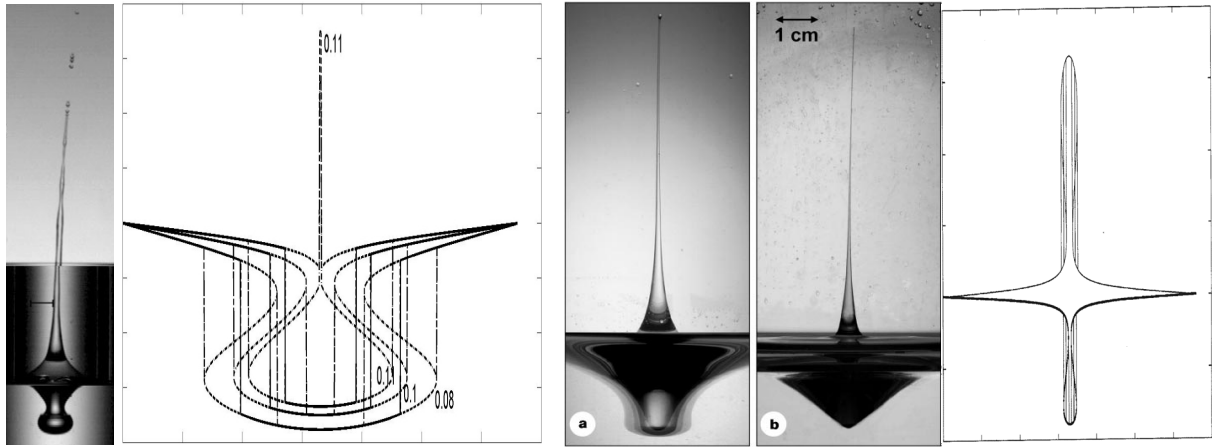


Fig. 10. Photographs showing the formation of the axisymmetric wave depressions (surface cavities) and jets. Results of calculations modelling the experiments

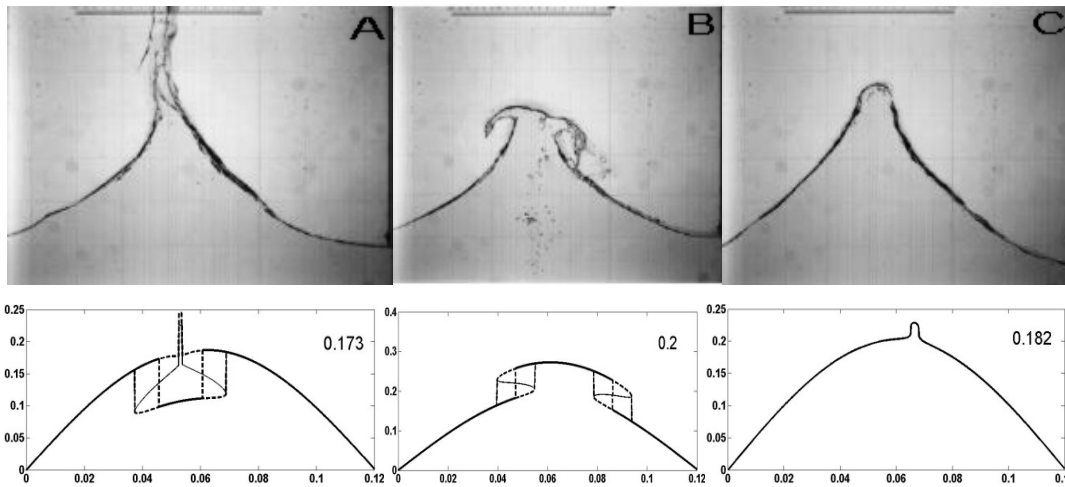


Fig. 11. The comparison of experimental data with calculations [16, 17]

Waves shown in Fig. 10 illustrate additionally the formation of ‘awful seas’ as a result of seabed vertical oscillations. The sea starts to shake like a layer in some Faraday’s type experiments [10, 17], because of strong vertical oscillations of the bottom.

The surface waves presented in Figs. 9 and 10 are considered as strongly – nonlinear cases of Faraday waves. Some details of the described processes are presented more clearly in Fig. 11.

It is stressed that the described processes can take place during seaquakes in shallow seas. Thus, bubbles, and highly nonlinear waves appear inside the sea water (see Fig. 5), if the forced resonant acceleration is greater than the gravity acceleration g . Discontinuous body waves are excited. These processes may be complicated by atomization and boiling of sea surface.

Similar strongly-nonlinear wave phenomena may be excited in other natural resonators.

3.2. Results of modelling of vertical-induced ocean waves (tsunamis)

Very long surface nonlinear waves may be excited too because of the vertical oscillations of the seabed. In particular, these ocean waves can evolve into tsunami of different forms near coastal lines (Fig. 12).



Fig. 12. Evolution of the 2004 Indian Ocean tsunami near the coast of Sri Lanka: the form changes from the wall of water (low part), through the breaker to the localized jet (upper part)

A tsunami may be considered as the tide-like wave which is excited by an earthquake-induced seabed uplift and submergence. Duration of the uplift may be of several seconds, or several tens of seconds. As a result, an initial local vertical elevation of the ocean surface occurs, and then the expanding ring of the tsunami begins to propagate. Far from the shore the wavelength of a tsunami is very long and its amplitude is small (about 1 m). In this case the wave may be described by the linear theory. However, when the tsunami approaches a coast the nonlinear effects can strongly increase. The tsunami amplitude can grow up to 40 m. Coastal resonance may be responsible for this amplification. Ebb is formed ahead of tsunami, whose form begins to

depend on the shape of the bottom. This effect is illustrated by Fig. 13.

We have shown that near a coast, if the depth is small and changes very smoothly, a resonance zone is formed. There the effects of the nonlinearity increase very strongly. Discontinuous front of the waves may form, and ebb of water from the coast can take place. A tsunami wave can have different forms at different points of the coastal zone.

3.3. The results of modeling of longitudinal surface waves excited in the resonator

Figs. 14–16 show examples of resonant surface waves arising from the excitation of a horizontal one-dimensional resonator (Fig. 2). Comparison of

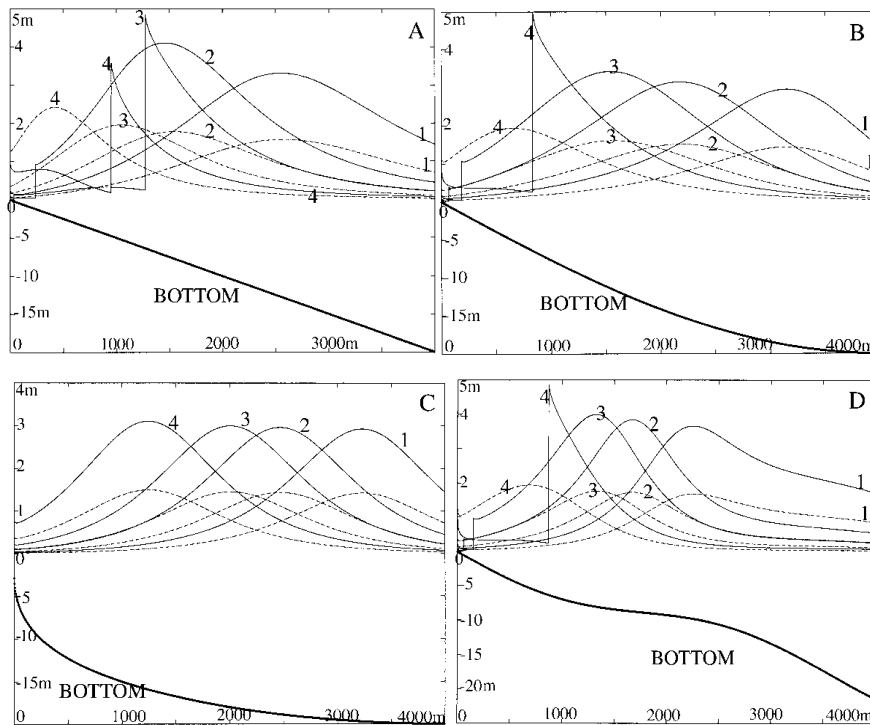


Fig. 13. Effect of the seabed and the depth variation on the wave evolution: A (linear slope of the bottom), B–D (nonlinear slope of the bottom). The curves are found for the following times: –230 (1), –180 (2), –150 (3) and –100 sec (4) [10, 17]

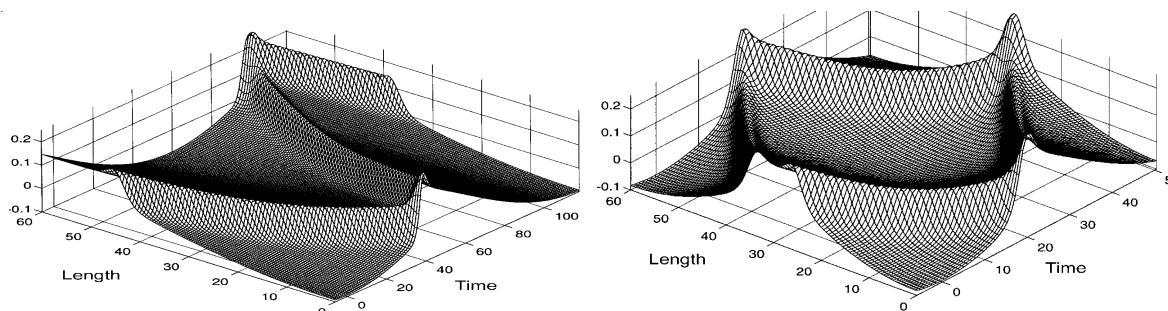


Fig. 14. Solitary waves travel back and forth in the tank, being repeatedly reflected from the boundaries

experimental and theoretical data is in Figs. 15 and 16. The calculations were performed in accordance with the equation (2).

Variations of the waves along the length of the resonator are shown in Fig. 14 and 15.

Curves of the wave profile at one end of the horizontally excited resonator are shown in Fig. 16. The frequencies of the excitation changed within resonant bands. We stress that the frequencies were varied from one end to the other end of the resonance band.

We have considered nonlinear surface waves in tanks. These waves model qualitatively surface earthquake-induced waves which might be generated in some lakes and sediment layers.

Remark. In this Chapter we outlined briefly results of application of our universal one-dimensional theory to description of earthquake-induced waves inside some resonators. The wave and resonance effects are important for all media that are described by wave equations. Below we will present results of the application of theory to studying the origin of the Universe.

4. The scalar fields and resonances as reasons of the origin of the Universe

Generally speaking, many phenomena in Nature may be explained by different resonant processes. In particular, the origin of the Universe was connected with some resonant and transresonant

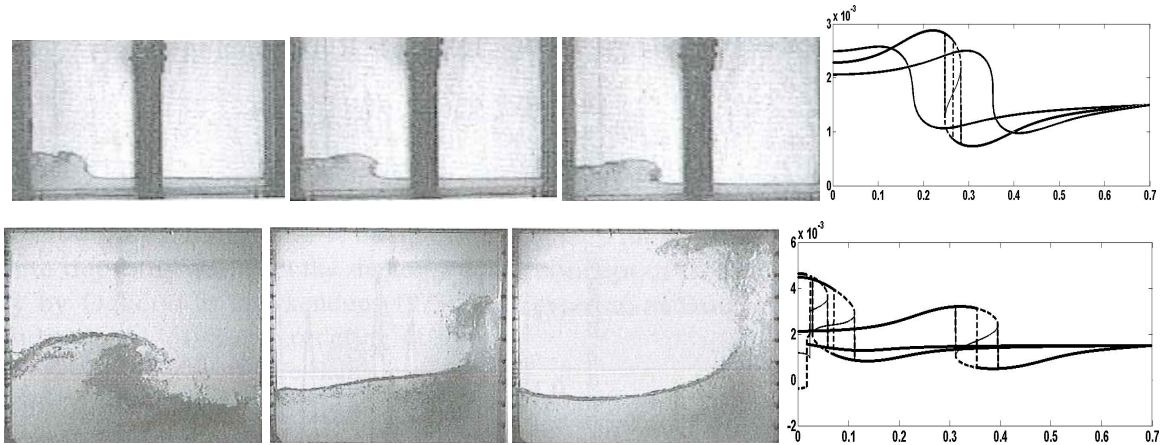


Fig. 15. Two examples of the formation and the evolution of breaking waves in a tank. The experimental curves are presented at the left. The theoretical curves are presented at the right

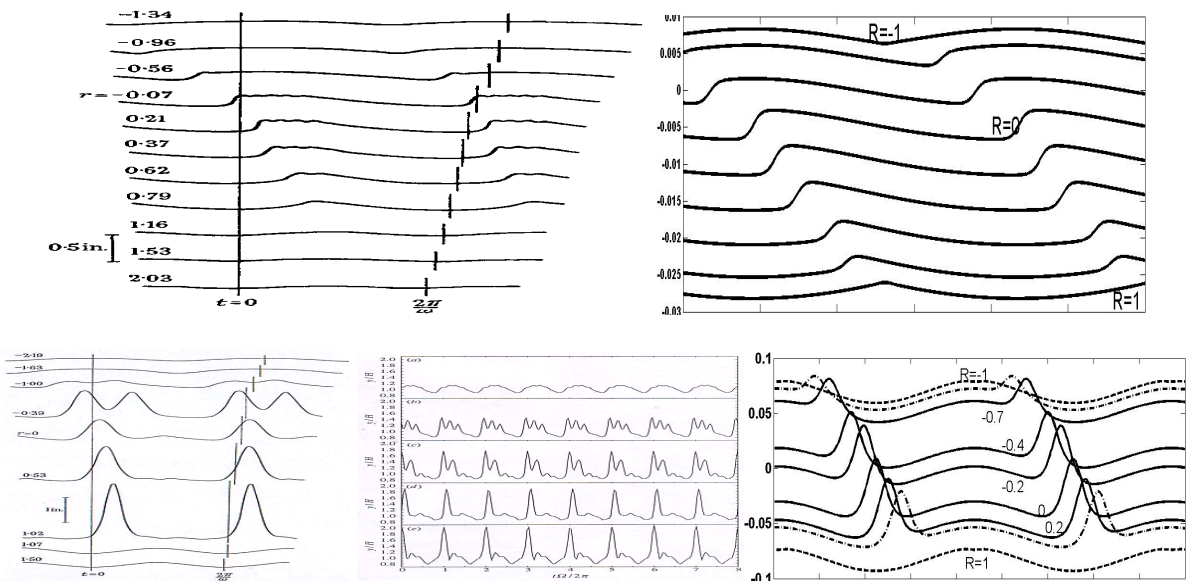


Fig. 16. Evolution and catastrophic amplification of the surface waves crossing the resonant band. The right curves were calculated using (2)

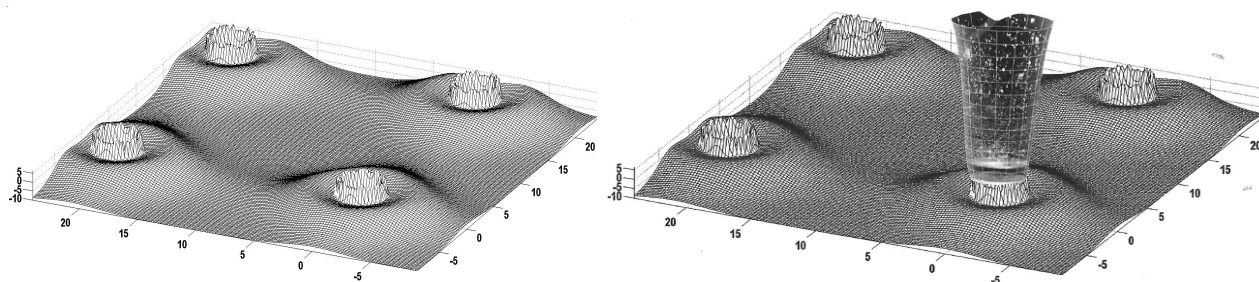


Fig. 17. The two-dimensional landscape of the pre-Universe (left) and the scheme of the birth of the Universe due to quantum perturbations, bifurcations and resonances (right)

phenomena [12, 14, 16]. It was assumed that the origin of the Universe is described by solutions of the nonlinear Klein-Gordon equation (3) (NKGE). Indeed, this equation was used for simulation of wave processes in the very early Universe. We believe that these solutions might shed light on the emergence and initial evolution of the Universe.

Certain solutions may be considered as a description of a weakly oscillating pre-Universe. According to the theory the scalar field potential describes a landscape which consists of the hills and the valleys (Fig. 17 (left)). At any moment this multidimensional structure gives the birth to the billions of ‘seeds-sparks’ of rapidly evolving universes. One of them accidentally formed our Universe (Fig. 17 (right)). A scenario is developed [12], when the Universe began from a state that differs greatly from that of the theories of the Big Bang and the inflation.

The highest energy density is reached at the tops of the hills where multidimensional spheres (bubbles) oscillate. The energy of the spheres can increase up to infinity due to quantum perturbations, bifurcations and resonances. There is an extreme small chance that some spheres can grow into big universes (Fig. 17) [12, 14, 16]. The birth of the Universe is being studied as an evolution of an initial scalar field (sphere) into other fields (particles), energies, waves and vortices.

Linear and weakly-nonlinear models and perturbation methods were used by the researchers to describe the evolution of the early Universe. We developed the strongly-nonlinear approach to describe the births of the Universe, dark matter and dark energy. Modern cosmology is fantastically successful, but its successes are also connected with deep and complex mysteries. We try to shed light on some of them.

In particular, the theory describes the destruction of the spacetime of the pre-universe and subsequent strongly nonlinear oscillations of arising fragments. The oscillations were accompanied by radiation of particles of different masses and energies. These processes spawned the four-dimensional spacetime, which determined the origin of the Universe.

A very rough scheme of the origin of the Universe is presented in Fig. 18. It is constructed on the basis of resonance solutions of NKGE that take into account the possibility of action of quantum perturbations and bifurcations of solutions. Details of this scheme can be summarized as follows:

1. The pre-Universe exists within a multidimensional spacetime. This pre-Universe is described by a scalar field. The field is roiled by the tiny quantum fluctuations;
2. At any moment the pre-Universe gives birth to billions of ‘seeds’ of rapidly evolving Universes, one of which accidentally evolved into our Universe;
3. The Universe sprang into existence due to quantum fluctuations;
4. During the earliest stage of the evolution the multidimensional scalar field was fragmented into vibrating elements having very high energy. The fragments are modelled as one-dimensional strings;
5. Highly nonlinear oscillations of those elements emitted very heavy particles of mass and energy which formed the four-dimensional spacetime;
6. Our Universe appeared with huge energy, mass and a finite size;
7. The spacetime began to stretch very rapidly as more and more particles appeared and the heavy particles began breaking up into lighter particles and the energy continued to transform in mass. It was the Universe’s rapid growth spurt;
8. Waves and vortices began to form in the matter.

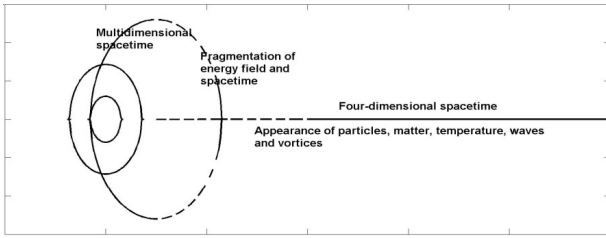


Fig. 18. Schemes demonstrating the evolution of the initial bubble of energy and the appearance of particles, matter, waves and vortices. The appearance of the matter forms the four-dimension spacetime

Fig. 19 shows possible schemes of a nonlinear evolution of small perturbations of the primordial matter of the Universe into the waves and vortices (the latter represented as points).

According to the model developed the origin of the Universe was strongly nonlinear process. The Universe, normal and dark matters, dark energy all appeared as a result of this process. Dark matter is very stable clots of energy of the scalar field, which had been emitted at the beginning of vibrations of the one-dimensional vibrating elements. The particles of normal matter were radiated in the course of damping of resonant vibrations of these elements. The dark energy is some remnant of the initial “spark” remaining after the radiation of high-energetic mass particles. Figuratively speaking, dark energy is coals and ashes and the normal and dark matters are the long-lived sparks and flames of the bonfire which had burned down long ago.

The production of the particles continues after the appearance of the Universe. Inside of the expanding Universe, the heavy highly energetic particles decay into lighter particles and radiation. The Universe size continued to increase. According to the well known terminology the described fast expansion of the Universe may be called the inflation. Although according to our representations the speed of the expansion was much slower than it follows from the known inflation models. According to our model the Universe could form rather large, almost evenly filled with the particles of energy and matter. Therefore the special stage of the superfast expansion is not required for our model.

The speed at which these particles are produced reduces all the time. However, it is

possible that the particles of matter form in the depths of cosmos even now. Certainly, the volume of their production is not comparable to the volumes in the first moments of the existence of the Universe. This production may support and can even accelerate the continuing expansion of the Universe.

Thus, we explain qualitatively the emergence of the Universe and describe its initial evolution. It is assumed that the tunnelling was a process at which the multidimensional spacetime collapsed and the newly formed spacetime elements began to vibrate with resonant frequencies creating energy and matter particles. Then the waves and the vortices were formed (see Figs. 18 and 19).

Our Universe appeared with its four-dimensional spacetime. The Universe size was much greater than the Planck size and it was substantially evenly filled with highly energetic particles of matter.

5. Conclusion

Here we presented the results of the unifying theory which is based on the idea of the resonance. Highly nonlinear equations form the basis of this theory.

We think that the resonances provide a common platform to exclude disciplinary boundaries and to construct a unified theory of extreme waves. We presented the results of the theory describing strongly nonlinear waves both in a continuum and in the scalar fields. The theory describes a wide spectrum of wave phenomena which have a resonant nature. We have shown the similarities of nonlinear wave phenomena which might be present in many natural resonators: from sediment layers to the Universe.

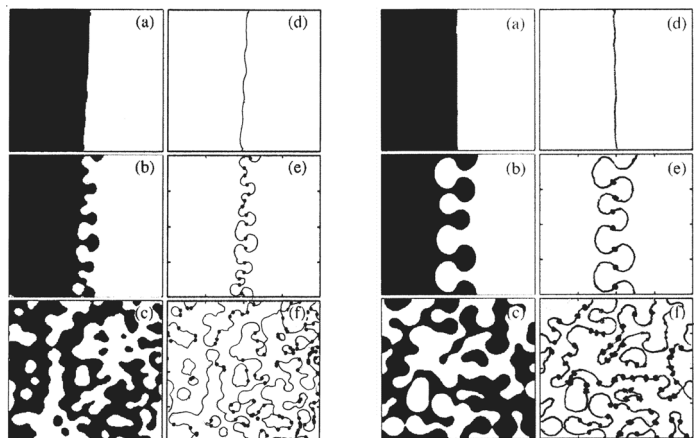


Fig. 19. Schemes of an evolution of small perturbations into vortices. These schemes might illustrate an evolution of small perturbations into galaxies

References

1. Галиев Ш.У., Ильгамов М.А., Садыков А.В. О периодических ударных волнах в газе (Periodic shock waves in a gas) // Изв. АН СССР. МЖГ. 1970. № 2. С. 57–66.
2. Галиев Ш.У. Вынужденные продольные колебания нелинейно-упругого тела (Forced longitudinal oscillations of a nonlinear elastic body) // Изв. АН СССР. МТТ. 1972. № 4. С. 80–87.
3. Zaripov R.G., Ilgamov M.A. Nonlinear gas oscillations in a pipe // J. Sound and Vibration. 1976. № 2. P. 245–257
4. Galiev Sh.U., Galiev T.U. Linear and Discontinuous Forced Oscillations of Flow of Bubbly Liquid in a Deformable Pipe (survey) // Strength of Materials. 1994. № 9. P. 633–654.
5. Aganin A.A., Ilgamov M.A., Smirnova E.T. Development of longitudinal gas oscillations in a closed tube // J. of Sound and Vibration, 1996. № 195 (3). P. 359–374.
6. Ilgamov M.A., Zaripov R.G., Galiullin R.G., Repin V.B. Nonlinear oscillations of a gas in a tube // Appl. Mech. Rev. 1996. № 49. P. 138–154.
7. Galiev Sh.U., Galiyev T.Sh. Nonlinear trans-resonant waves, vortices and patterns: From microresonators to the early Universe // Chaos: An Interdisciplinary J. of Nonlinear Science. 2001. № 11. P. 686–704.
8. Galiev Sh.U. The theory of nonlinear trans-resonant wave phenomena and an examination of Charles Darwin's earthquake reports // Geophys. J. Inter. 2003. № 154. P. 300–354.
9. Galiev Sh.U. Modelling of Charles Darwin's earthquake reports as catastrophic wave phenomena. 2009. URL: 272 pp. researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/4474.
10. Галиев Ш.У. Геофизические сообщения Чарльза Дарвина как модели теории катастрофических волн (Charles Darwin's Geophysical Reports as Models of the Theory of Catastrophic Waves) // Центр современного образования. М., 2011. 655 с.
11. Galiev Sh., Mace B. Beginning Charles Darwin's Researches and Catastrophic Wave Phenomena. 2012. URL: <http://hdl.handle.net/2292/19848>.
12. Galiev Sh.U., Galiyev T.Sh. Scalar field as a model describing the birth of the Universe. InterNet. 2013.
13. Galiev Sh.U., Mace B.R. Lagrangian description of extreme ocean waves // Известия Уфимского научного центра РАН. 2014. № 4. С. 6–13.
14. Galiev Sh.U., Galiyev T.Sh. Nonlinear scalar field as a model describing the birth of the Universe // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. 2014. № 2. С. 7–33.
15. Galiev Sh.U., Mace B.R. Lagrangian description of extreme waves. 2015. URL: ICSV22, http://iav.org/archives_icsv_last/2015_icsv22/content/papers/papers/full_paper_961_20150224234036641.pdf.
16. Galiev Sh.U., Galiyev Sh. U. Coherent model of the births of the Universe, the dark matter and the dark energy. 2014. URL: <http://hdl.handle.net/2292/23783>
17. Galiev Sh.U. Darwin, Geodynamics and Extreme Waves. Springer. 2015. 352 pp.
18. Галиев Ш.У., Мейс В.Р. Резонансные волны: от ударных волн к рождению Вселенной (Resonant waves: from shock waves to the origin of the Universe) // Труды XI Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Казань, 2015. С. 869–872.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ И ТРАНСРЕЗОНАНСНЫХ ВОЛН В ПРИРОДНЫХ РЕЗОНАТОРАХ: ОТ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ВСЕЛЕННОЙ

© М.А. Ильгамов¹, Ш.У. Галиев², Б.Р. Мейс², Т.Ш. Галиев

¹Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН,
Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр. Октября, 71

²Оклендский университет, Окленд, Новая Зеландия
Private Bag 92019, Auckland, New Zealand

Гигантские океанские волны, катастрофические сейсмические волны, цунами и возникновение Вселенной – все эти экстремальные явления являются результатом резонансного усиления волн в сильно нелинейных резонансных системах. Они слабо изучены, и некоторые из них все еще не описаны математическими методами, несмотря на то, что они наблюдаются и в природе, и в экспериментах. Возникает вопрос: «Возможно ли создание общей, универсальной теории движения волн в таких системах?». Мы полагаем, что такая теория была разработана для одномерных достаточно длинных волн. Здесь представлены некоторые результаты этой теории. Приводятся материалы, позволяющие понять механизм возникновения, роста, распространения и катастрофического усиления волн в различных природных резонаторах. В частности, эти материалы могут пролить свет на возникновение и эволюцию Вселенной на ранних стадиях ее развития. Целью нашей публикации является описание некоторых результатов универсальной междисциплинарной теории образования и развития экстремальных волн как резонансных и трансрезонансных явлений. Следует отметить, что эта теория и основные ее результаты представлены в ряде публикаций [1–18]. Читатель может найти в них дополнительную информацию по этим результатам, а также информацию, приведенную в данной статье.

Ключевые слова: резонансно-возбуждаемые волны, универсальная теория, сильно-нелинейные резонансные системы, неглубокие землетрясения, океанские и сейсмические экстремальные волны, космология, пра-Вселенная, рождение темной материи и темной энергии.

УДК 539.194+535.37

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ 1.9-БЕНЗ-10-АНТРОНА

© С.Н. Цеплина, Е.Е. Цеплин

Получены спектры поглощения, люминесценции и возбуждения люминесценции 1.9-бенз-10-антрона в растворе метанола. На основании расчета TDDFT B3LYP/6-311+G(*d, p*) электронного спектра водородного комплекса установлены электронные конфигурации электронно-возбужденных синглетных состояний 1.9-бенз-10-антрона. Показано, что с увеличением энергии возбуждения уменьшается квантовый выход люминесценции.

Ключевые слова: 1.9-бенз-10-антрон, возбужденные состояния, спектр поглощения, спектр возбуждения люминесценции.

Введение. Замещенные 1.9-бенз-10-антрона (VzA) широко используются в качестве флуоресцирующих зондов при интеркаляции ДНК [1], которая используется, в частности, при химиотерапии как средство, ингибирующее репликацию ДНК в быстрорастущих раковых клетках. При этом сам VzA в большинстве растворителей не флуоресцирует, за исключением метанола и уксусной кислоты [2, 3]. В работе [3] было сделано предположение, что VzA флуоресцирует только в тех растворителях, в которых образуются межмолекулярные водородные связи между молекулами VzA и растворителя. В работе [4] было показано, что в растворе метанола действительно образуется водородный комплекс VzA с молекулой метанола, что приводит к гипсохромному смещению низшего по энергии перехода $n \rightarrow \pi^*$ и батохромному смещению второго перехода $\pi \rightarrow \pi^*$. В результате низшим по энергии возбужденным состоянием VzA в растворе метанола становится $\pi\pi^*$ состояние, излучательный переход из которого разрешен правилами отбора (из $n\pi^*$ запрещен), что и объясняет флуоресценцию VzA в растворе метанола. При этом остальные, более высоколежащие спектроскопические состояния VzA установлены не были. Целью настоящей работы является установление возбужденных спектроскопических

состояний VzA в растворе метанола. Для достижения поставленной цели будет использован расчет методом TDDFT B3LYP/6-311+G(*d, p*) водородного комплекса VzA с молекулой метанола, поскольку, как было показано [5, 6], расчет этим методом водородных комплексов с молекулами метанола хорошо воспроизводит спектры их поглощения в растворе метанола. Также в работе проведен сравнительный анализ спектра поглощения и спектра возбуждения VzA, полученных в растворе метанола.

Экспериментальная часть. Спектр поглощения 1.9-бенз-10-антрона (Fluka, $\geq 98.0\%$) записан в растворе метанола (Fluka, Hydranal $\geq 99.99\%$) на спектрофотометре Shimadzu UV-2401 со скоростью сканирования 210 нм/мин и спектральной шириной щели 1 нм. Спектры люминесценции и возбуждения VzA записаны в растворе метанола с концентрацией 10^{-5} моль/л на спектрофлуорофотометре Shimadzu RF-5301 PC при температуре 298 К. Спектральная ширина щели со стороны возбуждения и регистрации составляла 5 нм. Расчет электронного спектра комплекса VzA с молекулой метанола был выполнен методом TDDFT на основе функционала B3LYP и базисного набора 6-311+G(*d, p*) после предварительной оптимизации геометрии по полной энергии.

ЦЕПЛИНА Светлана Николаевна, Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: SN_Tseplina@mail.ru

ЦЕПЛИН Евгений Евгеньевич – к.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: tzeplin@mail.ru

Обсуждение и результаты. Спектры поглощения (I), люминесценции (III) и возбуждения (II) VzA в растворе метанола показаны на рис. а. Спектры люминесценции и возбуждения нормированы по интенсивности по первой полосе поглощения. Как видно из рис., спектр возбуждения (III) VzA воспроизводит его спектр поглощения (I), что свидетельствует о том, что наблюдаемая люминесценция принадлежит VzA.

Зарегистрированный в работе спектр (I) соответствует спектрам поглощения VzA, ранее полученными другими авторами [2, 3, 7, 8]. Расчетный электронный спектр водородного комплекса VzA с молекулой метанола методом TDDFT B3LYP/6-311+G(d, p) показан на рис. б. Интерпретация спектра поглощения

VzA в растворе метанола приведена в табл. Как видно из сопоставления рис. а и б, несмотря на значительное количество электронных переходов, расчетный электронный спектр комплекса в целом хорошо воспроизводит спектр поглощения VzA в метаноле как по взаимному расположению полос, так и по их интенсивности.

Первая интенсивная полоса в спектре поглощения VzA ($\epsilon = 1.04 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{моль}$) с максимумом при энергии 3.14 эВ соответствует переходу $\pi_8(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$ в первое синглетное состояние S_1 (табл.). Следующая вторая полоса ($\epsilon = 0.85 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{моль}$) с максимумом при энергии 4.05 эВ, согласно расчетным данным, соответствует двум переходам $\pi_6(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$ и $\pi_5(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$ в состояния S_5 и S_6 .

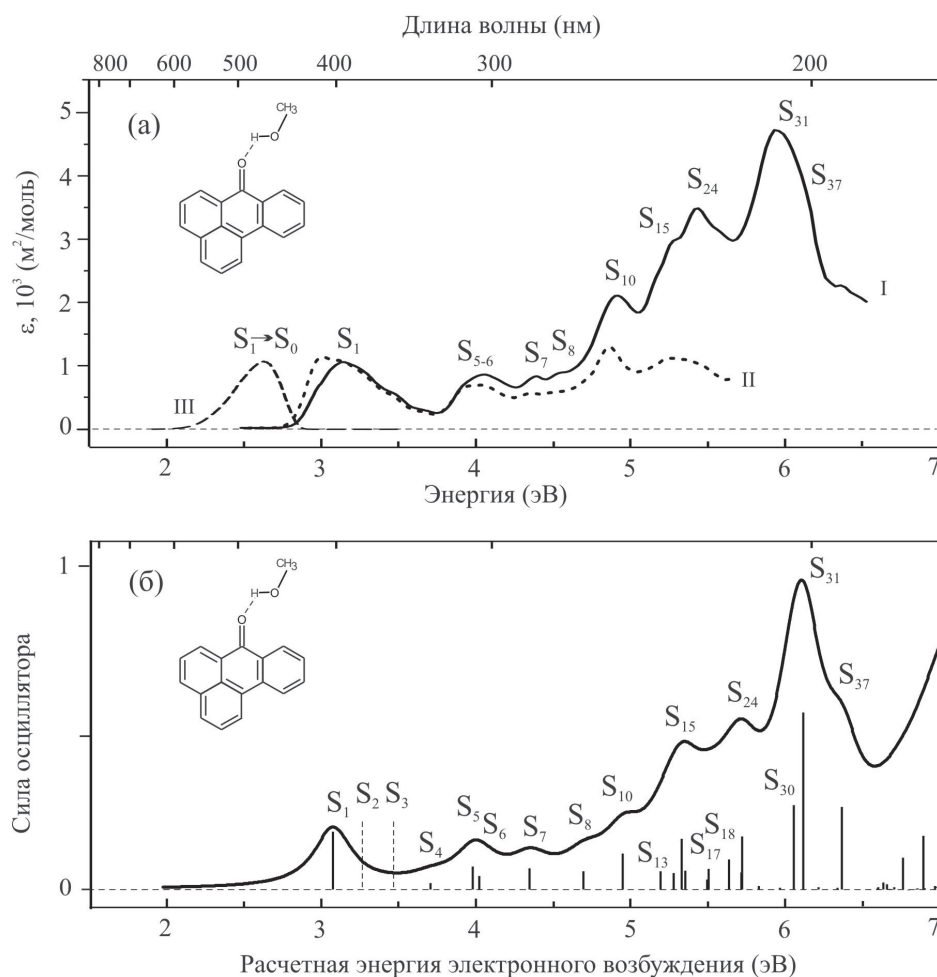


Рис. Спектры 1.9-бенз-10-антрона в растворе метанола: поглощения (сплошная линия I); возбуждения, при энергии испускания 2.43 эВ (точечный пунктир II); флуоресценции, при энергии возбуждения 3.54 эВ (штриховой пунктир III) (а); Электронный спектр комплекса молекулы 1.9-бенз-10-антрона с молекулой метанола, рассчитанный методом TDDFT B3LYP/6-311+G(d, p) (б); штриховыми вертикальными линиями указаны некоторые слабоинтенсивные переходы

За второй полосой наблюдаются максимумы перекрывающихся двух полос при энергиях 4.40 эВ ($\epsilon = 0.82 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{моль}$) и 4.56 эВ, которые соответствуют переходам $\pi_8(a'') \rightarrow \pi_9^*(a'')$ и $\pi_8(a'') \rightarrow \pi_{10}^*(a'')$ в состояния S_7 и S_8 . Следующая пятая интенсивная ($\epsilon = 2.09 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{моль}$) полоса при энергии 4.92 эВ, согласно расчетным данным, соответствует переходу $\pi_8(a'') \rightarrow \pi_{11}^*(a'')$ в состояние S_{10} . Интенсивная ($\epsilon = 3.47 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{моль}$) шестая полоса с максимумом при энергии 5.44 эВ, согласно расчету, соответствует шести интенсивным переходам ($S_{13}, S_{15}, S_{17}, S_{18}, S_{21}, S_{24}$). Как следует из расчета, максимум этой полосы вероятнее всего соответствует самому интенсивному из указанных переходов S_{24} : $\pi_7(a'') \rightarrow \pi_{10}^*(a'')$, а плечо на полосе при энергии 5.3 эВ – следующему по интенсивности переходу S_{15} : $\pi_7(a'') \rightarrow \pi_9^*(a'')$. Самая интенсивная ($\epsilon = 4.70 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{моль}$) седьмая полоса в исследуемой области энергий спектра поглощения VzA имеет максимум при энергии 5.93 эВ и соответствует двум переходам $\pi_5(a'') \rightarrow \pi_{11}^*(a'')$ и $\pi_7(a'') \rightarrow \pi_{11}^*(a'')$ в состояния S_{30} и S_{31} соответ-

ственно. Плечо на седьмой полосе при энергии 6.2 эВ, согласно расчетным данным, соответствует переходу S_{37} : $\pi_3(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$.

Из сравнения спектра возбуждения (III) VzA с его спектром поглощения (I) на рис. а, видно, что спектр возбуждения воспроизводит спектр поглощения по расположению полос на шкале энергии, но интенсивности полос в спектрах отличаются. Как было отмечено выше, при построении рис. а спектр возбуждения был нормирован по интенсивности на максимум первой полосы поглощения. Из сопоставления этих спектров видно, что колебательный пик на первой полосе при энергии 3.02 эВ в спектре возбуждения более интенсивный, чем в спектре поглощения. Это говорит о том, что вероятность флуоресценции наибольшая при возбуждении молекулы на этот колебательный подуровень, т.е. преимущественно с этого колебательного подуровня первого возбужденного синглетного состояния происходит флуоресценция. Далее при увеличении энергии возбуждения относительная

Т а б л и ц а

Отнесение полос поглощения 1.9-бенз-10-антрона в растворе метанола на основании расчета TDDFT B3LYP/6-311+G(d,p)

S	ЗМО–ВМО	$E^{\text{рас}}$	f	$E^{\text{эк}}$	ϵ
S ₁	$\pi_8(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	3.08	0.1801	3.14	1.04
S ₂	$n_O(a') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	3.27	0.0002		
S ₃	$n_{O(Me)} \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	3.48	0.0013		
S ₄	$\pi_7(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	3.71	0.0210		
S ₅	$\pi_6(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	3.99	0.0724	4.05	0.85
S ₆	$\pi_5(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	4.03	0.0428		
S ₇	$\pi_8(a'') \rightarrow \pi_9^*(a'')$	4.36	0.0675	4.40	0.82
S ₈	$\pi_8(a'') \rightarrow \pi_{10}^*(a'')$	4.71	0.0587	4.56	
S ₁₀	$\pi_8(a'') \rightarrow \pi_{11}^*(a'')$	4.96	0.1128	4.92	2.09
S ₁₃	$\pi_4(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	5.20	0.0421		
S ₁₅	$\pi_7(a'') \rightarrow \pi_9^*(a'')$	5.34	0.1573	5.3 ^a	
S ₁₇	$n_O(a') \rightarrow \pi_{10}^*(a)$	5.51	0.0318		
S ₁₈	$\pi_5(a'') \rightarrow \pi_9^*(a'')$	5.51	0.0645		
S ₂₁	$\pi_6(a'') \rightarrow \pi_{10}^*(a'')$	5.65	0.0949		
S ₂₄	$\pi_7(a'') \rightarrow \pi_{10}^*(a'')$	5.73	0.1655	5.44	3.47
S ₃₀	$\pi_5(a'') \rightarrow \pi_{11}^*(a'')$	6.07	0.2605		
S ₃₁	$\pi_7(a'') \rightarrow \pi_{11}^*(a'')$	6.13	0.5462	5.93	4.70
S ₃₇	$\pi_3(a'') \rightarrow \pi_{(C=O)}^*(a'')$	6.38	0.2551	6.2 ^a	

^a – энергия плеча на полосе.

Примечания. S – номера возбужденных синглетных состояний; ЗМО-ВМО – тип МО; $E^{\text{рас}}$ и $E^{\text{эк}}$ – расчетные и экспериментальные вертикальные энергии переходов (эВ); f – сила осциллятора; ϵ – молярный показатель поглощения ($10^3 \text{ м}^2/\text{моль}$)

интенсивность полос спектра возбуждения уменьшается по сравнению со спектром поглощения, что обусловлено увеличением вероятности потери энергии при переходе высокоэнергетического возбужденного состояния в состояние S_1 . В интервале энергий от максимума первой полосы поглощения 3.14 эВ до 3.92 эВ, что соответствует возбужденным состояниям молекулы BzA S_1 - S_4 , и, возможно, S_5 , относительные интенсивности спектров поглощения и возбуждения совпадают, что говорит о равной вероятности флуоресценции BzA при его возбуждении в этом диапазоне энергий. При дальнейшем увеличении энергии в области 3.92–4.61 эВ, которая соответствует возбужденным состояниям S_6 - S_8 , интенсивность спектра возбуждения становится меньше интенсивности спектра поглощения (примерно на 25%), что отражает уменьшение относительной вероятности флуоресценции на 25% при возбуждении в рассмотренном диапазоне энергий. На следующем интервале энергий 4.61–5.06 эВ, соответствующем возбуждению молекулы в состояние S_{10} , наблюдается дальнейшее уменьшение интенсивности спектра возбуждения по сравнению со спектром поглощения (примерно на 36%), что показывает уменьшение относительной вероятности флуоресценции при рассматриваемых энергиях на 36%. На последней из регистрируемых областей энергий возбуждения 5.06–5.61 эВ наблюдается наиболее сильное падение интенсивности в спектре возбуждения по сравнению со спектром поглощения – в максимуме полосы 5.44 эВ, соответствующего переходу в со-

стояние S_{24} , уменьшение интенсивности и, соответственно, относительной вероятности флуоресценции составляет 70%.

Литература

1. Yang X., Liu W.H., Jin W.J., Shen G.L., Yu R.Q. DNA binding studies of a solvatochromic fluorescence probe 3-methoxybenzanthrone // *Spectrochim. Acta A*. 1999. V. 55, № 13. P. 2719–2727.
2. Bently P., McKellar J.F., Phillips G.O. The Photochemistry of Benz[de]anthracen-7-ones. Part I. Electronic Absorption and Emission Spectroscopy // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. II*. 1974. V. 5. P. 523–526.
3. Levchenko N.F., Podgornaya L.M. Fluorescence of Benzantrone, Bromobenzanthrone, and Methoxybenzanthrone // *Zhurnal Prikladnoi Spektroskopii*. 1968. V. 8, № 1. P. 164–165.
4. Цеплин Е.Е., Цеплина С.Н., Хвостенко О.Г. Влияние растворителя на фотолюминесценцию 1.9-бенз-10-антрона // *Известия Уфимского научно-го центра РАН*. 2014. № 3. С. 21–23.
5. Цеплин Е.Е., Цеплина С.Н., Хвостенко О.Г. К вопросу о механизмах специфических эффектов полярного растворителя в спектрах оптического поглощения // *Оптика и спектроскопия*. 2011. Т. 110, № 6. С. 956–962.
6. Цеплин Е.Е., Цеплина С.Н., Хвостенко О.Г. Специфические эффекты полярного растворителя в спектрах оптического поглощения 5.12-тетраценхинона // *Оптика и спектроскопия*. 2012. Т. 113, № 4. С. 454–459.
7. Clar E., Stewart D.G. Aromatic Hydrocarbons. LXIII. Resonance Restriction and the Absorption Spectra of Aromatic Hydrocarbons // *J. Am. Chem. Soc.* 1952. V. 74, № 24. P. 6235–6238.
8. Lu B., Xu J., Fan C., Miao H., Shen L. Electrochemical Polymerization of Benzantrone and Characterization of its Excellent Green-light-emitting Polymer // *J. Phys. Chem.* 2009. V. 113, № 1. P. 37–48.

EXCITED SINGLET STATES OF BENZANTHRONE

© S.N. Tseplina, E.E. Tseplin

Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa Scientific Centre, RAS
151, prospect Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

Absorption, emission and excitation spectra of benzantrone in methanol solution were measured. Based on the calculations of the electronic spectrum of the complex benzantrone molecule with a molecule of methanol by the TDDFT B3LYP/6-311+G(d, p) method, we determined electronically excited singlet states of benzantrone. It is shown that with increasing excitation energy the luminescence quantum yield tends to decrease.

Key words: benzantrone, excited states, absorption spectrum, luminescence excitation spectrum.

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ

© И.П. Попов

Отмечено, что скорость распространения волновой функции, или фазовая скорость, не подлежит прямому измерению, поскольку передаваемое возмущение не является физической субстанцией. В какой-то мере следствием этого обстоятельства является одновременное существование двух различных формул для фазовой скорости. Принципиальное их несовпадение связано с тем, что их вывод основывался на существенно различных предпосылках. В то же время волны де Бройля обнаруживают себя при интерференции и дифракции частиц. Это создает еще одну предпосылку для оценки соотношения фазовой скорости и скорости частицы. Интерференционная картина образуется следами единичных частиц, попавших в детектор. В соответствии со статистическим толкованием волн де Бройля, предложенным М. Борном, плотность следов связана с вероятностью обнаружения частиц в соответствующей точке экрана. Распределение вероятности на экране является результатом интерференции двух частей волны де Бройля, которая проходит через две щели, при этом каждая из частей волны проходит через свою щель. Существенным обстоятельством является то, что если волны проходят через обе щели, то частица всегда проходит только через одну щель. В неопределенный момент времени частица минует либо первую, либо вторую щель. Пусть одновременно с частицей через обе щели проходят обе части волновой функции (их передние фронты) и пусть скорость волн ниже скорости частицы. Следовательно, волны (по крайней мере волна от щели, через которую частица не прошла) достигнут детектора и образуют интерференционную картину, представляющую собой распределение плотности вероятности нахождения частицы, уже после того, как там окажется частица, и, таким образом, эта опоздавшая интерференционная вероятность не сможет определять положение частицы на экране, и интерференционная картина наблюдаться не будет. Из этого вытекает, что для возникновения интерференционной картины фазовая скорость должна быть не меньше скорости частицы. Аналогично устанавливается, что фазовая скорость должна быть не больше скорости частицы. Из одновременного учета обоих условий вытекает равенство фазовой скорости и скорости частицы.

Ключевые слова: плотность вероятности, волновая функция, скорость, фронт волны.

Введение. Скорость распространения волновой функции или фазовая скорость не подлежит прямому измерению, поскольку передаваемое возмущение не является физической субстанцией. В какой-то мере следствием этого обстоятельства является одновременное существование двух различных формул для фазовой скорости:

$$v_{\phi} = \frac{c^2}{v} \quad [1], \quad (1)$$

$$v_{\phi} = \frac{v}{2}. \quad (2)$$

Здесь v – скорость частицы, c – скорость света в вакууме. Принципиальное несовпадение (1) и (2) связано с тем, что их вывод основывался на существенно различных предпосылках.

В то же время волны де Бройля обнаруживают себя при интерференции и дифракции частиц. Это создает еще одну предпосылку для оценки соотношения фазовой скорости и скорости частицы.

Интерференционная картина образуется следами единичных частиц, попавших в детектор. В соответствии со статистическим толкованием

волн де Бройля, предложенным М. Борном [3], плотность следов связана с вероятностью обнаружения частиц в соответствующей точке экрана. Распределение вероятности на экране является результатом интерференции двух частей волны де Бройля, которая проходит через две щели, при этом каждая из частей волны проходит через свою щель. Существенным обстоятельством является то, что если волны проходят через обе щели, то частица всегда проходит только через одну щель. Это является основой дальнейших рассуждений.

Определение нижнего предела скорости распространения волны. Для этой цели может быть использовано выражение (2).

В неопределенный момент времени частица минует либо первую, либо вторую щель. Пусть одновременно с частицей через обе щели проходят обе части волновой функции (их передние фронты). Какова бы ни была скорость частицы, скорость волн в два раза ниже ее. Следовательно, волны (по крайней мере волна от щели, через которую частица не прошла) достигнут детектора и образуют интерфе-

ренционную картину, представляющую собой распределение плотности вероятности нахождения частицы, уже после того, как там окажется частица, и, таким образом, эта опоздавшая интерференционная вероятность не сможет определять положение частицы на экране, и интерференционная картина наблюдаться не будет. Из этого вытекает, что формула (2) вступает в противоречие с фактом возникновения интерференционной картины, для реализации которой необходимо условие:

$$v_{\phi} \geq v. \quad (3)$$

Определение верхнего предела скорости распространения волны. Для этой цели может быть использовано выражение (1).

В неопределенный момент времени частица минует либо первую, либо вторую щель. Пусть одновременно с частицей через обе щели пройдут задние фронты обеих частей волновой функции. Какова бы ни была скорость частицы, скорость волн многократно выше ее. Следовательно, волны (по крайней мере волна от щели, через которую частица не прошла) достигнут детектора и образуют интерференционную картину, представляющую собой распределение плотности вероятности нахождения частицы, значительно раньше, чем там окажется частица, и, таким образом, эта

несовпадающая с частицей интерференционная вероятность не сможет определять положение частицы на экране, и интерференционная картина наблюдаться не будет. Из этого вытекает, что формула (1) вступает в противоречие с фактом возникновения интерференционной картины, для реализации которой необходимо условие:

$$v_{\phi} \leq v. \quad (4)$$

Заключение. Одновременный учет условий (3) и (4) дает следующий результат:

$$v_{\phi} = v. \quad (5)$$

Практически все сказанное может быть отнесено к дифракции частиц.

Интерференция и дифракция частиц относятся к разряду достоверных явлений. Полученное выражение (5), таким образом, опирается на эту достоверность.

Литература

1. Дирак П.А. Принципы квантовой механики / Пер. с англ. М.: Наука, 1979.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 5. Атомная и ядерная физика. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2002.
3. Born M., Jordan P. Elementare Quantenmechanik. Berlin, 1930.

THE PROPAGATION VELOCITY OF THE WAVE FUNCTION

© I.P. Popov

Centre of high technology,
640002, Kurgan, Tomina st, 106-52

It is noted that the speed of propagation of the wave function or the phase velocity can not be measured directly since passed outrage is not a physical substance. To some extent a consequence of this fact is the simultaneous existence of two different formulas for the phase velocity. The principal of a mismatch due to the fact that their conclusions are based on fundamentally different assumptions. At the same time, de Broglie waves reveal themselves in the interference and diffraction particle. This creates yet another prerequisite for the ratio of the phase velocity and the particle velocity. The interference pattern formed by the following individual particles falling into the detector. In accordance with the statistical interpretation of de Broglie waves, proposed by M. Born, track density is associated with a probability of detection of particles in the corresponding point on the screen. The probability distribution on the screen is the result of interference between two parts of the de Broglie wavelength, which passes through two slits, each of the parts of the wave passes through a slit. The essential fact is that when the wave passes through both slits, the particle passes always through only one slot. In an indefinite time the particle passes either the first or second slot. Let a particle at the same time through both slits are both part of the wave function (their leading edges) and let the speed of the waves below the speed of the particles. Consequently, the wave (at least, a wave from the slot through which the particle is not held) reached the detector and form an interference pattern, which is a distribution of the probability density of finding a particle, already after there will be a particle, and thus the probability of interference was late will not be able to determine the position of a particle on the screen, and the interference pattern will be observed. From this it follows that for the occurrence of the interference pattern phase velocity should not be less than the velocity of the particle. Similarly, it is established that the phase velocity should not be greater than the speed of the particle. From the simultaneous consideration of both conditions the equality of the phase velocity and the velocity of the particle.

Key words: probability density, wave function, speed, the wave front.

УДК 535.378+535.379+544.576

ТУШЕНИЕ МЕЛАТОНИНОМ СОНОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЛЮМИНОЛА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

© Г.Л. Шарипов, Р. Хоролжав, А.М. Абдрахманов, Б.М. Гареев, А.А. Тухбатуллин

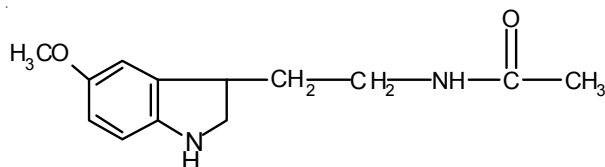
Мелатонин – гормон эпифиза, играющий важную роль в процессах энергетического метаболизма и регуляции физиологических функций организмов, эффективно тушит хими- и сонохемилюминесценцию люминола в водном растворе. Определены соответствующие константы тушения Штерна – Фольмера. Предел обнаружения мелатонина в растворе по эффективному тушению сонохемилюминесценции люминола составляет 20 нг/мл.

Ключевые слова: хемилюминесценция, сонохемилюминесценция, мелатонин, люминол.

Введение. Мелатонин, $C_{13}H_{16}N_2O_2$, – гормон эпифиза (шишковидной железы), контролируемый биологическими часами; эпифиз находится в гипоталамусе, и его активность зависит от степени освещенности. Секретция мелатонина подчинена суточному ритму, ее пик обычно приходится на период между 3 и 5 ч после наступления сна в темное время суток, в то время как при дневном свете мелатонин практически не вырабатывается. Рецепторы мелатонина были обнаружены по всему телу во многих тканях, что подтверждает широкий спектр воздействия мелатонина на физиологические функции, например, энергетический метаболизм, регуляция веса тела, иммуномодулирующая и адаптивные функции организма [1, 2]. Роль мелатонина как регулятора биологических ритмов универсальна для всех живых организмов, о чем свидетельствует факт его присутствия и циркадианный ритм его продукции у всех известных животных, начиная от одноклеточных [3], а также у растений [4].

Знание концентрации мелатонина в различных органах и тканях очень важно, и в настоящее время существуют множество мето-

дов его определения, тем не менее исследования в этом направлении не прекращаются. Основываясь на известных фактах антиоксидантного действия мелатонина, в частности, на его активность и способность к ингибированию ОН радикалов и перекиси водорода [5–8], нами была предположена возможность и предпринят поиск воздействия мелатонина на хемилюминесценцию (ХЛ), сонолюминесценцию (СЛ) и сонохемилюминесценцию (СХЛ) в водных растворах люминола с целью использования данного эффекта для определения гормона.



Структурная формула N-ацетил-5-метокситриптамина (мелатонина)

Экспериментальная часть. Схема экспериментальной установки описана ранее [9]. Для сонолиза использовался ультразвуковой диспергатор фирмы ACE GLASS INCORPORATED (Ultrasonic Processor, 100 W), работающий на частоте 20 кГц, снабженный титановым вол-

ШАРИПОВ Глюс Лябибович – д.х.н., Институт нефтехимии и катализа РАН, e-mail: glus@anrb.ru
 ХОРОЛЖАВ Рагчаагийн – д.ф.н., Институт физики и технологий Монгольской академии наук, e-mail: khorojjav@yahoo.com

АБДРАХМАНОВ Айрат Маратович – к.ф.-м.н., Институт нефтехимии и катализа РАН, e-mail: abdrakhmanov@rambler.ru

ГАРЕЕВ Булат Махмутович, Институт нефтехимии и катализа РАН, e-mail: gareev-bulat@ya.ru

ТУХБАТУЛЛИН Адис Анисович – к.ф.-м.н., Институт нефтехимии и катализа РАН, e-mail: adis0501@mail.ru

новодом с диаметром излучающей поверхности 6 мм и встроенным измерителем мощности ультразвука. Эксперименты были проведены при мощности 10 Вт. Ультразвуковые колебания через волновод передавались в заполненную жидкостью металлическую кювету, снабженную рубашкой для термостатирования, трубкой для подачи газов и торцевым кварцевым окном для регистрации свечения. Стандартный объем жидкости – 10 мл. Температура в кювете поддерживалась термостатом и контролировалась термопарой. Для регистрации свечения кювета помещалась в светонепроницаемую камеру, снабженную фотодетектором, – ФЭУ-39.

Спектры СЛ и СХЛ регистрировались со спектральным разрешением $\Delta\lambda = 20$ нм в диапазоне от 200 до 700 нм с помощью спектрофлуориметра «Aminco Bowman J4-8202», детектор – фотоумножитель «Hamamatsu R4332». Температура всех растворов, насыщенных воздухом и аргоном до начала регистрации спектров, поддерживалась на уровне $10 \pm 2^\circ\text{C}$. Время записи спектра составляло около 1 мин.

Спектры фотолюминесценции (ФЛ) регистрировались на спектрофлуориметре «Fluorologe-3» со спектральным разрешением $\Delta\lambda = 1$ нм.

Спектры поглощения регистрировались на спектрофотометре «SPECORD UV-VIS». Использовались кварцевые кюветы длиной 1 см.

Обсуждение результатов. На рис. 1 приведены полученные в ходе исследования спектры поглощения и фотолюминесценции растворов мелатонина в воде. Характерная полоса поглощения мелатонина в УФ-области спектра с максимумом при 280 нм позволяет определять до 10^{-4} моль·л⁻¹ гормона. По спектрам ФЛ с максимумом в области 370 нм можно определять на порядок меньшую концентрацию мелатонина в водном растворе.

Влияние мелатонина на интенсивность и спектр многопузырьковой сонолюминесценции воды иллюстрирует рис. 2.

Из рисунка видно, что мелатонин эффективно подавляет полосу высвечивания

ОН радикала с максимумом при 310 нм и полностью отсекает коротковолновую часть спектра СЛ воды менее 300 нм. Возникающий в присутствии мелатонина явный максимум спектра при 370 нм, очевидно, обусловлен сонофотолюминесценцией, т.е. кавитационные пузырьки выступают в роли источников УФ-излучения, которое возбуждает фотолюминесценцию растворенного в воде мелатонина.

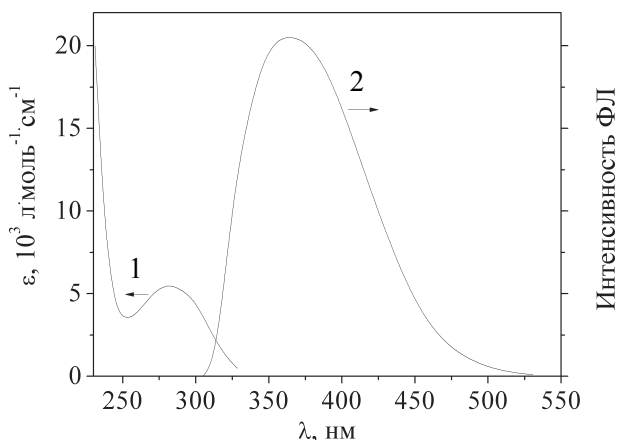


Рис. 1. 1 – спектр поглощения водного раствора мелатонина $2.5 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹. Длина кюветы $l = 1$ см. 2 – спектр фотолюминесценции $2.5 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹ водного раствора мелатонина. $\lambda_{\text{макс}} = 364$ нм, $\lambda^* = 276$ нм

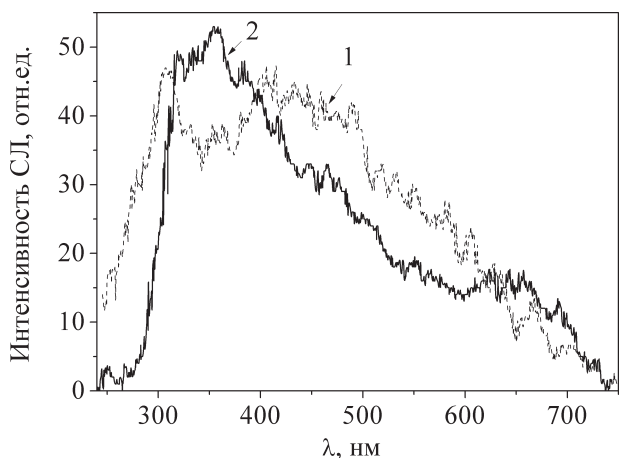


Рис. 2. Спектры сонолюминесценции насыщенных аргоном воды (1) и $2.5 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹ водного раствора мелатонина (2)

Спектры фотолюминесценции и хемилюминесценции водных растворов люминола не меняются при добавлении мелатонина. В его присутствии происходит лишь снижение интенсивности ХЛ. При этом тушение

подчиняется уравнению Штерна – Фольмера для зависимости интенсивности свечения от концентрации тушителя (рис. 3).

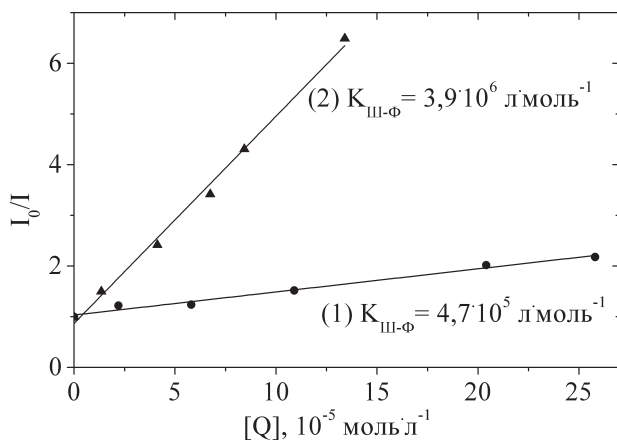


Рис. 3. Тушение ХЛ (1) и СХЛ (2) люминола в воде (10^{-4} моль·л $^{-1}$) мелатонином (Q) в координатах уравнения Штерна – Фольмера

Определенная из полученных данных константа тушения интенсивности ХЛ по соответствующему уравнению:

$$I_0/I = 1 + K_{ш-ф} \cdot [Q],$$

где I_0 и I – начальная и текущая интенсивности люминесценции соответственно, $K_{ш-ф}$ – константа тушения, Q – тушитель, составляет $4.7 \cdot 10^5$ л·моль $^{-1}$.

Хемилюминесценция в данных экспериментах инициировалась добавлением перекиси водорода в водный раствор 10^{-4} моль·л $^{-1}$ люминола в присутствии 10^{-2} моль·л $^{-1}$ NaOH. Эффект тушения ХЛ, по-видимому, можно объяснить взаимодействием перекиси с мелатонином и ингибированием процесса окисления люминола.

При наличии более эффективного, чем с перекисью водорода, взаимодействия мелатонина с радикалами OH – инициаторами СХЛ люминола [9], можно было ожидать более эффективного тушения, что и наблюдалось в действительности (рис. 3, 4).

Учитывая большие размеры молекул мелатонина, их проникновение внутрь кавитационных пузырьков маловероятно. Реакции тушения возбужденных продуктов окисления люминола, вероятно, происходят либо на границе раздела газ – жидкость, т.е. на поверхности пузырька, либо в объеме раствора.

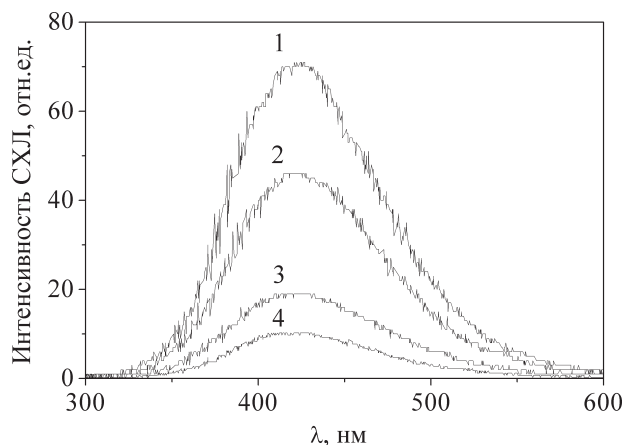


Рис. 4. Спектры СХЛ 10^{-4} моль·л $^{-1}$ раствора люминола в воде при содержании мелатонина: 1 – 0 моль·л $^{-1}$, 2 – $1.35 \cdot 10^{-5}$ моль·л $^{-1}$, 3 – $6.73 \cdot 10^{-5}$ моль·л $^{-1}$, 4 – $13.4 \cdot 10^{-5}$ моль·л $^{-1}$. Во всех растворах присутствует 10^{-2} моль·л $^{-1}$ NaOH

Найденная величина константы тушения по уравнению Штерна – Фольмера, которому также подчиняется тушение СХЛ, равняется $K_{ш-ф} = 3.9 \cdot 10^6$ л·моль $^{-1}$ (почти на порядок больше, чем константа для тушения интенсивности ХЛ), что позволяет определять до 20 нг/мл ($\sim 8 \cdot 10^{-8}$ л·моль $^{-1}$) мелатонина в водном растворе. Таким образом, тушение сонохемилюминесценции люминола является высокочувствительным методом определения мелатонина в водных растворах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Министерства образования, культуры и науки Монголии в рамках научного проекта РФФИ № 13-03-92202-Монг-а.

Литература

1. Беспятых А.Ю., Бродский В.Я., Бурлакова О.В., и др. Мелатонин: теория и практика. М.: Медпрактика-М., 2009. 99 с.
2. Karasek M., Winczyk K. Melatonin in humans // J. of Physiology and Pharmacology. 2006. V. 57. P. 19–39.
3. Poeggeler B., Balzer I., Harderland R., Lerchl A. Pineal hormone melatonin oscillates also in the dinoflagellate Gonyaulax polyedra // Naturwissenschaften. 1991. V. 78. P. 268–269.
4. Balzer I., Hardeland R. Melatonin in algae and higher plants – possible new roles as a phytohormone and antioxidant // Botanica Acta. 1996. V. 109. P. 180–183.

5. Tan D.X., Manchester L.C., Reiter R.J., Qi W.B., Karbownik M., Calvo V.R. Significance of melatonin in antioxidative defense system: reactions and products // *Biol. Signals Receptors*. 2000. V. 9. 137–159.

6. Matuszak K., Reszka K.J., Chignell C.F. Reaction of melatonin and related indoles with hydroxyl radicals: EPR and spin trapping investigation // *Free Radical Biology and Medicine*. 1997. V. 23. P. 367–372.

7. Poeggeler B., Thuermann S., Dore A., Schoenke M., Burkhardt S., Hardeland R. Melatonin's

unique scavenging properties – roles of its functional substituents as revealed by a comparison with its structural analogues // *J. of Pineal Research*. 2002. V. 33. P. 20–30.

8. Шарипов Г.Л., Абдрахманов А.М., Гайнетдинов Р.Х. Сонолюминесценция водных растворов H_2SO_4 и SO_2 // *Изв. АН. Сер. хим.* 2003. № 9. С. 1863–1865.

9. Владимиров Ю.А., Проскурнина Е.В. Свободные радикалы и клеточная хемилюминесценция // *Успехи биол. химии*. 2009. № 49. С. 341–388.

QUENCHING OF LUMINOL SONOCHEMILUMINESCENCE BY MELATONIN IN AQUEOUS SOLUTION

© G.L. Sharipov¹, R. Khoroljav², A.M. Abdrakhmanov¹, B.M. Gareev¹, A.A. Tukhbatullin¹

¹Institute of Petrochemistry and Catalysis, RAS

141, prospect Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

²Institute of Physics and Technology, Mongolian Academy of Sciences

54D, Enkhtaivan av., 210651, Ulaanbaatar, Republic of Mongolia

Melatonin, a hormone of the pineal gland, that plays an important role in energy metabolism and regulation of physiological functions of the human body, effectively quenches luminol chemiluminescence and sonochemiluminescence in an aqueous solution. The related Stern-Volmer constants for the quenching have been determined. The detection limit of melatonin in the solution for the effective quenching of luminol sonochemiluminescence is 20 ng/ml.

Key words: chemiluminescence, sonochemiluminescence, luminol, melatonin.

УДК 661.333.36

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАДИИ ДИСТИЛЛЯЦИИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕГАШЕННОЙ ИЗВЕСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

© М.Х. Курбангалеева, Л.Р. Курбангалеева, А.Ю. Абдуллина

Исследован процесс регенерации аммиака из раствора хлористого аммония с использованием негашеной извести. Проведены лабораторные испытания с целью сравнительного анализа использования известкового молока и негашеной извести. Для опытов использовали модельный раствор NH_4Cl с концентрацией 162.5 г/л с добавлением хлорида натрия, сульфата натрия, который был соотнесен к технологическому раствору производства кальцинированной соды.

Изучение кинетики взаимодействия хлорида аммония и негашеной извести проводили с заданным содержанием оксида кальция. Для этого быстро вливали приготовленный модельный раствор хлорида аммония и через каждые 60 с производили отбор пробы прозрачной части образовавшейся суспензии. В отработанных пробах определяли свободный аммиак методом нейтрализации и по количеству аммиака судили о степени прохождения реакции. Аналогично проводили опыты с использованием известкового молока.

По результатам лабораторных испытаний было показано, что разложение хлорида аммония при одинаковых условиях с использованием известкового молока и негашеной извести происходит практически за одинаковый промежуток времени.

Показано, что процесс регенерации аммиака можно организовать, минуя промежуточную стадию приготовления известкового молока, путем загрузки твердой негашеной извести прямо в смеситель. Произведен подбор необходимого оборудования для организации процесса регенерации аммиака из хлористого аммония с использованием негашеной извести.

Произведено сравнение материальных и тепловых балансов с применением известкового молока и извести. Было показано, что для получения одинакового количества аммиака при использовании известкового молока затрачивается в 0.78 раза больше продуктов реакции, и при этом затрачивается тепло на 270.5 Гкал/т соды больше, чем при использовании негашеной извести.

Таким образом, использование негашеной извести позволяет уменьшить расход тепла и позволяет упростить технологическую схему производства кальцинированной соды по аммиачному способу.

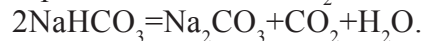
Ключевые слова: аммиак, известь, известковое молоко, регенерация, дозатор.

Производство кальцинированной соды по аммиачному способу – это сложный многостадийный процесс, все звенья которого тесно взаимосвязаны друг с другом [1]. В основе производства кальцинированной соды лежит реакция:

$\text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{NaHCO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$,
которая отражает две стадии производства: аммонизацию раствора хлорида натрия и кар-

бонизацию аммонизированного рассола. В результате образуется суспензия, фильтрацией которой получают осадок NaHCO_3 и фильтровую жидкость, содержащую NH_4Cl и непрореагировавшие NaCl и NH_4HCO_3 .

Бикарбонат натрия разлагают при нагревании до 140–180°C с получением соды и газа, содержащего 97–98% CO_2 :

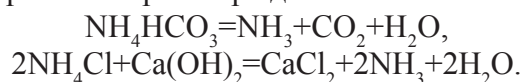


КУРБАНГАЛЕЕВА Милауша Хизбулловна – к.т.н., Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: mhk2014@bk.ru

КУРБАНГАЛЕЕВА Лилия Рафаэлевна – к.т.н., Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: mhk2014@bk.ru

АБДУЛЛИНА Алина Юнировна, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: mhk2014@bk.ru

Фильтровую жидкость направляют на регенерацию содержащегося в ней аммиака и углекислого газа (стадия дистилляции). Для выделения связанного аммиака используют известковое молоко, получаемое при гашении извести. Процесс выделения осуществляют нагреванием раствора до 74–114°C:



Регенерация аммиака в значительной мере определяет многие технико-экономические показатели производства кальцинированной соды, а именно: расходный коэффициент извести, потери аммиака, долю твердых и жидких отходов и т.д. [2].

Как известно, что способ регенерации аммиака, предложенный еще в 1836 г. Джеролома Форни, применяется на предприятиях кальцинированной соды с 1867 г., в научном плане регенерация аммиака из хлористого аммония с использованием извести остается малоисследованной. Так, согласно литературным данным, скорость взаимодействия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с хлористым аммонием зависит от степени дисперсности и скорости растворения известкового молока [3]. Считается также, что в промышленной практике реакция осложняется присутствием в фильтровой жидкости солей NaCl , Na_2SO_4 , CaCO_3 , NH_4OH , образованием и кристаллизацией сульфата кальция [4].

Нами исследован процесс сравнения разложения хлорида аммония при использовании извести и известкового молока, а также подбор оборудования для усовершенствования стадии регенерации аммиака. Для исследования использовали модельный раствор хлорида аммония с концентрацией 162.5 г/л с добавлением хлорида натрия с концентрацией 73.0 г/л и сульфата натрия с концентрацией 3.55 г/л. Данный раствор был отнесен к технологическому раствору (фильтровая жидкость) содового производства.

Лабораторные опыты проводили в плоскодонной колбе емкостью 1 л. Колба подогревалась электроплиткой. Верхнюю часть колбы изолировали. Смешивание известкового молока (и отдельно извести) с приготовленным модельным раствором, а также от-

гонка аммиака проводились в одной колбе, следовательно, колба выполняла функции и смесителя, и дистиллера (рис. 1). Изучение кинетики взаимодействия хлорида аммония и негашеной извести проводилось следующим образом: в круглодонную колбу помещали известь с известным содержанием окиси кальция. После этого быстро вливали приготовленные растворы хлорида аммония. Через каждые 60 с с помощью шприцев отбирали пробы прозрачной части суспензии. В отобранных пробах определяли свободный аммиак методом нейтрализации. По количеству аммиака судили о степени прохождения реакции. Длительность опытов варьировали до 45 мин. Аналогично проводили опыты с использованием известкового молока

Взаимодействие суспензии известкового молока и извести с NH_4Cl происходило в соответствии с реакциями:

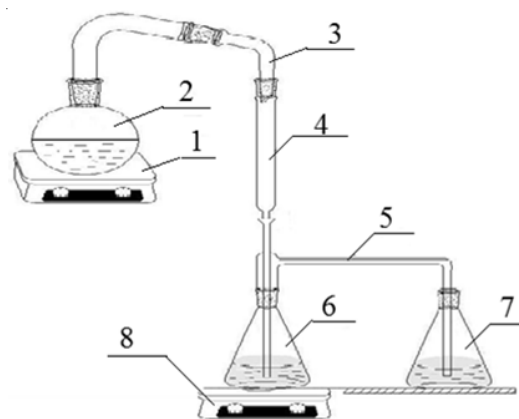
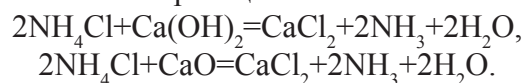


Рис. 1. Лабораторная установка по отгонке аммиака при взаимодействии оксида кальция и хлорида аммония: 1, 8 – колбонагреватель; 2 – круглодонная колба; 3, 5 – переходники; 4 – холодильник; 6 – приемная колба; 7 – контрольная колба

На рис. 2 представлена зависимость концентрации аммиака от времени с использованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaO .

Как видно из графика, разложение аммиака при использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaO происходит практически за одинаковый промежуток времени. Также из проведенных опытов было обнаружено, что чем мельче известь, тем быстрее идет реакция.

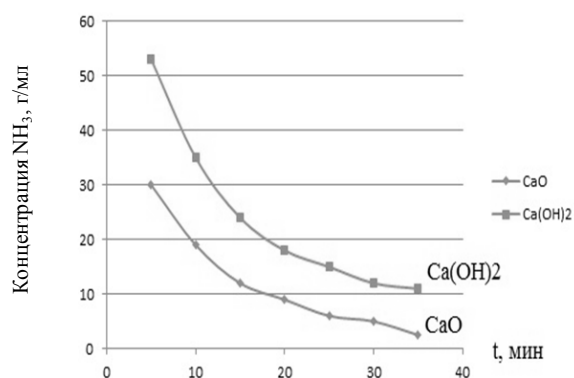


Рис. 2. Зависимость концентраций аммиака от времени разложения хлорида аммония при использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaO

Замена известкового молока на известь требует введения нового оборудования. По анализу литературных данных в будущем при замене известкового молока на негашеную известь можно применить весовой дозатор для подачи извести в смеситель, который показан на рис. 3.

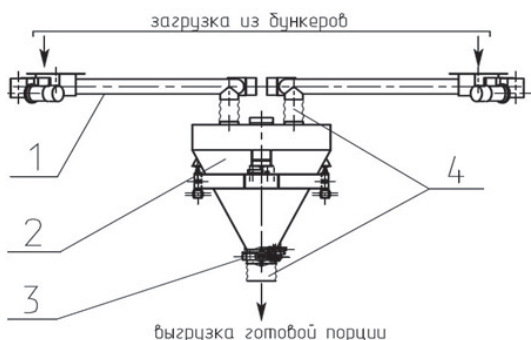


Рис. 3. Весовой дозатор: 1 – емкость весоизмерительная; 2 – питатель винтовой; 3 – затвор дисковый поворотный с пневмоприводом; 4 – гибкая вставка

Такие дозаторы предназначены для выгрузки сыпучих материалов, используются в технологических линиях предприятий во многих отраслях промышленности.

Работа дозатора осуществляется следующим образом: приводы винтовых питателей бункеров последовательно и с заданной точностью производят загрузку весоизмерительной емкости. По окончании дозирования компонентом дисковый клапан, установленный в нижней части весоизмерительной емкости, открывается, взвешенная порция компонентов выгружается в смеситель, и после времени, необходимого для успокоения системы, дозатор готов к набору следующей порции.

На основании проведенных опытов были рассчитаны материальные и тепловые балансы с использованием известкового молока и извести.

Как видно из приведенных табличных данных по материальному балансу, для получения одинакового количества аммиака при использовании известкового молока затрачивается в 0.78 раз большее количество продуктов реакции, чем при использовании извести. И тепло при использовании известкового молока затрачивается на 270.5 Гкал/т соды больше, чем при использовании негашеной извести.

Таким образом, одним из эффективных направлений совершенствования отделения дистилляции в производстве кальцинированной соды является регенерация аммиака при помощи негашеной извести (вместо известкового молока), что приводит к снижению расхода пара.

Т а б л и ц а 1

Материальный баланс с использованием известкового молока и извести на тонну соды

Позиции баланса	Известковое молоко	Известь
Приход		
Жидкость из ТДС	1.1337	1.1337
Известковое молоко	0.5016	
Известь		0.1200
Водяной пар	0.2800	0.2435
Итого	1.9156	1.4982
Расход		
Жидкость из ДС	1.6632	1.241
Пар из испарителя	0.02	0.02
NH_3 из ДС	0.0567	0.0567
Водяной пар из ДС	0.1754	0.1754
Итого	1.9153	1.4972

Тепловой баланс с использованием известкового молока и извести, Гкал/т соды

Позиции баланса	Известковое молоко	Известь
Приход		
Тепло, вводимое с жидкостью из теплообменника	322.8	322.8
Тепло, вводимое с известью	177.6	5.0
Тепло, вводимое с паром	750.3	652.4
Итого	1250.7	980.2
Расход		
Тепло, отводимое с газом теплообменника	11.7	11.7
Водяной пар	467.8	467.8
Тепло, отводимое с жидкостью ДС	771.2	500.7
Итого	1250.7	980.2

Литература

1. Зайцев Д.И., Ткач Г.А., Стоев Н.Д. Производство соды. М.: Химия, 1986. 312 с.
2. Курбангалеева ЛР., Быковский Н.А., Даминев Р.Р. Получение гидроксида кальция и соляной

кислоты из дистиллерной жидкости // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19, № 2. С. 36–39.

3. Микунин Г.И., Поляков И.К. Дистилляция в производстве соды. Л.: Госхимздат, 1956. 348 с.

4. Гольдштейн. Производство кальцинированной соды. М.: ОНТИ. Госхимтехиздат, 1934. 606 с.

IMPROVEMENT OF THE STAGE OF DISTILLATION BY USE OF NOT EXTINGUISHED LIME IN PRODUCTION OF THE CALCINATED SODA

© М.Н. Kurbangaleeva, L.R. Kurbangaleeva, A.Yu. Abdullina

The Ufa state oil technical university "branch in Sterlitamak"
453118, Sterlitamak, Oktyabrya Ave., 2

Process of regeneration of ammonia of solution of chloride ammonium with use of not extinguished lime is investigated. Laboratory researches for the purpose of the comparative analysis of use of limy milk and not extinguished lime are carried out. For experiences used model NH₄Cl solution with concentration of 162.5 g/l with addition of chloride of sodium, sulfate of sodium which was correlated to technological solution of production of the calcinated soda.

Studying of kinetics of interaction of chloride of ammonium and not extinguished lime was carried out with the set content of oxide of calcium. For this purpose quickly poured in the prepared model solution of chloride of ammonium and every 60 seconds made selection of test of transparent part of the formed suspension. In the fulfilled tests determined free ammonia by method of neutralization and by amount of ammonia judged extent of passing of reaction. Similarly made experiments with use of limy milk.

By results of laboratory researches it was shown that ammonium chloride decomposition under identical conditions happens to use of limy milk and not extinguished lime practically for an identical period.

It is shown that process of regeneration of ammonia can be organized, passing an intermediate stage of preparation of limy milk, by loading of solid not extinguished lime directly in the mixer. Selection of the necessary equipment for the organization of process of regeneration of ammonia of chloride ammonium with use of not extinguished lime is made.

Comparison of material and thermal balances with use of limy milk and lime is made. It was shown that for receiving identical amount of ammonia when using limy milk it is spent in 0.78 times more of products of reaction and thus heat is spent for 270.5 Gcal/t soda more, than when using not extinguished lime.

Thus, use of not extinguished lime allows to reduce an expense of heat and allows to simplify the technological scheme of production of the calcinated soda on an ammoniac way.

Key words: ammonia, lime, limy milk, regeneration, batcher.

УДК 539.193/194

МИКРОВОЛНОВЫЙ СПЕКТР И КОНФОРМАЦИЯ 2-МЕТИЛ-1.3-ДИОКСОЛАНА

© М.Г. Файзуллин, Р.В. Галеев, А.Х. Мамлеев

Выполнен анализ микроволнового спектра 2-метил-1.3-диоксолана в диапазоне частот 17–39 ГГц. По 66 измеренным частотам идентифицированных вращательных переходов *a*- и *c*-типов с $J \leq 40$ определены спектроскопические параметры молекулы в основном колебательном состоянии: вращательные постоянные (МГц) $A = 7039.9171(25)$, $B = 3423.9955(11)$, $C = 2531.65581(89)$, квартичные константы центробежного искажения (кГц) $\Delta_J = 0.3910(12)$, $\Delta_{JK} = 0.2932(95)$, $\Delta_K = 2.1553(68)$, $\delta_J = 0.04265(84)$, $\delta_K = 0.819(14)$, компоненты дипольного момента (Д): $\mu_a = 1.055(2)$, $\mu_c = 0.624(8)$ и полный дипольный момент $\mu = 1.226(4)$, компонента μ_b принята равной нулю в силу симметрии. Установлено, что наиболее стабильным является согнутый конформер E_2 , в котором атомы O(1), O(3), C(4) и C(5) лежат в плоскости цикла, а атом C(2) выходит из этой плоскости. Метильная группа, прикрепленная к атому C(2), находится по отношению к плоскости цикла в экваториальном положении. Переходы, обусловленные другими конформерами молекулы, в микроволновом спектре не обнаружены.

Ключевые слова: 2-метил-1.3-диоксолан, микроволновый спектр, стабильная конформация.

2-Метил-1.3-диоксолан (2MDOX) относится к классу насыщенных пятичленных гетероциклов. Для данного класса соединений характерно наличие низкочастотного колебательного движения большой амплитуды – псевдовращение, в процессе которого молекула последовательно проходит через ряд согнутых и скрученных конформаций. Псевдовращение является наиболее выгодным способом конформационной перестройки для различных пятичленных гетероциклов, многие из которых являются составными частями белков, стероидов, нуклеиновых кислот, лекарственных препаратов, определяют их строение и свойства. Так, например, псевдовращение в фуранозных кольцах, входящих в состав молекулы ДНК, вызывает переход последней из А-формы в В-форму [1]. В связи с этим весьма интересным представляется изучение возможных стабильных конформационных состояний различных гетероциклов. Для решения этой задачи успешно

применяется метод микроволновой спектроскопии [2–4]. Данный метод был использован в настоящей работе для определения возможных стабильных конформеров 2MDOX, который ранее был исследован методами ИК и КР спектроскопий [5] и методом электронографии [6].

Микроволновый спектр

Исследование микроволнового спектра 2MDOX проведено в диапазоне частот 17–39 ГГц при температуре поглощающей ячейки около -50°C . Давление паров вещества в ячейке поддерживалось в пределах $0,1 \div 1$ Па. Предварительный расчет вращательного спектра в приближении квазижесткого волчка выполнен по параметрам, полученным при оптимизации геометрии молекулы методом V3PW91/6-31G(d,p) (программа Firefly [7]) для двух возможных стабильных согнутых конформеров (рис. 1) с аксиальным и экваториальным расположением метильной груп-

ФАЙЗУЛЛИН Марат Гаязович – к.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: fayzullinmg@yandex.ru

ГАЛЕЕВ Рустэм Вильевич – к.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: gal_rust@mail.ru

МАМЛЕЕВ Айрат Хабибович – д.ф.-м.н., Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН, e-mail: mwsm@anrb.ru

Экспериментальные частоты f_3 вращательных переходов $J_2(K'_a, K'_c) \leftarrow J(K_a, K_c)$ и разности экспериментальных и вычисленных значений $f_3 - f_6$ (МГц)

$J'(K'_a, K'_c) \leftarrow J(K_a, K_c)$	f_3	$f_3 - f_6$	$J'(K'_a, K'_c) \leftarrow J(K_a, K_c)$	f_3	$f_3 - f_6$
2(2.0) ← 1(1.0)	23797.07	0.00	8(4.5) ← 8(3.5)	23821.97	-0.03
2(2.1) ← 1(1.1)	24543.68	-0.02	8(1.7) ← 8(1.8)	27077.29	-0.05
2(1.1) ← 1(0.1)	17311.94	0.06	10(3.8) ← 9(4.6)	29829.67	0.06
3(3.0) ← 2(2.0)	38131.32	0.02	10(4.6) ← 10(3.8)	33882.89	0.05
3(3.1) ← 2(2.1)	38261.87	-0.03	10(2.8) ← 10(2.9)	26462.40	0.00
3(2.2) ← 2(2.1)	17866.93	0.02	11(5.6) ← 10(6.4)	24079.37	0.01
3(1.2) ← 2(1.1)	19105.60	-0.02	11(5.7) ← 10(6.5)	23409.82	0.01
3(0.3) ← 2(0.2)	17308.09	0.00	11(2.10) ← 10(3.8)	29932.05	-0.04
4(3.2) ← 3(3.1)	24074.13	0.07	12(3.9) ← 11(5.6)	24809.37	0.01
4(3.1) ← 3(3.0)	24163.02	-0.08	12(5.8) ← 12(4.8)	27397.90	0.01
4(2.2) ← 3(2.1)	24977.80	-0.03	12(3.9) ← 12(3.10)	23767.58	0.01
4(2.3) ← 3(2.2)	23708.42	-0.01	13(6.7) ← 12(7.5)	28132.41	-0.12
4(1.3) ← 3(1.2)	25266.52	-0.04	13(6.8) ← 12(7.6)	27825.95	0.08
4(1.4) ← 3(1.3)	21786.26	-0.01	15(2.13) ← 14(4.10)	25300.89	0.02
4(0.4) ← 3(0.3)	22551.75	-0.06	15(4.11) ← 15(4.12)	25667.59	0.00
5(3.3) ← 4(3.2)	30140.89	0.04	18(5.13) ← 18(5.14)	26911.12	0.00
5(2.4) ← 5(0.5)	19971.25	0.01	20(3.17) ← 19(5.14)	27631.60	0.03
6(4.2) ← 5(4.1)	36260.17	-0.03	21(12.10) ← 20(13.8)	27244.59	0.01
6(4.3) ← 5(4.2)	36215.04	0.01	21(12.9) ← 20(13.7)	27244.59	-0.01
6(2.4) ← 5(2.3)	38209.23	0.01	21(7.15) ← 21(6.15)	25205.73	0.02
6(1.6) ← 5(1.5)	32235.91	0.03	21(6.15) ← 21(6.16)	27571.80	0.05
6(0.6) ← 5(0.5)	32568.99	-0.04	24(8.17) ← 24(7.17)	30846.28	0.05
6(4.2) ← 6(3.4)	28258.14	0.04	24(7.17) ← 24(7.18)	27716.27	0.02
6(4.3) ← 6(3.3)	27057.73	-0.05	25(6.20) ← 24(8.17)	29932.78	-0.04
6(3.4) ← 6(1.5)	27081.09	-0.04	25(8.18) ← 25(7.18)	24593.78	-0.01
7(1.7) ← 6(1.6)	37373.64	0.02	26(8.19) ← 25(10.16)	26766.47	0.03
7(0.7) ← 6(0.6)	37555.78	-0.03	27(8.19) ← 27(8.20)	27409.22	0.02
7(4.4) ← 7(3.4)	25782.52	-0.06	33(10.23) ← 33(10.24)	25698.12	-0.15
7(4.3) ← 7(3.5)	28590.84	0.03	35(11.25) ← 35(10.25)	34218.08	-0.11
7(3.4) ← 7(2.6)	26717.60	0.12	36(11.25) ← 36(11.26)	24423.68	0.03
7(3.5) ← 7(1.6)	27102.46	-0.02	36(11.26) ← 36(10.26)	26423.60	0.09
7(2.6) ← 7(0.7)	25540.68	0.01	37(11.26) ← 37(11.27)	33377.35	0.05
8(1.7) ← 7(2.5)	32935.30	0.03	40(12.29) ← 40(11.29)	23970.47	0.01

пы. В принятых в литературе обозначениях это будут соответственно конформеры 2E (рис. 1, а) и E_2 (рис. 1, б), где E (Envelope) обозначает согнутую конформацию, в которой четыре атома цикла лежат в одной плоскости, а пятый выходит из нее; цифра «2» в форме верхнего или нижнего индекса у буквы E говорит о том, что атом номер 2 цикла лежит, соответственно, выше либо ниже плоскости, образованной оставшимися четырьмя атомами цикла.

В микроволновом спектре молекулы наблюдались переходы μ_a - и μ_c -типов, близкие к предсказанным для экваториального конформера. Для идентификации спектра нами использовался метод штарковской модуляции и метод радиочастотного микроволнового двойного резонанса. Был идентифицирован набор вращательных переходов разных типов с $J \leq 40$ (табл. 1), достаточный для прецизионного определения спектроскопических параметров молекулы, значения которых вместе с данными квантово-химических расчетов приведены в табл. 2.

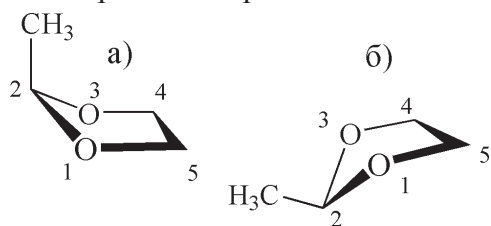


Рис. 1. Аксиальный 2E (а) и экваториальный E_2 (б) согнутые конформеры 2MDOX

Спектроскопические параметры молекулы определялись на основе гамильтониана

Уотсона (Watson) в представлении вытянутого волчка I' , A-редукции:

$$H_R = AP_Z^2 + BP_X^2 + CP_Y^2 - \Delta_J P^4 - \Delta_{JK} P^2 P_Z^2 - \Delta_K P_Z^4 - 2\delta_J P^2 (P_X^2 - P_Y^2) - \delta_K [P_Z^2 (P_X^2 - P_Y^2) + (P_X^2 - P_Y^2) P_Z^2],$$

где A, B, C – вращательные постоянные, $\Delta_J, \Delta_{JK}, \Delta_K, \delta_J, \delta_K$ – квартичные константы центробежного искажения, P_i ($i = X, Y, Z$) – оператор i -й компоненты углового момента, P – оператор полного углового момента. Из сравнения экспериментальных и расчетных параметров (табл. 2) можно сделать однозначный вывод, совпадающий с выводом работы [6], что наиболее стабильным является согнутый конформер с экваториальным расположением

Экспериментальные и квантовохимические [B3PW91/6-31G(d,p)]
спектроскопические параметры 2MDOX

Параметр	Эксперимент	Экваториал	Аксиал
A , МГц	7039.9171(25)*	7070.24	5691.55
B , МГц	3423.9955(11)	3433.63	3804.56
C , МГц	2531.65581(89)	2527.67	2992.53
Δ_J , кГц	0.3910(12)	0.2952	1.2856
Δ_{JK} , кГц	0.2932(95)	0.8646	-1.9760
Δ_K , кГц	2.1553(68)	1.0534	4.1021
δ_J , кГц	0.04265(84)	0.06816	-0.01157
δ_K , кГц	0.819(14)	0.675	1.010
μ_a , Д	1.055(2)	1.07	0.54
μ_c , Д	0.624(8)	0.60	1.34
μ , Д	1.226(4)	1.22	1.46
N^{**}	66	-	-
σ^{***} (МГц)	0.049	-	-

Примечания: * в скобках приведены стандартные отклонения в единицах последних значащих цифр; ** число измеренных частот переходов; *** среднеквадратичное отклонение частот.

Т а б л и ц а 3

Результаты измерения эффекта Штарка

Переход	V	M	Δf_s	$\delta \Delta f$	Переход	V	M	Δf_s	$\delta \Delta f$
$2_{2,1} \leftarrow 1_{1,1}$	100	1	-5.72	-0.15	$3_{0,3} \leftarrow 2_{0,2}$	580	2	7.61	-0.10
	120	1	-7.89	-0.15	$3_{2,2} \leftarrow 2_{2,1}$	600	0	3.46	0.03
$3_{1,2} \leftarrow 2_{1,1}$	500	1	-2.31	0.08	$4_{2,2} \leftarrow 3_{2,1}$	300	1	-3.49	0.02
	600	1	-3.36	0.09		190	2	-5.94	-0.14
	400	2	-5.35	0.09	$4_{2,3} \leftarrow 3_{2,2}$	310	1	4.10	-0.05
	470	2	-7.35	0.16		160	2	4.36	0.09

метильной группы (E_2). Аксиальную форму молекулы в спектре обнаружить не удалось.

Дипольный момент

Для определения электрического дипольного момента молекулы измерены сдвиги Δf_s (в МГц) штарковских компонент M шести вращательных переходов при разных напряжениях V (в вольтах) генератора Штарка (табл. 3). Величина $\delta \Delta f_s$ (МГц) показывает разницу между наблюдаемым и вычисленным значениями частоты компоненты. По экспериментальным значениям сдвигов штарковских компонент методом наименьших квадратов определены компоненты дипольного момента относительно главных осей инерции молекулы. В табл. 2 приведены найденные значения для двух ненулевых компонент μ_a , μ_c и полный дипольный момент μ молекулы, ком-

понента μ_b принята равной нулю в силу симметрии. Стандартное отклонение подгонки при вычислении компонент дипольного момента составило величину 0.11 МГц.

Заключение

Расшифрован вращательный спектр 2MDOX в основном колебательном состоянии. Определены параметры молекулы: вращательные постоянные, квартичные константы центробежного искажения, компоненты дипольного момента: μ_a , μ_c и полный дипольный момент μ . Сравнение полученных данных с квантовохимическими расчетами методом B3PW91/6-31G(d,p) свидетельствует о том, что наиболее стабильным для молекулы является согнутый конформер с экваториальным расположением метильной группы. Другие конформеры в спектре не обнаружить не удалось.

Литература

1. Banfalvi G. Structural organization of DNA / G. Banfalvi // Banfalvi G. Apoptotic Chromatin Changes. Springer, 2009. Chapter 2. P. 31–123.
2. Guirgis G.A., Klaassen J.J., Pate B.H. et al. Microwave, infrared, and Raman spectra, structural parameters, vibrational assignments and theoretical calculations of 1,3-disilacyclopentane // J. Mol. Struct. 2013. V. 1049. P. 400–408.
3. Pate B.H., Seifert N.A., Guirgis G.A. et al. Microwave, infrared, and Raman spectra, structural parameters, vibrational assignments and theoretical calculations of 1,1,3,3-tetrafluoro-1,3-disiacyclopentane // Chem. Phys. 2013. V. 416. P. 33–42.
4. Durig J.R., Klaassen J.J., Sawant D.K. et al. Microwave, structural, conformational, vibrational studies and ab initio calculations of isocyanocyclopentane // Spectrochimica Acta Part A. 2015. V. 136. P. 3–15.
5. Durig J.R., Kizer K.L., Karriker J.M. Spectra and structure of small ring compounds. XXVI. 2-methyl-1,3-dioxolane; 2-methyl-1,3-dioxolane-d₄; 2methyltetrahydrofuran; and methylcyclopentane // J. Raman Spectrosc. 1973. 1, № 1. P. 17–45.
6. Shen Q., Mathers T.L., Raeker T., Hilderbrandt R.L. Electron Diffraction Investigation of Pseudorotation in 1,3-Dioxolanes // J. Am. Chem. Soc. 1986. 108. P. 6888–6893.
7. Alex A. Granovsky, Firefly version 8. URL: [www http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html](http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html).



MICROWAVE SPECTRUM AND CONFORMATION OF 2-METHYL-1,3-DIOXOLANE

© M.G. Fayzullin, R.V. Galeev, A.Kh. Mamleev

Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa Scientific Centre, RAS
151, prospect Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

The microwave spectrum of 2-methyl-1,3-dioxolane has been recorded in the range 17–39 GHz. In the spectrum 66 ground vibrational state rotational transitions of *a*- and *c*-type with $J \leq 40$ have been assigned. From these assignments the spectroscopical parameters of ground state were determined: rotational constants (MHz) $A = 7039.9171(25)$, $B = 3423.9955(11)$, $C = 2531.65581(89)$, quartic centrifugal distortion constants (kHz) $\Delta_J = 0.3910(12)$, $\Delta_{JK} = 0.2932(95)$, $\Delta_K = 2.1553(68)$, $\delta_J = 0.04265(84)$, $\delta_K = 0.819(14)$, dipole moment components (D) $\mu_a = 1.055(2)$, $\mu_c = 0.624(8)$ and complete dipole moment $\mu = 1.226(4)$, the μ_b component was accepted equal to zero owing to a symmetry. It was established that the most stable conformer of the molecule is *envelope* E₂, where atoms O(1), O(3), C(4) and C(5) lies in the cycle plane, and the atom C(2) is out of this plane. The methyl group attached to atom C(2) is in equatorial position. Transitions due to another conformers of 2-methyl-1,3-dioxolane are not found in the microwave spectrum.

Key words: 2-methyl-1,3-dioxolane, microwave spectrum, stable conformation.

УДК 579.25

***Bacillus simplex* CM53F – НОВЫЙ ШТАММ-ДЕСТРУКТОР
ХЛОРФЕНОКСИКИСЛОТ**© В.В. Коробов, Н.В. Жарикова, Е.Ю. Журенко, Т.Р. Ясаков,
А.И. Сагитова., А.Г. Гаврильченко, Т.В. Маркушева

Изучены свойства оригинального штамма-деструктора хлорфеноксикислот *Bacillus simplex* CM53F, выделенного из почвенных популяций микроорганизмов, имеющих длительную историю воздействия производственных факторов нефтехимического производства г. Салавата Республики Башкортостан. Видовую принадлежность штамма определяли по результатам исследования основных морфологических и физиолого-биохимических признаков, а также изучения его филогенетического положения согласно особенностям строения последовательности гена 16S рРНК. Исследование динамики роста *B. simplex* CM53F проведено в условиях модельной системы с использованием трех хлорфеноксикислот: 4-хлорфеноксиуксусной (4-ХФУК), 2,4-дихлорфеноксиуксусной (2,4-Д) и 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной (2,4,5-Т), введенных в среду культивирования в качестве единственного источника углерода и энергии. Показано, что *B. simplex* CM53F активно накапливает биомассу на всех трех субстратах. Для штаммов *B. simplex* ранее не была установлена возможность использования хлорфеноксиуксусных кислот, в том числе 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т в качестве источников углерода и энергии. Новый штамм-деструктор *B. simplex* CM53F может быть использован в разработках технологий ремедиации окружающей среды в техносфере.

Ключевые слова: *Bacillus*, бактерия, хлорфеноксиуксусная кислота, ассимиляция.

Введение. К настоящему времени сформировано представление о том, что широко распространенные в биосфере представители рода *Bacillus* могут занимать лидирующее положение в различных экотопах. Вместе с тем во многом остается неизученной роль представителей данной таксономической группы в процессах ассимиляции синтетических производных, и, в частности, арилкарбоновых кислот, имеющих в ароматическом ядре кроме карбоксильной группы хлор. В ряде исследований было продемонстрировано, что молекулы ксенобиотиков данного ряда, устойчивые к абиотическому разложению, проявляя свой негативный эффект в промышленных экото-

пах, нарушают естественный ход реакций обмена веществ и энергии почвенной биоты, а также подавляют ее видовое богатство.

Отсутствие понимания особенностей жизнедеятельности бацилл в техносфере во многом оставляет открытым вопрос о возможности применения представителей этого бактериального таксона в микробной деградации ксенобиотиков.

Цель настоящей работы – выявить свойства нового природного штамма – деструктора хлорфеноксикислот рода *Bacillus*.

Материалы и методы. Объектом исследований являлась бактериальная культура,

КОРОБОВ Владислав Викторович – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
ЖАРИКОВА Наталья Владимировна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
ЖУРЕНКО Евгения Юрьевна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
ЯСАКОВ Тимур Рамилевич – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: yasakov@anrb.ru
САГИТОВА Алина Иршатовна, Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
ГАВРИЛЬЧЕНКО Артур Григорьевич, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: tvmark@anrb.ru
МАРКУШЕВА Татьяна Вячеславовна – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru

изолированная из образцов почв и грунтов предприятий нефтехимического комплекса г. Салавата Республики Башкортостан.

Выделение чистой культуры проводили по методу Р. Коха с модификациями [1].

Идентификацию изолята осуществляли по культурально-морфологическим и физиолого-биохимическим признакам согласно принципам руководства «Определитель бактерий Берджи» [2].

В ходе генетического типирования выделение ДНК-матриц из биомассы клеток бактерий проводили согласно методу [3]. Концентрация ДНК в полученных препаратах составляла 30–50 мкг/мл.

Для проведения полимеразной цепной реакции и дальнейшего секвенирования ПЦР-фрагментов гена 16S рРНК использовалась универсальная праймерная система [4]. Объем амплификационной смеси составлял 50 мкл и имел следующий состав: 1^х буфер ДНК полимеразы BioTaq (17 мМ (NH₄)₂SO₄, 67 мМ трис-НСl, рН 8.8, 2 мМ MgCl₂); по 12.5 нмоль каждого из dNTP, 50 нг ДНК-матрицы; по 5 пмоль соответствующих праймеров и 3 ед. ДНК полимеразы BioTaq (Диалат ЛТД, Россия). Температурно-временной профиль ПЦР был следующим: первый цикл – 94°С × 9 мин, 55°С × 1 мин, 72°С × 2 мин; последующие 30 циклов – 94°С × 1 мин, 55°С × 1 мин, 72°С × 2 мин; завершающий цикл – 72°С × 7 мин. Анализ продуктов ПЦР проводили при помощи электрофореза в 2% геле агарозы при напряженности электрического поля 6 В/см.

Секвенирование полученных ПЦР-фрагментов генов, кодирующих 16S рРНК, осуществляли с помощью набора реактивов Big Dye Terminator v.3.1 (Applied Biosystems, Inc., USA) на автоматическом секвенаторе ABI PRISM 3730 (Applied Biosystems, Inc., USA), согласно инструкциям производителя [5].

Первичный анализ сходства нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК изучаемых штаммов проводили с помощью программного пакета BLAST [6]. Для сравнения осуществляли поиск гомологов с помощью он-лайн ресурсов баз данных GenBank и RDP. Филогенетическое древо было построено с помощью программы MEGA4.

Динамику роста деструктора изучали в периодической культуре на синтетической питательной среде, включающей (г/л): NH₄Cl – 1, K₂HPO₄ – 5, MgSO₄·7H₂O – 0.05, FeSO₄·7H₂O – 0.005, CuSO₄·5H₂O – 0.001, ZnSO₄ – 0.0008; рН среды 6.8–7.0. В качестве единственного источника углерода и энергии в среду вносили хлорфенокислоты до конечной концентрации 100 мг/л. Для измерения оптической плотности клеточной суспензии (OD₅₉₀) использовали метод нефелометрии при длине волны 590 нм. Раствором сравнения являлась стерильная синтетическая питательная среда. Все измерения проводились в трех повторах.

Результаты и обсуждение. В последнее время возможности целевого применения бактерий в качестве агентов биологического контроля за состоянием среды делают все более актуальным поиск и исследования микробных культур, способных сдерживать содержание поллютантов в составе промышленных биоценозов.

В настоящей работе изучены свойства оригинального штамма-деструктора хлорфеноксикилот *Bacillus simplex* CM53F, выделенного из почвенных популяций микроорганизмов, имеющих длительную историю воздействия производственных факторов нефтехимического производства.

Видовую принадлежность штамма определяли по результатам исследования основных морфологических и физиолого-биохимических признаков, а также изучения его филогенетического положения согласно особенности строения последовательности гена 16S рРНК.

Анализ морфологических признаков показал, что клетки культуры представляют собой прямые палочки размером 0.5–2.5 × 1.2–10 мкм в парах или цепочках, имеют положительную окраску по Граму. Для культуры был характерен аэробный рост при оптимуме рН среды 6.8 в диапазоне температур от 22 до 41°С. При росте на МПА наблюдались беловатые (кремовые) непрозрачные колонии.

Штамм не использовал в качестве источника углерода цитрат, пропионат, фенилаланин. При культивировании не наблюда-

лось образование кислоты из глюкозы, арабинозы, ксилозы, маннита. Бактерии осуществляли гидролиз желатины, проявляли невысокую активность в отношении крахмала и казеина. Культура обладала каталазной, лецитиназной активностью, осуществляла редукцию NO_3^- .

В соответствии с результатами анализа культурально-морфологических и физиолого-биохимических признаков штамм был отнесен к спорообразующим бациллам, а именно к филогенетической подгруппе *Bacillus simplex*.

В ходе сравнительного анализа последовательностей генов 16S рРНК было обнаружено, что штамм входит в филогенетический кластер, образованный штаммами вида *B. simplex*, включающим и типовой штамм этого вида (рис. 1). При построении филогенетического древа отмечено, что изучаемая последовательность гена 16S рРНК находилась в одном кластере не только с типовым представителем *Bacillus simplex* DSM 1321^T (AJ439078), но и с типовым видом *Bacillus muralis* LMG 20238^T (AJ316309). Уровень гомологии последовательности 16S рРНК исследуемого штамма и упомянутых выше видов рода *Bacillus* составил 99.7 и 99.6%, соответственно.

Полученные данные не позволили однозначно установить видовую принадлежность вновь выделенного штамма. В связи с этим было принято во внимание то, что дифференциацию бактерий *B. simplex* и *B. muralis* можно провести по культурально-морфологическим характеристикам, и, в частности, по окраске колоний. Согласно тому, что колонии исследуемого штамма обладают кремовой окраской, характерной для вида *Bacillus simplex*, в отличие от розовой, характерной для *Bacillus muralis*, штамм был отнесен к виду *B. simplex* [7]. Таким образом, на основании совокупности культурально-морфологических и генетических свойств

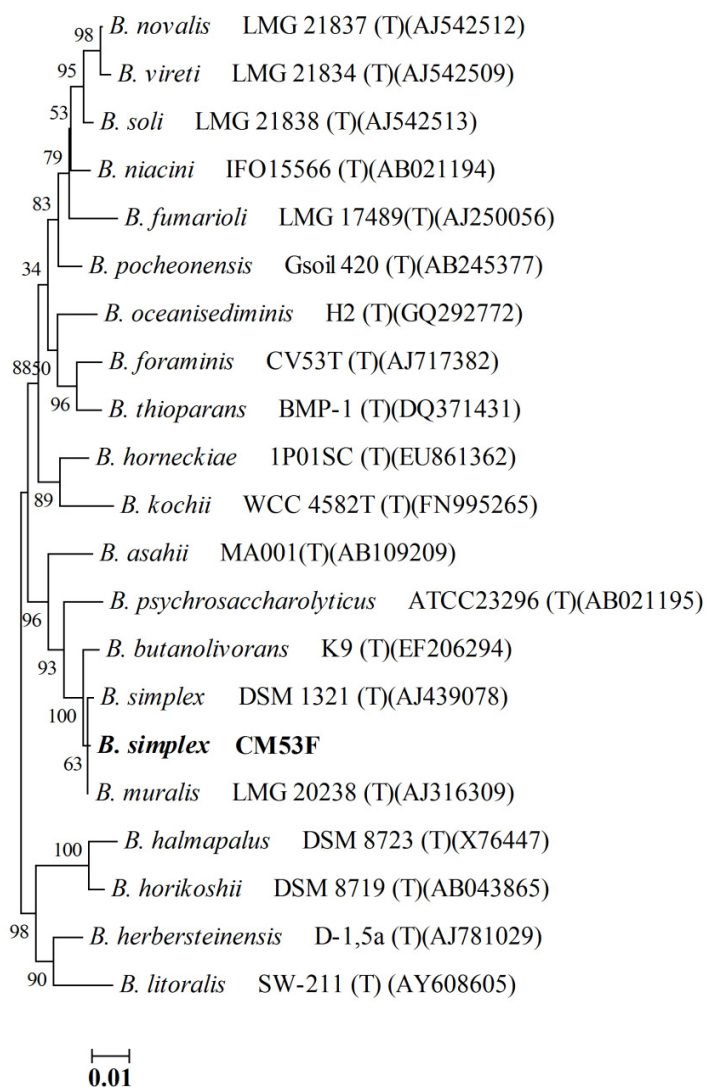


Рис. 1. Филогенетическое положение штамма *Bacillus simplex* CM53F согласно сравнительному анализу последовательности гена 16S рРНК. Масштаб показывает эволюционное расстояние, соответствующее 1 нуклеотидной замене на каждые 100 нуклеотидов. Цифрами показана статистическая достоверность порядка ветвления, определенная с помощью «bootstrap» – анализа (значениями признаются величины показателя «bootstrap» более 50)

штамм был идентифицирован как *Bacillus simplex*.

Исследование динамики роста штамма *B. simplex* CM53F проведено в условиях модельной системы с использованием трех хлорфеноксиуксусной (4-ХФУК), 2,4-дихлорфеноксиуксусной (2,4-Д) и 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной (2,4,5-Т), введенных в среду культивирования в качестве единственного источника углерода и энергии (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что максимальное накопление биомассы периодической культуры *B. simplex* CM53F на среде с 4-ХФУК наблюдалось на 5-е сутки инкубации, при этом показатель оптической плотности составил 0.33 ОЕ. При использовании 2,4-Д значение оптической плотности клеточной суспензии достигало максимального уровня ко 2-м суткам культивирования (0.52 ОЕ), впоследствии значение OD_{590} снижалось. В случае использования 2,4,5-Т в качестве единственного источника углерода и энергии оптическая плотность клеточной суспензии штамма *B. simplex* CM53F достигала максимального значения (0.62 ОЕ) ко 2-м суткам культивирования, после чего наблюдалось снижение показателя плотности.

Из приведенного видно, что *B. simplex* CM53F активно накапливает биомассу на всех трех субстратах. При этом характер роста биомассы на 2,4-Д и 2,4,5-Т является близким, за исключением лаг-фазы, наблюдаемой в течение первых часов инкубации на 2,4,5-Т.

Таким образом, в настоящем исследовании показано, что из популяции почвенных

микроорганизмов, подвергавшихся длительному воздействию факторов химического производства, выделен новый штамм *B. simplex* CM53F, способный ассимилировать молекулы хлорфеноксикислот, в том числе 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т.

Обсуждая полученные данные, следует отметить, что, согласно имеющимся публикациям, к группе бактерий, способных метаболизировать хлорфеноксиуксусные кислоты и хлорфенолы в техногенных экотопах Республики Башкортостан, относятся бактерии родов *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Gluconobacter*, *Serratia*, *Raoultella*, *Rodococcus* и некоторые другие [8]. Так, была обнаружена культура *Arthrobacter globiformis* 17S, способная ассимилировать 2,4-Д и 2,4,5-Т [9]. Из смешанных почвенных популяций были получены *Rhodococcus rubropertinctus* 5D, метаболизирующий 4-ХФУК и 2,4,5-Т [10], а также *Gluconobacter oxydans* IBRB-2Т и *Raoultella planticola* 33-4ch, использующие 2,4,5-Т в качестве единственного источника углерода и энергии [11, 12]. Кроме этого, описан штамм *Serratia marcescens* В-6493, способный ассимилировать 2,4-дихлорфенол [13].

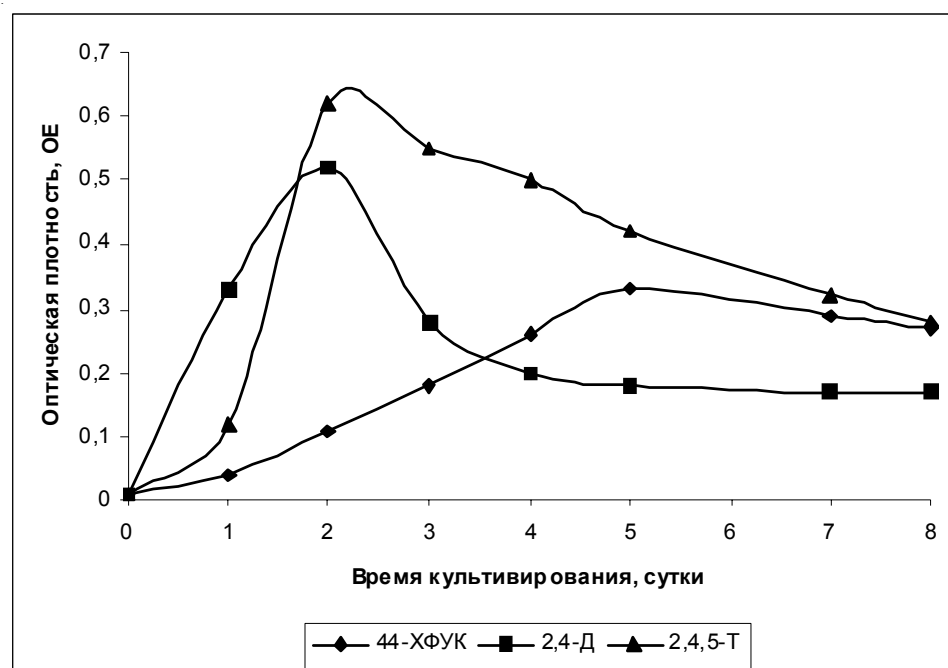


Рис. 2. Зависимость значений оптической плотности клеточной суспензии OD_{590} от времени инкубации штамма *B. simplex* CM53F в условиях использования 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т в качестве единственного источника углерода и энергии

Среди штаммов рода *Bacillus* описан штамм *B. cereus*, осуществляющий биологическую деградацию 2,4,5-Т [14], а также *B. subtilis* КСМ-RG₅, трансформирующий 2,4-Д в небольших концентрациях (менее 1%) [15]. Показана возможность применения штамма *B. subtilis* 16, который снижал количество 2,4-Д на 80% [16, 17]. Изучены другие изоляты бацилл, проявляющие устойчивость к 2,4-Д, но, по мнению авторов, не утилизирующие данный субстрат [18].

Принимая во внимание приведенные выше данные, следует отметить, что для штаммов *B. simplex* ранее не была установлена возможность использования хлорфеноксиуксусных кислот, в том числе 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т в качестве источников углерода и энергии.

В результате настоящего исследования был выделен новый штамм-деструктор 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т, принадлежащий к бациллярной линии протеобактерий, к роду *Bacillus* и виду *simplex*.

Новый штамм-деструктор *B. simplex* СМ53F может быть использован в разработках технологий ремедиации окружающей среды в техносфере.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Программы Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем».

Литература

1. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М., 1976. 307 с.
2. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. М., 2007. 800 с.
3. Булыгина Е.С., Кузнецов Б.Б., Марусина А.И., Кравченко И.К., Быкова С.А., Колганова Т.В., Гальченко В.Ф. Изучение нуклеотидных последовательностей *nifH* генов у представителей метанотрофных бактерий // Микробиология. 2002. Т. 71, № 4. С. 500–508.
4. Lane D. J. 16S/23S sequencing // Nucleic acid techniques in bacterial systematics / Stackebrandt E. Goodfellow M. (Eds.). Chichester: John Wiley & Sons. Ltd, 1991. P. 115–175.
5. Sanger F., Nicklen S., Coulson A.R. DNA sequencing with chain-terminating inhibitors // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1977. V. 84. P. 5463–5467.

6. Camacho C., Coulouris G., Avagyan V., Ma N., Papadopoulos J., Bealer K., Madden T.L. BLAST+: architecture and applications // BMC Bioinformatics. 2009. V. 10. P. 421–431.

7. Heyrman J., Logan N., Rodriguez-Diaz M., Scheldeman P., Lebbe L., Swings J., Heyndrickx M., De Vos P. Study of mural painting isolates, leading to the transfer of '*Bacillus maroccanus*' and '*Bacillus carotarum*' to *Bacillus simplex*, emended description of *Bacillus simplex*, re-examination of the strains previously attributed to '*Bacillus macroides*' and description of *Bacillus muralis* sp. nov. // International J. of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2005. V. 55. P. 119–131.

8. Маркушева Т.В., Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., Коробов В.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г. Штаммы-деструкторы хлорфеноксиуксусных кислот гамма – подкласса протеобактерий // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т.13, № 5(2). С. 194–195.

9. Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Маркушева Т.В. Ремедиация среды от хлорароматических гербицидов культурой *Arthrobacter globiformis* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2013. № 2 (40). С. 218–219.

10. Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю., Коробов В.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В., Абрамов С.Н. Выделение и анализ биодеградационного потенциала нового природного штамма-деструктора хлорфеноксиуксусных кислот рода *Rhodococcus* // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 5(2). С. 169–171.

11. Zhurenko E.Yu., Markusheva T.V., Galkin E.G., Korobov V.V., Zharikova N.V., Gafiyatova L.R. *Gluconobacter oxydans* IBRB-2T degrades 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid // Biotechnology in Russia. 2003. № 6. P. 75–80.

12. Жарикова Н.В., Маркушева Т.В., Галкин Е.Г., Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Ситдикова Л.Р., Колганова Т.В., Кузнецов Б.Б., Турова Т.П. *Raoutella planticola* – новый штамм-деструктор 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислоты // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42, № 3. С. 292–297.

13. Коробов В.В., Маркушева Т.В., Кусова И.В., Журенко Е.Ю., Галкин Е.Г., Жарикова Н.В., Гафиятова Л.Р. Штамм бактерий *Serratia marcescens* В-6493 – деструктор фенола и 2,4-дихлорфенола // Биотехнология. 2006. № 2. С. 63–65.

14. Маркушева Т.В., Журенко Е.Ю., Кусова И.В., Чураев Р.Н. Штамм бактерий *Bacillus cereus*, осуществляющий биологическую деградацию 2,4,5-Т: пат. 2129605. Рос. Федерация. Оpubл. 24.04.1999. Бюл. № 12.

15. Satchanska G., Topalova Y., Ivanov I., Golovinsky E. Xenobiotic biotransformation potential of *Pseudomonas rhodesiae* КСМ-R₅ and *Bacillus*

subtilis КСМ-RG5, tolerant to heavy metals and phenol derivatives // *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2006. V. 20. P. 97–102.

16. Федорова А.А., Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Особенности ассимиляции 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты *Bacillus subtilis* 16 // *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2011. № 4/1 (38). С. 182–183.

17. Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю., Коробов В.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркуше-

ва Т.В. Биоразнообразии бактерий-деструкторов хлорированных феноксикислот // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2009. № 6. С. 121–123.

18. Prabha J., Gowrisankar R., Palaniappan R., Ramesh S. Tolerance and utilization pattern of paddy field bacterial isolates to combination herbicide formulation -2, 4-D and anilofos (oneshot) // *Asian J. of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. 2004. V. 6. P. 127–131.

THE NEW CHLOROPHENOXYACETIC ACIDS-DEGRADING BACTERIUM *Bacillus simplex* CM53F

V.V. Korobov¹, N.V. Zharikova¹, E.Yu. Zhurenko¹, T.R. Yasakov¹,
A.I. Sagitova¹, A.G. Gavrilchenko², T.V. Markusheva¹

¹Ufa Institute of Biology, RAS,
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

²M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University,
3a, st. October Revolution, 450000, Ufa, Russian Federation

New bacterial strain *Bacillus simplex* CM53F capable of degrading chlorophenoxyacetic acids isolated from soil microbial population of Salavat petrochemical manufacture of the Republic of Bashkortostan were investigated. Identification of the strain was performed by the combination cultural, morphological, physiological, biochemical and molecular criteria (16S rRNA sequencing). The *B. simplex* CM53F batch culture growth on chlorophenoxyacetic acids (4-chlorophenoxyacetic acid (4-CPA), 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5-T) as sole source of carbon and energy was done in model systems. *B. simplex* SM53F biomass accumulation of for all three substrates were shown. Degradation of the chlorophenoxyacetic acids (4-CPA, 2,4-D and 2,4,5-T) among *B. simplex* has not been described previously. The new bacterial degrader *B. simplex* SM53F can be used for innovative environmental remediation technologies.

Key words: bacteria, *Bacillus*, chlorophenoxyacetic acid.

УДК 579.25

**НОВЫЙ ШТАММ-ДЕСТРУКТОР ФЕНОЛА И ХЛОРФЕНОКСИУКСУСНЫХ
КИСЛОТ *Gordonia alkanivorans* 51D****© Н.В. Жарикова, Е.Ю. Журенко, Т.Р. Ясаков, В.В. Коробов, А.И. Сагитова,
С.Н. Стариков, А.А. Стамбулиди, Э.А. Гимранов, Т.В. Маркушева**

Из образцов техногенных почв Северного промузла Республики Башкортостан выделен новый штамм *Gordonia alkanivorans* 51D – деструктор фенола и хлорфеноксиуксусных кислот. Идентификация культуры проведена по совокупности культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств, а также согласно результатам сравнительного анализа последовательности гена, кодирующего 16S рРНК. Для построения филогенетического древа была секвенирована практически полная последовательность (1420 нуклеотидов) гена 16S рРНК изучаемого изолята. Сравнительный анализ рибосомальных генов проведен с применением ресурсов проекта Ribosomal Database Project (RDP) в формате базы данных GenBank. Уровень сходства последовательностей генов 16S рРНК *G. alkanivorans* 51D и типовых представителей *G. alkanivorans* (Y18054) и *G. westfalica strain Kb1/Kb2* (AJ312907) составил 99.9 и 99.7% соответственно. По существующим в настоящее время представлениям, обнаруженный уровень сходства генов 16S рРНК позволил отнести изучаемый штамм к *Bacteria; Actinobacteria; Corynebacteriales; Gordoniaceae; Gordonia; alkanivorans*. Штамм *G. alkanivorans* 51D может быть применен в области разработки методов ремедиации среды от фенола и пестицидов, созданных на основе хлорфеноксиуксусных кислот.

Ключевые слова: фенол, 4-хлорфеноксиуксусная кислота, 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота, 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота, *Gordonia*.

Введение. Возникновение проблем с хлорароматическими соединениями, обладающими способностью вызывать мутации и раковые заболевания у людей, отмечено с середины прошлого века. К настоящему моменту вред, наносимый хлорароматиками организму человека, неоспорим и является доказанным. В этом контексте сегодня определенное беспокойство вызывают риски от присутствия накопленных в окружающей среде фенолов и созданных на их основе хлорорганических производных, плохо растворимых в

водной среде и, как следствие, обладающих устойчивостью к естественному разложению. Существенной причиной такого беспокойства также являются «коктейли» загрязнителей, присутствующие в отходах и стоках современных химических производств.

Оценка перспектив утилизации техногенных смесей такого рода показывает, что наиболее эффективным является разработка и внедрение новых интенсивных биотехнологий, основанных на применении штаммов-деструкторов, обладающих полисубстратной активностью.

ЖАРИКОВА Наталья Владимировна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
ЖУРЕНКО Евгения Юрьевна – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
ЯСАКОВ Тимур Рамилевич – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: yasakov@anrb.ru
КОРОБОВ Владислав Викторович – к.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
САГИТОВА Алина Иршатовна, Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
СТАРИКОВ Сергей Николаевич, Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru
СТАМБУЛИДИ Анастасия Андреевна, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: tvmark@anrb.ru
ГИМРАНОВ Эдуард Рустемович, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, e-mail: tvmark@anrb.ru
МАРКУШЕВА Татьяна Вячеславовна – д.б.н., Уфимский институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru

К настоящему времени обнаружен ряд микроорганизмов родов *Bacillus*, *Raoutella* и *Serratia*, способных осуществлять разложение ароматических поллютантов [1–4]. Показана возможность их использования для микробиологической детоксикации хлорированных производных фенола [1, 3, 5, 6]. Однако количество предлагаемых практике деструкторов ограничено.

Цель исследований – выявить характеристики нового штамма-деструктора фенола и хлорфеноксиуксусных кислот (4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т) *Gordonia alkanivorans* 51D, а также определить возможности его практического применения.

Материалы и методы. Объектом исследований служил природный штамм *G. alkanivorans* 51D, выделенный из образцов почв, загрязненных отходами нефтехимических предприятий г. Уфы.

При выделении чистой культуры использовали метод Р. Коха [7]. Аликвоты (500 мкл) из последовательных разведений суспензии исследуемого почвенного образца высевали на мясопептонный агар (МПА). После инкубации чашек Петри 3–5 суток в термостате при температуре 28°C отдельные колонии засеивали в 3 мл синтетической среды, г/л: фенол, 4-ХФУК, 2,4-Д или 2,4,5-Т – 0.1; Na₂HPO₄ – 6.0; KH₂PO₄ – 3.0; NaCl – 0.5; NH₄Cl – 1.0; микроэлементы по Федорову М.В.; pH 6.8–7.0. Визуальную оценку роста культуры проводили через сутки инкубации при 28°C.

Посевной материал получали инокуляцией бактерий в разбавленный мясопептонный бульон (1МПБ:5H₂O) с последующей инкубацией в термостате при температуре 28°C. Полученный материал засеивали в количестве 0.01% от объема в жидкую питательную среду следующего состава, г/л: NH₄Cl – 1; K₂HPO₄ – 5; MgSO₄·7H₂O – 0.05; FeSO₄·7H₂O – 0.005; CuSO₄·5H₂O – 0,001; ZnSO₄ – 0.0008; фенол, 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т – 0.1; pH 6.8–7.0. Культивирование бактерий проводили в термостатированных установках УВМТ-12-250 при 115–120 об/мин. Наличие или отсутствие

роста отмечали визуально по помутнению среды при накоплении биомассы клеток.

Идентификацию штамма проводили по совокупности физиолого-биохимических и культурально-морфологических свойств [8], а также по результатам сравнительного анализа последовательности гена 16S рРНК.

Для выделения ДНК применяли методику, основанную на модифицированном методе щелочного выделения ДНК Бирнбойма – Доли и Wizard-технологии фирмы Promega (США). При проведении полимеразной цепной реакции гена 16S рРНК с целью получения полноразмерной копии гена 16S рРНК была использована универсальная система с праймерами следующего состава: 8f – aga gtt tga tcc tgg ctc ag; 1492r – ggt tac cct tgt tac gac tt.

Аmplификацию нуклеиновых кислот проводили при следующих режимах: 95°C – 3 мин 35 циклов, 95°C – 30 с, 57°C – 30 с, 72°C – 1 мин 30 с, 72°C – 5 мин. Продукты ПЦР анализировали методом электрофореза в 1.0% агарозном геле при напряженности электрического поля 5 В/см.

Секвенирование ДНК-амплификатов проводили на автоматическом секвенаторе АЕ3000. Для сравнительного анализа последовательностей генов 16S рРНК использовались ресурсы проекта Ribosomal Database Project (RDP) и базы данных GenBank. Бескорневые деревья строились с использованием метода Neighbor-Joining в программе MEGA4. Показатель «bootstrap»-анализа соответствовал не менее чем 1000 альтернативным деревьям. Расчет эволюционных расстояний проводился с помощью метода Maximum Composite Likelihood.

Результаты и обсуждение. Изучение морфологических признаков исследуемого штамма показало, что на агаризированной питательной среде бактерии формировали пигментированные колонии пастообразной консистенции, обладающие оранжево-красной окраской.

Клетки имели положительную окраску по Граму. Для штамма был характерен аэроб-

ный рост с оптимумом pH среды 6,8, в диапазоне температур от 22 до 41°C. Культура использовала в качестве источника углерода сорбит (с образованием кислоты и газа), галактозу, а также арабинозу и не метаболизировала инозит и рамнозу.

Для определения видового положения штамма была определена практически полная последовательность (1420 нуклеотидов) гена, кодирующего 16S рРНК. По данным сравнительного анализа полученных амплификатов с аналогичными последовательностями генов 16S рРНК, помещенными в базу данных GenBank, было построено филогенетическое дерево (рис.).

Из рис. следует, что филогенетически наиболее близкими к выделенному штамму среди описанных ранее были бактерии видов *Gordonia alkanivorans* и *Gordonia westfalica*. Уровень сходства последовательностей гена 16S рРНК исследуемого изолята со штаммами *G. alkanivorans* (AB065369) и *G. westfalica* strain Kb2 (NR_025468) составлял 100 и 99,7% соответственно. Уровень сходства последовательностей гена 16S рРНК изучаемого штамма и типовых представителей *G. alkanivorans* (Y18054) и *G. westfalica* strain Kb1/Kb2 (AJ312907) составил 99,9 и 99,7% соответственно. По существующим в настоящее время представлениям, обнаруженный

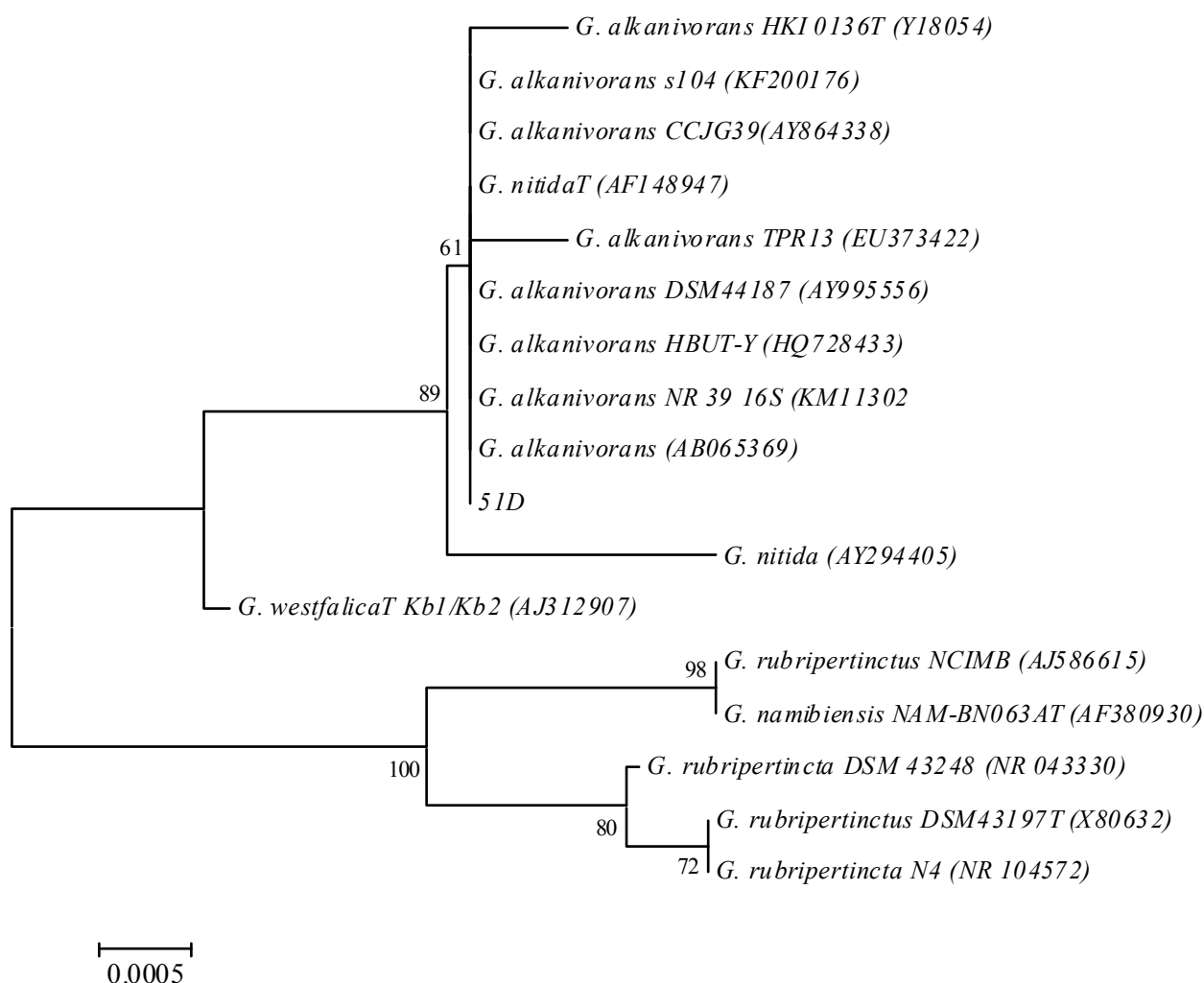


Рис. Филогенетическое положение изучаемого штамма согласно сравнительному анализу последовательности гена 16S рРНК. Масштаб указывает на эволюционное расстояние, соответствующее 1 нуклеотидной замене на каждые 100 нуклеотидов. Цифрами показана статистическая достоверность порядка ветвления 1000 альтернативных деревьев, определенная с помощью «bootstrap»-анализа (значимыми признаются величины показателя «bootstrap» более 50)

уровень сходства последовательностей генов 16S рРНК позволил отнести изучаемый штамм к *Bacteria*; *Actinobacteria*; *Corynebacteriales*; *Gordoniaceae*; *Gordonia*, *Gordonia alkanivorans*.

В ходе работы была проведена оценка роста периодической культуры *G. alkanivorans* 51 D в условиях использования фенола и хлорфеноксикикислот, в том числе 4-ХФУК, 2,4-Д и 2,4,5-Т в качестве источников углерода и энергии. Показано, что штамм *G. alkanivorans* 51D способен ассимилировать фенол и феноксикикислоты.

Следует отметить, что ранее в ряде работ было установлено, что бактерии рода *Gordonia* разлагают различные ксенобиотики, негативно влияющие на состояние окружающей среды. Некоторые виды *Gordonia* утилизируют алифатические и ароматические углеводороды, бензотиофен, нитрил, полиизопрен, ксилол и др. [9]. Кроме этого, гординии способны разлагать сложные эфиры. Так, *Gordonia* sp. штамм МТСС 4818 метаболизирует сложные эфиры фталевой кислоты, имеющие высокое сродство к рецептору эстрогена [10]. При этом результаты изучения конверсии ксенобиотиков данной группы дают возможность создания на основе бактерий высокотехнологичных биофильтров. Ряд авторов приводили данные о способности некоторых представителей рода *Gordonia* к биодесульфатации угля и сырой нефти [11, 12]. Из пробы грунта, отобранной на территории МНПЗ (Капотня, г. Москва), были изолированы 3 термотолерантных штамма *G. amicalis* 1D, *Gordonia* sp. 1B и 1G, которые окисляли нефть, а также индивидуальные углеводороды (ПАУ, линейные алканы) [13].

Из приведенного выше следует, что до настоящего исследования для штаммов рода *Gordonia* не была установлена способность бактерий этой таксономической группы к ассимиляции фенола и хлорированных феноксикикислот.

Таким образом, представленные данные позволяют отнести вновь выделенный штамм 51 D к виду *Gordonia alkanivorans*.

Штамм *G. alkanivorans* 51 D является деструктором фенола и хлорфеноксикикислот, что

позволяет рекомендовать его для применения в области разработки методов ремедиации среды от фенола и хлорфеноксикикислот.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Программы Президиума РАН «Биоразнообразии природных систем».

Литература

1. Федорова А.А., Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Особенности ассимиляции 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты *Bacillus subtilis* 16 // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2011. № 4/1 (38). С. 182–183.
2. Жарикова Н.В., Маркушева Т.В., Галкин Е.Г., Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Ситдикова Л.Р., Колганова Т.В., Кузнецов Б.Б., Турова Т.П. *Raoutella planticola* – новый штамм-деструктор 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислоты // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42, № 3. С. 292–297.
3. Коробов В.В., Маркушева Т.В., Кусова И.В., Журенко Е.Ю., Галкин Е.Г., Жарикова Н.В., Гафиятова Л.Р. Штамм бактерий *Serratia marcescens* В-6493 – деструктор фенола и 2,4-дихлорфенола // Биотехнология. 2006. № 2. С. 63–65.
4. Журенко Е.Ю., Коробов В.В., Жарикова Н.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Особенности структуры микробиоты техногенной экосистемы Северного промузла РБ: бактерии-деструкторы фенола и 2,4-дихлорфенола // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т.13, № 5(2). С. 172–174.
5. Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Маркушева Т.В. Ремедиация среды от хлорароматических гербицидов культурой *Arthrobacter globiformis* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (40). С. 218–219.
6. Маркушева Т.В., Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., Коробов В.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г. Штаммы-деструкторы хлорфеноксикикислот гамма – подкласса протеобактерий // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т.13, № 5(2). С. 194–195.
7. Практикум по микробиологии. М.: Академия, 2005. 608 с.
8. Определитель бактерий Берджи. В 2 т. М: Мир, 1997. 799 с.
9. Arenskötter M., Bröker D., Steinbuchel A. Biology of the Metabolically Diverse Genus *Gordonia* // Applied and Environmental Microbiology. 2004. V. 70, N 6. P. 3195–3204.

10. Chatterjee S., T. K. Dutta. Metabolism of butyl benzyl phthalate by *Gordonia* sp. strain MTCC 4818 // Biochem. Biophys. Res. Commun. 2003. N 9. P. 36–43.
11. Abbad-Andaloussi S., Warzywoda M., Monot F. Microbial desulfurization of diesel oils by selected bacterial strains // Oil Gas Sci. Technol. 2003. N 58. P. 505–513.
12. Kim S.B., Brown R., Oldfield C., Gilbert S.C. and Goodfellow M. *Gordonia desulfuricans* sp. nov., a benzothiophene-desulfurizing actinomycete // Int. J. Syst. Bacteriol. 1999. N 49. P. 1845–1851.
13. Делеган Я.А., Филонов А.Е. Физиологическая и таксономическая характеристика термотолерантных нефтеокисляющих бактерий рода *Gordonia*, выделенных из пробы грунта с территории московского нефтеперерабатывающего завода (Капотня, г. Москва) // Интер-медикал. 2014. № 4. С. 45–48.



THE NEW PHENOL AND CHLOROPHENOXYACETIC ACIDS-DEGRADING BACTERIUM *Gordonia alkanivorans* 51D

N.V. Zharikova¹, E.I. Zhurenko¹, T.R. Iasakov¹, V.V. Korobov¹, A.I. Sagitova¹, S.N. Starikov¹, A.A. Stambulidi², E.R. Gimranov², T.V. Markusheva¹

¹Ufa Institute of Biology, RAS,

69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

²M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University,

3a, st. October Revolution, 450000, Ufa, Russian Federation

A phenol and chlorophenoxyacetic acids-degrading strain *Gordonia alkanivorans* 51D was isolated from contaminated soil samples. The culture was identified according to cultural, morphological, physiological, biochemical features and comparative analysis of 16S rRNA gene. The 16S rRNA gene (1420 bp) of *Gordonia alkanivorans* 51D was sequenced and used to phylogenetic tree construction. Comparative analysis of ribosomal genes was performed on Ribosomal Database Project (RDP) and GenBank data. Homology level between 16S rRNA's of *Gordonia alkanivorans* 51D and type strains *G. alkanivorans* (Y18054) и *G. westfalica* strain *Kb1/Kb2* (AJ312907) was 99.9% и 99.7%, respectively. According to obtained results strain was belonged to *Bacteria*; *Actinobacteria*; *Corynebacteriales*; *Gordoniaceae*; *Gordonia*, *Gordonia alkanivorans*. The strain can be successfully used for innovative soil remediation technology from phenol and chlorophenoxyacetic acid pesticides.

Key words: phenol, 4-chlorophenoxyacetic acid, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid, *Gordonia*.

УДК 628.3

ВЛИЯНИЕ КАЛЬЦИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЫДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ АКТИВНОГО ИЛА И ДВИГАТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЛА

© А.М. Дрегуло

Рассмотрено влияние дозы кальциевых и магниевых материалов (CaCO_3 и доломитовой муки) на выделение из твердой фазы активного ила тяжелых металлов и жизнедеятельность микроорганизмов активного ила.

Ключевые слова: активный ил, тяжелые металлы, микроорганизмы активного ила, кальциевые соли, магниевые соли.

Ключевая роль в процессе очистки сточных вод биологических очистных сооружений принадлежит активному илу.

Активный ил, эксплуатируемый в условиях стабильного оптимального технологического режима, обладает значительной инерционной емкостью и способен «нивелировать» резкие нарушения технологического режима очистки.

При длительных воздействиях загрязнений, содержащихся в стоках, происходит перегрузка активного ила по компонентам очистки, инерционная способность экосистемы исчерпывается, что проявляется в резком нарушении окислительной способности активного ила, изменении его физических и морфологических свойств, разрушении зооглейных структур. В результате всего этого санитарно-химические показатели очищенных сточных вод резко ухудшаются [1].

Изменяется и состав активного ила, исчезают простейшие и коловратки, появляется масса свободно плавающих бактерий, зооглеи активного ила приобретают рыхлую структуру.

В режиме работы биологических очистных сооружений следует выделить 2 источника образующихся токсичных, условно твердых отходов:

1) избыточный активный ил (образованный вследствие прироста биомассы ила);

2) смесь осадков (отходы песколовков, первичных отстойников, избыточный ил).

Для поддержания достаточной дозы ила в аэротенках, активный ил, отводимый со вторичных отстойников, в свою очередь делится на 2 потока:

1) на обезвоживание, поступая к смеси осадков (избыточный ил);

2) возвратный ил – отводимый обратно в аэротенк.

По сути, являясь одной и той же фракцией, возвратный ил является токсичным так же, как и избыточный, поступая в аэротенк «отравленным» сорбированными тяжелыми металлами. Согласно литературным сведениям, в настоящее время в мире одним из наиболее распространенных способов утилизации избыточных активных илов и осадков сточных вод является депонирование активных илов и осадков сточных вод на полигонах. На рекультивацию, реконструкцию и строительство полигонов и накопителей осадков затрачивается более 20% от всех средств, затрачиваемых на мероприятия в сфере обращения с отходами, в то время как на переработку осадков выделяется лишь 2% [2]. Из общего количества избыточных илов и осадков в России в качестве удобрения в сельском хозяйстве используется лишь 1.5%, а в качестве кормовых добавок всего 0.01% [3].

ДРЕГУЛО Андрей Михайлович – к.б.н., Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, e-mail: Adregulo@bk.ru

В РФ и за рубежом были предложены различные способы обезвреживания твердых фаз, включая использование кальциевых материалов [4], магнитную обработку [5], извлечение тяжелых металлов из избыточных илов гуминовыми препаратами, применение природных хелатообразующих веществ с молекулярной массой от 300 до 105 и нерегулярной структурой.

Все они направлены на извлечение тяжелых металлов из осадков, илов и шламов для использования их в качестве удобрения в сельском хозяйстве [6], применимы к илам с достаточно высокими концентрациями тяжелых металлов. Очень мало сведений о применении указанных методов к илам со сравнительно малым содержанием тяжелых металлов.

Сведений о детоксикации возвратного активного ила от тяжелых металлов с целью интенсификации биологической очистки сточных вод в литературе не обнаружено.

Интенсификация биологической очистки сточных вод, по нашему мнению, может быть осуществлена путем извлечения тяжелых металлов из активного ила с помощью кальциевых и магниевых материалов, что позволит улучшить усвоение микроорганизмами кислорода и, как следствие, интенсифицировать биодеструкцию органических веществ в стоках [7], активизировать энергетические и биохимические обменные процессы в клетках, обеспечить регуляцию цикла Кребса.

В проведенном нами исследовании процесса извлечения тяжелых металлов CaCO_3 и доломитовой мукой из активного ила очистных сооружений г. Санкт-Петербурга при детоксикации ила в течение 3 ч, исходном pH 6.8 и средней температуре 15–16°C, дозе ила 5 г/дм³ в иловой, было отмечено снижение концентрации тяжелых металлов в твердой фазе возвратного ила. В ходе процесса степень извлечения тяжелых металлов при воздействии

CaCO_3 составила в среднем по Cu – 34, Ni – 29, Cr – 35, Mn – 40%. При воздействии доломитовой муки степень извлечения тяжелых металлов в среднем составила по Cu – 29%, Ni – 16, Cr – 27, Mn – 31%, при этом во всех процессах оптимальная доза материала с позиции эффективности извлечения тяжелых металлов и расхода материала была 0.5 г/дм³ иловой смеси возвратного ила.

Наибольшая степень извлечения тяжелых металлов наблюдается при обработке CaCO_3 . При дозе CaCO_3 от 0.2 г степень извлечения увеличивается от 9 до 32%, при дозе 0.5 г степень извлечения увеличивается от 16 до 63%, при дозах мела 0.7 и 1.0 г динамика извлечения тяжелых металлов существенно снижается, однако степень извлечения продолжает расти (рис. 1).

При обработке возвратного ила доломитовой мукой был отмечен рост степени извлечения тяжелых металлов, при этом динамика извлечения увеличивается примерно на 10–15% при каждом изменении навески в сторону увеличения (рис. 2).

При исследовании влияния используемых материалов (CaCO_3 и доломитовой муки) на биоту активного ила, в исследуемых образцах нами были обнаружены следующие микроорганизмы: мелкие и крупные жгутиковые формы, большое количество раковинных

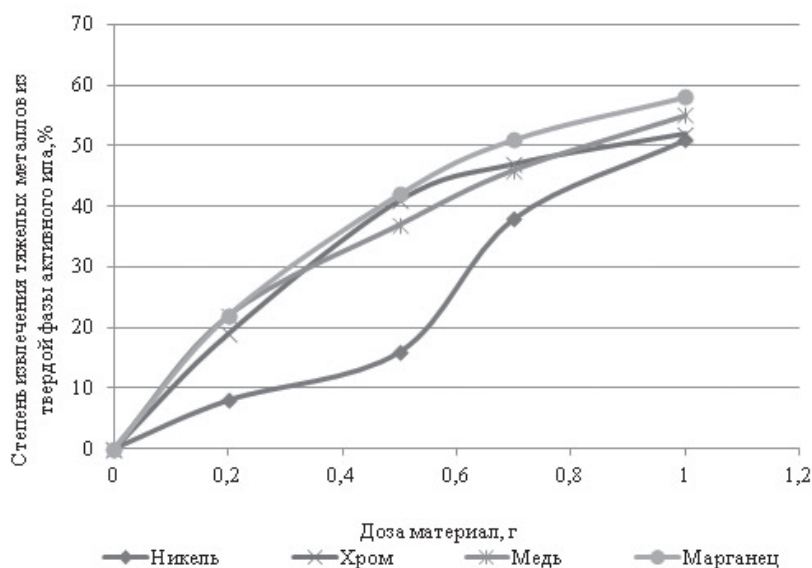


Рис. 1. Исследование изменения концентраций тяжелых металлов при детоксикации активного ила от дозы CaCO_3

амеб (*Arcella*, *Centropyxis*, *Euglypha*, *Pamphagus*), свободноплавающие инфузории (*Aspidisca*, *Chilodonella*, *Litonotus*, *Hemiophrys*,

Stylonichia), прикрепленные инфузории (одиночные *Vorticella* и колонии *Epistilys*, *Opercularia*), сосущие инфузории, коловратки.

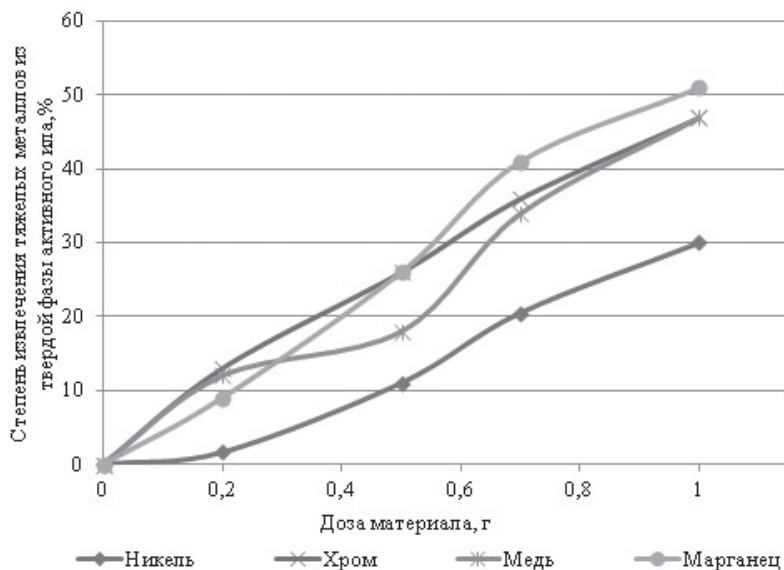


Рис. 2. Исследование изменения концентраций тяжелых металлов в твердой фазе активного ила от дозы доломитовой муки

Т а б л и ц а 1

Концентрации тяжелых металлов при воздействии на активный ил CaCO_3

Металл	Доза CaCO_3 гр/100 мл иловой суспензии				
	0	0,2	0,5	0,7	1
	Концентрация мг/кг в а.с.в.				
Никель	57	52	48	35	28
Хром	191	155	112	102	91
Медь	160	124	100	86	71
Марганец	311	241	179	153	130

Т а б л и ц а 2

Концентрации тяжелых металлов при воздействии на активный ил доломитовой мукой

Металл	Доза доломитовой муки гр/100 мл иловой суспензии				
	0	0,2	0,5	0,7	1
	Концентрация мг/кг в а.с.в.				
Никель	57	56	50	45	40
Хром	191	166	142	122	101
Медь	160	141	131	106	85
Марганец	311	283	229	183	152

В процессе исследования в течение трех часов с добавлением установленных доз материалов морфологических изменений и гибели микроорганизмов отмечено не было. Перистомы прикрепленных инфузурий в большинстве открыты, видно биение ресничек. Коловратки, жгутиковые, инфузории сохранили двигательную активность.

Сравнивая остаточные концентрации тяжелых металлов в твердой фазе ила после процесса детоксикации (табл. 1, 2) видно, что использование CaCO_3 эффективнее доломитовой муки, вероятно, это связано с менее лабильным обменом ионов кальция с

тяжелыми металлами по сравнению с ионами магния, т.к. кальций является «родным» ионом в формировании клеточных структур, а также в силу специфики транспортных (питательных, дыхательных) каналов микроорганизмов ила.

Результаты исследований указывают на перспективность использования кальциевых и магниевых материалов для обработки активного ила с целью выведения из твердой фазы ила тяжелых металлов. Наблюдавшиеся в образцах ила гидробионты разных трофических уровней при внесении используемых материалов не теряли двигательную способность, сохраняя естественные функции жизнедеятельности. Все это тем самым показывает новый подход к вопросу о повышении качества биологической очистки сточных вод, который может быть решен путем детоксикации активного ила и его последующим введением в систему аэротенка.

Литература

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: Акварос 2003. С. 210.

2. Васильев В.Л. Экологический фактор в водопользовании // Использование и охрана природных ресурсов России. 2001. № 5. С. 60.

3. Бикбулатов, И.Х. Хранилище реактор для избыточного активного ила, сырых осадков и шламов // Инженерная экология. 2000. № 5. С. 47–52.

4. Пат. № 2220923 РФ МКИ6 С 02 F 11/14. Способ переработки избыточного активного ила, содержащего тяжелые металлы / Панов В.П., Зыкова И.В., Макашова Т.Г., Панова Н.Е.; заявитель и патентообладатель СПГУТД. № 2002108789; заявл. 05.04.2002; опубл. 10.01.2004. Бюл. № 1.

5. Скворцов Л.С. Обезвреживание и обеззараживание избыточного ила канализационных очи-

стных сооружений для получения экологически безопасных органических удобрений // Чистый город. 2006. № 1. С. 42–44.

6. Торунова М.Н., Исаев В.В., Бакоев Б.А. Обезвреживание и утилизация осадков сточных вод городских очистных сооружений // Экология и промышленность России. 1998. Август. С. 18–20.

7. Дрегуло А.М., Панов В.П. Детоксикация возвратного активного ила и его влияние на очистку сточных вод // Проекты развития ин-фраструктуры города. 2013. № 13. С. 139–152.

—●—

**THE EFFECT OF CALCIUM AND MAGNESIUM MATERIALS
ON HEAVY-METAL REMOVAL FROM ACTIVATED SLUDGE
AND MOTION ABILITY OF ACTIVATED SLUDGE MICROORGANISMS**

© **A.M. Dregulo**

St. Petersburg Scientific Research Centre for Ecological Safety, RAS,
18, Korpusnaya ulitsa, 197110, St. Petersburg, Russian Federation

This paper describes the effect of calcium and magnesium additions (CaCO_3 and dolomite powder) on heavy-metal removal from the solid phase of activated sludge and vital functions of microorganisms used in the activated sludge process.

Key words: activated sludge, heavy metals, activated sludge microorganisms, calcium salt, magnesium salt.

УДК 581.543+581.146:582.86(471.52)

К РЕКОМЕНДАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА КИРКАЗОНОВЫХ В ЗИМНИХ САДАХ

© З.Н. Сулейманова, В.В. Якупова

В последние годы особое внимание уделяется изучению редких лиановидных и ампельных форм растений. В данной работе представлены результаты изучения некоторых видов декоративных субтропических лиан семейства аристолоховых (*Aristolochiaceae* Juss.).

Изучены некоторые особенности биологии 4-х видов аристолохий – изящная или прибрежная (*Aristolochiaelegans* или *littoralis* D. Parodi), бахромчатая (*A. fimbriata* Cham), крупнолистная (*A. macrophylla* Lam.), вечнозеленая (*A. sempervirens* L.), маньчжурская (*A. manshuriensis* Kom.) – при интродукции в условиях оранжереи. Интродукция аристолохий (кирказонов) в условиях оранжереи началась с 2006 г. Приведены особенности роста и развития этих видов. Отмечено наиболее успешное прохождение интродукции в условиях оранжереи аристолохии прибрежной (*A. littoralis* D. Parodi). При семенном размножении зацветает на пятом году жизни, дает полноценные семена. Продолжительность цветения составила 56 дней, одного цветка – 4 дня, плодоношения – 47 дней. На третьем году жизни отмечали цветение аристолохии бахромчатой (*A. fimbriata* Cham). Семена, посеянные сразу после сбора, не взошли, оказались неполноценными.

Результаты наших исследований в области изучения интродукции, в особенности новых субтропических редких видов лиан, предлагаем к рекомендации в озеленении в комнатном цветоводстве. Изученные виды рекомендованы использовать в вертикальном озеленении в зимних садах и помещениях.

Ключевые слова: аристолохия, интродукция, семенное размножение, цветение.

В последние годы активное внедрение новых культур в цветоводство отвечает актуальным тенденциям развития озеленения. Наряду с промышленным цветоводством растет потребность и в расширении ассортимента комнатного цветоводства. Основную роль в распространении редких декоративных, особенно пользующихся большим спросом у населения, тропических и субтропических растений играют коллекции ботанических садов.

В оранжерее Ботанического сада-института УНЦ РАН выращивается более 1300 видов тропических и субтропических растений разных жизненных форм. Изучение интродукции, декоративных свойств, адаптации ведется с момента поступления новых видов семенами или в виде посадочных единиц. Результаты наших исследований в области изу-

чения интродукции, в особенности новых видов тропических и субтропических растений, предлагаем к рекомендации в озеленении в комнатном цветоводстве. В последние годы особое внимание начали уделять изучению лиан, ампельных форм. В данной работе представляем несколько видов изученных нами декоративных субтропических лиан семейства аристолоховых (*Aristolochiaceae* Juss.). Интродукция аристолохий (кирказонов) в условиях оранжереи началась в 2006 г.

Большинство видов кирказона произрастают в областях тропического климата Америки, Африки, Азии. На территории России – на С. Кавказе, Дальнем Востоке. В озеленении кирказоны используются редко, это связано, скорее, с отсутствием посадочного материала. Встречающиеся в парках и ботани-

СУЛЕЙМАНОВА Зугура Нурияхметовна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: zugura-ufabotsad@mail.ru

ЯКУПОВА Вика Вирнасовна, Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: zugura-ufabotsad@mail.ru

ческих садах экземпляры этого растения довольно старые и часто были посажены еще в довоенный период. Проблематично получение посадочного материала кирказона. Несмотря на все проблемы, связанные с размножением кирказона, в последние годы стал появляться посадочный материал этой культуры: его можно найти, обращаясь к специалистам-озеленителям, в ботанические сады или в фирмы, торгующие привозимым из-за рубежа посадочным материалом.

Кирказоны представляют собой многолетние травянистые растения с гладкими прямостоящими или вьющимися побегами или деревянистые лианы. Листья простые, черешковые, очередные, у многих видов сердцевидной формы. Цветки зигоморфные, собраны в короткие соцветия в пазухах листьев. Венчик отсутствует. Околоцветник трубчатый, внизу раздутый, на верхнем конце у большинства видов с косым языковидным отгибом. Тычинки короткие, сросшиеся со столбиком, образуют так называемый гиностемий, 3–6 шт. Цветки перекрестно опыляемые, рыльца созревают раньше пыльников, что исключает самоопыление. Плод – сухая шаровидная коробочка. Аристолохия – энтомофильное растение, опылителями в основном являются мухи, жуки, комары. При цветении цветки испускают неприятный запах, привлекающий мух.

Семена для выращивания в коллекции были получены из ботанических садов Германии, Италии. В настоящее время в условиях оранжереи культивируется 4 вида аристолохий: а. изящная или прибрежная (*Aristolochia elegans* или *littoralis* D. Parodi), а. бахромчатая (*A. fimbriata* Cham), а. крупнолистная (*A. macrophylla* Lam.), а. вечнозеленая (*A. sempervirens* L.), а. манчжурская (*Aristolochia manshuriensis* Kom.).

Аристолохия прибрежная (*Aristolochia littoralis* D. Parodi) – получена из Германии, Дрезден, в 2006 г. Родина – Бразилия. В естественных условиях может вырасти до 6 м. Это сильно разрастающееся вьющееся растение. Сердцевидные листья, достигают 8 м в ширину. Цветки появляются летом и осенью, располагаются на длинных цветоносах, имеют форму

мелкосердцевидной чаши с черно-фиолетовым и желто-зеленым мраморным рисунком. Цветы аристолохии изящной (прибрежной) не имеют запаха, характерного для других представителей аристолохий. В Великобритании этот вид имеет название «Ситцевый цветок» или «Трубка голландца», т.е. в каждой стране есть своеобразное название. Этот вид широко используется для озеленения улиц в странах с тропическим климатом. Предпочитает яркое солнце или частичную тень. При разрастании побегов весной необходимо провести обрезку. Размножают аристолохию семенами, черенкованием. В зимнее время полив ограниченный, в остальное время – обильный.

Полученные семена описали и посеяли по следующим методикам.

Описание семян проводили по атласу описательной морфологии высших растений [1]. Методы семенного размножения проводились по методике [2]. Семена изогнутые, плоской формы, темно-зеленого цвета, размерами 0.4×0.3 см. Семена очистили, дезинфицировали 5%-м раствором перманганата калия и высевали в ящики с предварительно промытым, прокаленным речным песком на глубину 2–3 см. Сверху присыпали тонким слоем сеяного песка.

Посев проводили 1 мая 2006 г. Всходы появились на 19-й день. Длительность прорастания всходов составила 20 дней, всхожесть семян – 19.6%. Сеянцы пересаживали в рекомендуемый субстрат для аристолохий: 2 части дерновой земли +1 часть речного промытого песка с добавлением торфа 0.5 части. После пересадки растения были размещены на полу в тенистой стороне оранжереи. Спустя год сеянцы имели высоту в среднем до 27.0–29.0 см, количество побегов – 4 шт. Размеры побегов: 24.0–25.0 см, число листьев – 25.0–27.0 шт., размеры листьев (длина × ширина) – 0.6×1.0 – 3.5×4.5 см. Число корней 10–20 шт., длиной 20.0–25.0 см.

На пятом году культивирования в условиях оранжереи аристолохия впервые зацвела. Начало бутонизации отмечали 9–30 августа 2010 г. Длительность цветения – 8 дней (сентябрь). Цветок состоит из трубки, изо-

гнутой у основания, и широкого трехлопастного отгиба (рис. 1). Растения переместили на более освещенное место.



Рис. 1. Аристолохия прибрежная (*Aristolochia littoralis* D. Paradi)

Продолжительность цветения в 2011 г. – 56 дней, одного цветка – 4 дня, плодоношения – 47 дней. Вступившие в генеративную стадию растения имели следующие морфологические параметры: высота растений 150.0–170.0 см, длина листа 5.0×2.5–6.6×4.0 см, размеры цветка венчика 7.0–8.0×5.0×6.0 см, трубчатая часть 4.5×1.5 см, черешок цветка 6.0 см. Впервые завязывались и были получены полноценные семена. С одного растения насчитывали 254 шт. семян. Свежие семена были посеяны сразу же после сбора. Всхожесть составляла 52.3%. В настоящее время сеянцы имеют высоту 24.0–27.0 см, на одном растении количество листочков составляет 25 шт.

В июле 2012 г. отмечали также цветение шестилетних экземпляров продолжительностью 55 дней. В 2013 г. все сеянцы пересаживали в грунт на постоянное место и прикрепляли к перголе. В 2014 г. начало цветения отмечали 13 июня, цветение продолжалось до сентября, продолжительность цветения одного цветка – 3 дня.

Аристолохия бахромчатая (*A. fimbriata* Cham) – получена семенами из Ботанического сада Германии в 2011 г. Родина – Бразилия. Невысокая лиана, до 90 см высотой. Листья овально-сердцевидные, темно-зеленые, изысканно расписанные в темно-светло-зеленые тона.

Семена имеют конусовидную форму, буро-коричневого цвета с кремовой бороздкой, шероховатую поверхность, размерами 0.5×0.4 см.

Посев проводили 27 июня 2011 г., всходы появились на 17-й день после посева. Длительность прорастания составляла 30 дней, всхожесть семян 32%. Сеянцы пересаживали через 6 месяцев. В первый год прорастали до 5.1–5.2 см, количество листьев – 3 шт., размеры листьев (длина × ширина) 0.5×0.7 – 0.6×0.9 см. Количество корней – 1–5 шт., длиной 5.5–6.0 см, размерами 0.5×1.5 см. У сеянцев корни с клубневидным утолщением. Двухлетние сеянцы пересаживали в пластиковые емкости для ампельных видов в земляную смесь (2 части дерновой земли + 1 часть речного песка + 0.5 части торфа). На третьем году жизни отмечали цветение. В конце вегетационного сезона происходит усыхание побегов по очереди, но побеги всегда имеют до 4-х ветвлений. У сеянцев на 3-м году вегетации отмечали вступление в генеративную стадию. Начало бутонизации – с 22 июля по 9 августа. Продолжительность цветения – 20 дней, плодоношения – 45 дней. Семена, посеянные сразу после сбора, не взошли, оказались неполноценными.

В 2014 г. (на 4-й год жизни), растения имеют до 60.0–65.0 см длины, боковые побеги имеют до 34.0–36.0 см длины, количество листьев насчитывали 33–35 шт., размеры листьев 1.5×2.0 – 3.5×3.5 см. Цветение с 27 июля до сентября, продолжительность цветения одного цветка – 1 день (рис. 2).



Рис. 2. Аристолохия бахромчатая (*A. fimbriata* Cham)

Аристолохия крупнолистная (*Aristolochia macrophylla* Lam.) получена семенами из Ботанического сада Германии в 2012 г. Родина – С. Америка. В естественных условиях вырастает до 10 м в высоту. Листья сердцевидные, до 30 см длиной, голые, светло-зеленого цвета. Цветы с зеленовато-бурой трубкой до 3 см длины, напоминают курительную трубку. Плоды шестигранные, коробочки, длиной до 8 см. Семена с шероховатой поверхностью, уплощенной формы, серым цветом, размерами 0.9×0.6 см.

В условиях оранжереи семена были посеяны 15 февраля 2012 г., всходы появились на 26-й день после посева. Длительность прорастания составляла 39 дней, всхожесть семян 32.5%. В настоящее время высота растений составляет 25.0–72.0, основного побега – 12.0–62.5 см, количество листьев 5–8 шт., размеры листьев (длина × ширина) – 3.0×3.5–7.5×7.5 см (рис. 3).

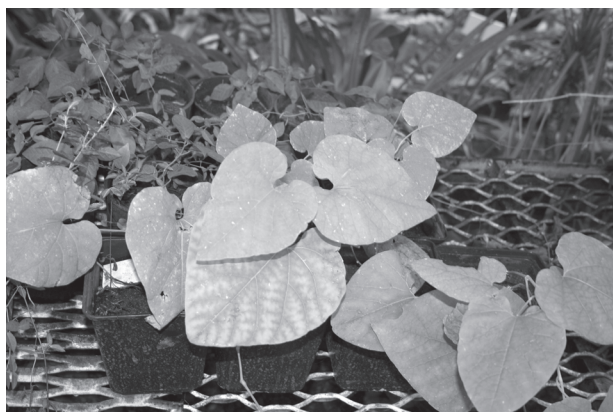


Рис. 3. Аристолохия крупнолистная (*Aristolochia macrophylla* Lam.)

Аристолохия вечнозеленая (*A. sempervirens* L.), получена семенами из Ботанического сада Италии в 2013 г. Родина – С. Италия, Греция. Листья глянцевые, заостренные, в форме сердца. Цветы бордовые, с желтой полосой. Семена конусовидные, коричневые, с шероховатой поверхностью, размером 0.5×0.4 см.

В условиях оранжереи семена были посеяны 17 августа 2013 г. Всходы появились на 77-й день после посева. Длительность прорастания составляла 87 дней, всхожесть се-

мян 40%. В настоящее время высота растений составляет 8.7–12.6 см, количество листьев 6–8 шт., размеры листьев (длина × ширина) 0.5×0.4–2.3×1.6 см (рис. 4).



Рис. 4. Аристолохия вечнозеленая (*A. sempervirens* L.)

Аристолохия маньчжурская (*A. manschuriensis* Kom.) получена семенами из Ботанического сада Польши в мае 2014 г. Родина – Китай, Дальний Восток. В природе *K. маньчжурский* – редкий вид, находящейся под угрозой исчезновения. Да и в озеленении это тоже уже, скорее, реликт. В естественных условиях – деревянистая лиана, достигающая 10–15 м высоты. Листья округлые, с сердцевидным основанием, крупные, до 30 см длиной, светло-зеленые, пахнущие камфорой, образуют плотную и красивую листовую мозаику. Оригинальные коричневые или коричнево-кремовые крупные цветки (1.5–3 см), напоминающие кувшинчик. Плоды – коробочки, напоминающие огурцы, длиной 8–10.5 см. Семена уплощенные, светло-коричневые, с шероховатой поверхностью, размером 0.8×0.7 см.

В условиях оранжереи семена были посеяны 11 июня 2014 г. Всходы появились на 41-й день после посева. Длительность прорастания составила 48 дней, всхожесть семян 45.5%. В настоящее время высота основного побега составляет в среднем – 4.0–5.0 см, количество листьев 2–3 шт, размеры листьев (длина × ширина) 1.0×1.0–1.2×1.0 см (рис. 5).

Цветение и плодоношение аристолохии, несмотря на свою оригинальность, не явля-

ются главными декоративными качествами этой лианы. Главную декоративность аристолохии составляют, конечно, листья. Корневая система расположена поверхностно. Растение влаголюбиво. Предпочитает богатые минеральными веществами рыхлые почвы.



Рис. 5. Аристолохия маньчжурская (*A. manshuriensis* Kom.)

Мы считаем, что столь красивоцветущие, с декоративными листьями лианы должны быть востребованы и шире использоваться в озеленении.

Изученные виды рекомендуем использовать в вертикальном озеленении в зимних садах и помещениях.

Литература

1. Артюшенко З.Т Атлас по описательной морфологии высших растений: Семя. Л.: Наука, 1990. 204 с.
2. Сааков С.Г. Оранжерейные и комнатные растения и уход за ними. Л.: Наука, 1983. 621 с.
3. Путенихин В.П. Каталог растений Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН. Уфа: Гилем, 2012. 222 с.

ON THE RECOMMENDATION FOR USING SOME SPECIES OF ARISTOLOCHIACEAE JUSS. FAMILY IN WINTER GARDENS

© Z.N. Suleymanova, V.V. Yakupova

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

In recent years special attention has been paid to study rare lianas and ampelous forms of plants. This work presents the results of studying some species of decorative subtropical lianas of *Aristolochiaceae* family.

We investigated biological features of five species of *Aristolochia* (*A. elegans* or *littoralis* D. Parodi, *A. fimbriata* Cham, *A. macrophylla* Lam., *A. sempervirens* L., *A. manshuriensis* Kom.) when introduced into the greenhouse. The introduction of *Aristolochia* species under greenhouse conditions was started in 2006. Characteristics of growth and development of these species were revealed. The most successful introduction under greenhouse conditions was observed for *A. littoralis* D. Parodi). In the case of seed reproduction it bloomed in the fifth year of its life and gave full-fledged seeds. The bloom period lasted for 56 days, with one flower blooming over 4 days and fructification taking 47 days. The blooming of *A. fimbriata* Cham was observed in the third year of its life. Seeds sown immediately after collecting turned out to be defective and did not germinate.

The results of our research on plant introduction, particularly new subtropical rare species of lianas, can serve as a recommendation for indoor floriculture. The species under discussion are recommended to be used for vertical gardening in winter gardens and rooms.

Key words: *Aristolochia*, introduction, seed reproduction, flowering.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ БИОФИЛЬТР ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РЕКРЕАЦИОННОЙ АКВАТОРИИ (БУХТА КРУГЛАЯ, ЧЕРНОЕ МОРЕ)

© О.В. Соловьева, Е.А. Тихонова

В условиях рекреационных акваторий гидротехнические сооружения зачастую являются основным субстратом для поселения моллюсков-фильтраторов – мидий и митилястеров. А следовательно, на них образуется мощный биофильтр, что должно позитивно сказываться на качестве водной среды и повышать рекреационную привлекательность пляжей данного района. Исследование обрастания гидротехнических сооружений в акватории с нестабильно благополучной экологической обстановкой (судя по состоянию донных осадков) показало, что поселения моллюсков-фильтраторов имеют достаточно высокие показатели численности и биомассы. При этом доминирующую роль играют митилястеры, образующие на буне многолетние поселения, в отличие от мидий, возраст которых не превышал 1 год. Благодаря высокой плотности поселений, митилидные моллюски формируют мощный биофильтр на поверхности гидротехнического сооружения, удельный объем которого составляет $8865 \text{ л/сут.} \cdot \text{м}^2$. Из них $2598 \text{ л/сут.} \cdot \text{м}^2$ приходится на деятельность мидий и $6267 \text{ л/сут.} \cdot \text{м}^2$ – на фильтрационную работу митилястеров.

Ключевые слова: рекреационная зона, гидротехнические сооружения, мидии, митилястеры, биофильтр, донные осадки.

Местом проведения санитарно-биологических исследований стала бухта Круглая (рис. 1), расположенная в Гагаринском районе Севастополя в 5 км к юго-западу от входа в Севастопольскую бухту. На ее западном берегу расположен городской пляж «Омега». Название она получила по своей форме. Бухта эта неглубока, имеет песчаное дно. В курортный сезон пляж б. Круглой часто становится зоной санитарного неблагополучия.

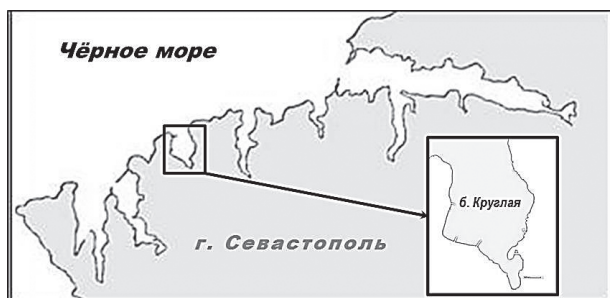


Рис. 1. Расположение б. Круглой в системе Севастопольских бухт

Исследованный полигон относят обычно к чистому региону [1], однако однозначно дать оценку невозможно, так как в летний сезон экологическая ситуация усугубляется. При повышении температуры наблюдается активное цветение воды. Кроме того, на западном берегу бухты расположен пляж с множеством предприятий общественного питания. На восточном берегу бухты находятся вертолетный завод, яхт-клуб и пансионат. В бухту выведен аварийный сток канализационных вод, в этой связи пляж часто закрывают по санитарно-эпидемиологическим показателям.

Ранее исследователями отмечалось существенное микробиологическое загрязнение воды в бухте в летний период относительно зимнего, которое было тесно сопряжено с суточным ритмом антропогенной нагрузки [2]. По этой причине получение данных о сани-

СОЛОВЬЕВА Ольга Викторовна – к.б.н., Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, e-mail: Kozl_ua_oly@mail.ru

ТИХОНОВА Елена Андреевна – к.б.н., Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, e-mail: tihonoval@mail.ru

тарно-биологических характеристиках исследуемой рекреационной акватории, а также оценка потенциала ее самоочищения представляет существенный научный и практический интерес.

В условиях песчаной акватории гидротехнические сооружения являются основным субстратом для поселения моллюсков-фильтраторов – мидий и митилястеров [3, 4]. А следовательно, на них образуется мощный биофильтр, способный существенно снижать уровни органического загрязнения акватории [5, 6] и извлекать из воды бактериальную взвесь [7]. Это должно позитивно сказываться на качестве водной среды и повышать рекреационную привлекательность пляжей данного района.

Целью работы стала оценка роли моллюсков-фильтраторов гидротехнических сооружений б. Круглой в формировании естественного биофильтра акватории. Исследование включало в себя также оценку экологического состояния акватории по состоянию донных осадков.

Материал и методы. В рамках исследования обрастания гидротехнических сооружений рекреационных акваторий как важного фактора, влияющего на санитарно-биологическое состояние пляжа, в июне 2015 г. был отобран перифитон с бетонной буны в районе пляжа б. Круглой (рис. 2).

Пробы отбирались с левой и правой сторон сооружения на площадке 16×16 см (0.0256 м^2) ручной драгой с глубины 0.5 м. Отбор проводился в 3-х повторностях. Всего получено 6 проб. Из образцов обрастания отбирали мидий и митилястеров. Далее их измеряли штангенциркулем (точность 0.1 мм) и разделяли на размерные группы 1–10, 11–20, 21–30, 31–40, 41–50, 51–60, 61–70, 71–80, 81–90 и 91–100 мм. Особи с пограничным размером относили к группе более крупных организмов. Особей мельче 1 мм не учитывали. Моллюсков взвешивали на технических весах (точность 0.1 г).

Пробы донных осадков отбирались дночерпателем Петерсена на 10 станциях (ст. 01–06 в 2015 г. и ст. 31–34 в 2012 г.), одна из ко-

торых находится вблизи исследованных гидротехнических сооружений (ст. 33) (рис. 2). Затем высушивали при нормальных условиях и в них определяли хлороформ-экстрагируемые вещества (ХЭВ) весовым методом и нефтяные углеводороды (НУ) – инфракрасной спектрометрией на ФСМ-1201. Полученные результаты переводили на 100 г воздушно-сухого донного осадка (д.о.).

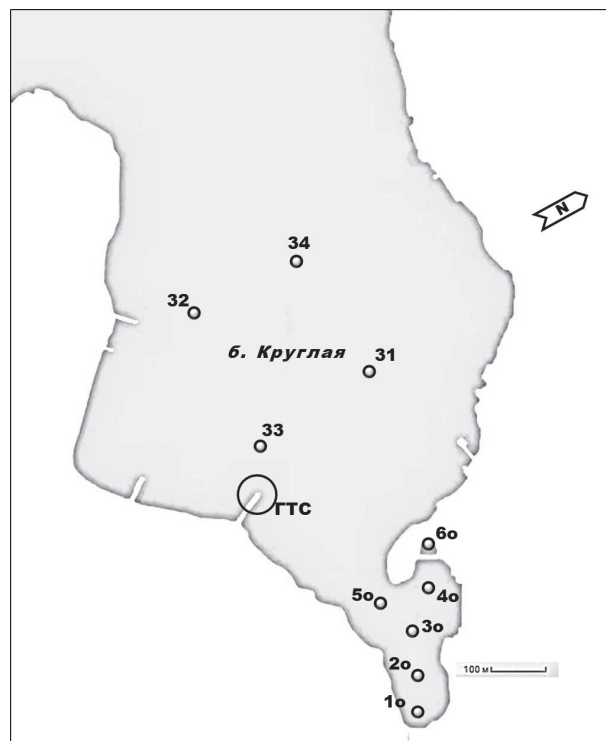


Рис. 2. Карта-схема станций отбора проб донных осадков б. Круглой (ГТС – гидротехнические сооружения)

Статистическая обработка материала осуществлялась с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Для полноты оценки функционирования моллюсков-фильтраторов как объектов самоочищения морской среды необходим анализ степени ее загрязнения основными контаминантами (в нашем случае – акватории б. Круглой органическими веществами). Данная бухта является постоянным полигоном для санитарно-биологических исследований, поэтому можно оценить изменения, происходящие в ней, как в настоящее время, так и в течение длительного времени.

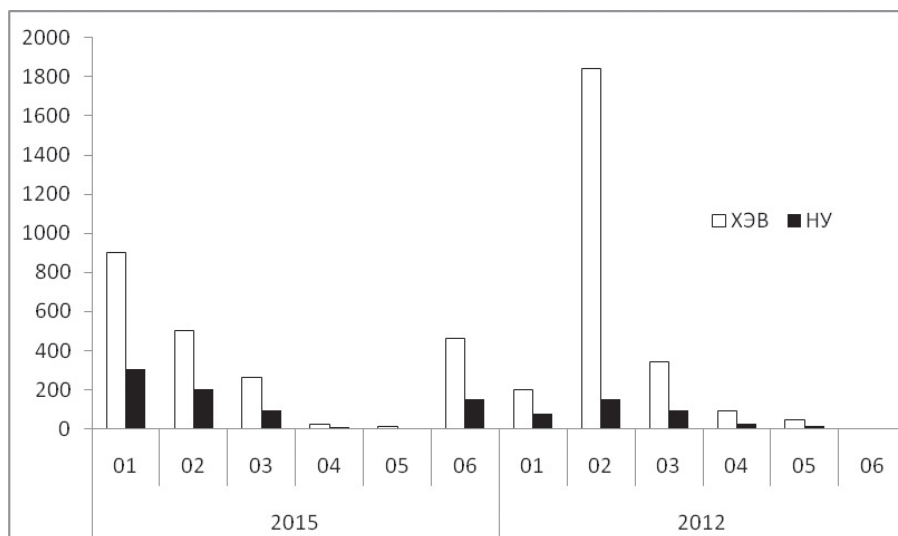


Рис. 3. Концентрации ХЭВ и НУ (мг/100 г д.о.) на исследованных станциях б. Круглой

Вершину данной бухты относят к системе акваторий бухт Севастополя условно. Этот водоем имеет глубину менее 1 м и возник на месте ранее существовавшего здесь соленого озера, которое впоследствии соединилось с морем [1]. Именно поэтому донные осадки вершинной части бухты представлены черными илами с примесью песка и/или большого количества остатков перегнившей травы и бытового мусора, с запахом сероводорода. На станциях, расположенных в районе устья бухты, песок серый, мелкий с примесью ила, а на выходе из бухты – ракушники с примесью песка и большого количества крупных и мелких раковин моллюсков.

Натуральная влажность в кутовой части составляет от 28.3 до 63.2% в донных осадках бухты, Eh +120 мВ в песках, до 147 мВ – в илах, рН 7.3–7.7. Загрязнение донных отложений бухты распределено неравномерно в кутовой части бухты, что связано с затрудненным водообменом, малыми глубинами (прогревание воды и, соответственно, ее цветение), выходом сточных вод и увеличением рекреационной нагрузки в летний период. Концентрации ХЭВ в этом районе колебались от 11 до 900 мг/100 г возд.-сух. д.о. На ст. 01 содержание ХЭВ несколько выше по сравнению со съемкой 2012 г. (900 против 200 мг/100 г возд.-сух. д.о. соответственно), что указывает на усиление органического загрязнения в данной части аквато-

рии. На остальных станциях показатели несколько ниже (рис. 3). Что касается концентрации НУ (рис. 3), то следовые количества отмечены в песках ст. 05 (зафиксированное количество составляет 4.9 мг/100 г д.о.), на остальных – содержание несколько выше (до 304 мг/100 г д.о.). При этом доля НУ от ХЭВ (не превышая в среднем 37%) возросла на всех станциях за исключением ст. 01, где был отмечен обратный про-

цесс (34% в 2015 г. и 38% в 2012 г.). Также между концентрациями ХЭВ и НУ имеется прямая корреляционная зависимость ($r = 0.86$).

Несколько иной выглядит ситуация в устье и на выходе бухты, как раз в том районе, где расположены гидротехнические сооружения. Здесь исследуемые показатели органического загрязнения донных осадков более стабильны. Концентрация ХЭВ на всех 4-х станциях не превышала 12.7 мг/100 г д.о., НУ – отмечены следовые количества. На ст. 33, прилегающей к исследуемой буне, содержание ХЭВ составляло 9.3 мг/100 г д.о., НУ – 1.3 мг/100 г д.о. По этим показателям акваторию можно отнести к I уровню загрязнения [8]. Данный факт прежде всего связан с гранулометрическим составом донных отложений (в песках меньше задерживаются загрязнители). Также полученные результаты показывают, что в куте бухты загрязнение перестигает, тогда как в устье и вершине оно минимально. То есть объемы загрязнителей, поступающие в море на этом участке, утилизируются в воде, не накапливаясь в донных осадках. В этих процессах принимает участие и биота, в частности, моллюски-фильтраторы гидротехнических сооружений.

Как отмечалось ранее, по полученным концентрациям ХЭВ можно отнести донные осадки б. Круглой к I–II уровням загрязнения [8], однако на некоторых станциях загрязне-

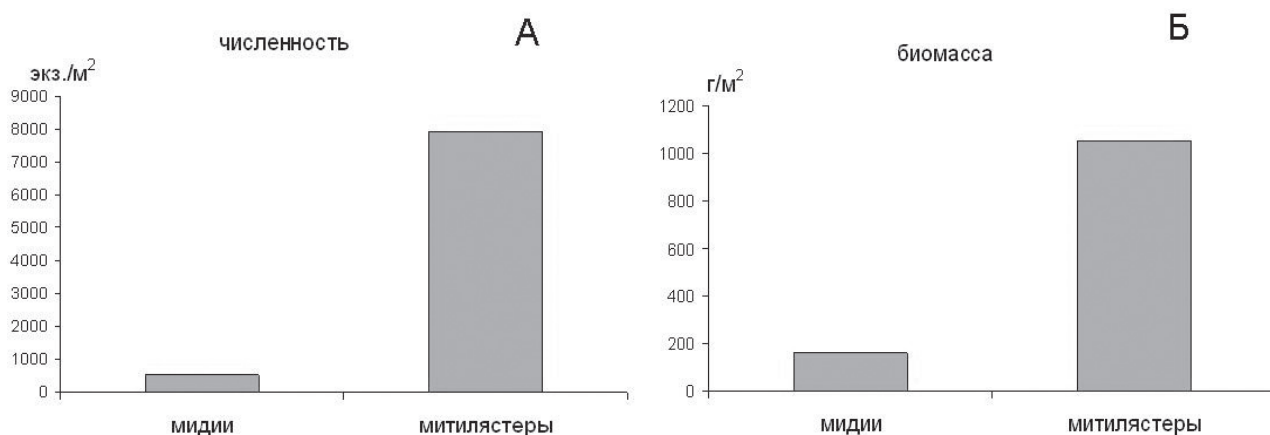


Рис. 4. Средняя численность и биомасса митилидных моллюсков на поверхности буны в акватории б. Круглой (Севастополь, Черное море): А – численность моллюсков, экз./м²; Б – биомасса моллюсков, г/м²

ние достигает IV уровня, V – при максимальных. Поэтому не следует говорить о стабильно положительной экологической ситуации б. Круглой. С учетом этого, митилидное поселение на твердых субстратах в данной акватории, а в частности на бунах, имеет большое значение с точки зрения санации воды, что особенно актуально в летний период, когда и наблюдается максимальная нагрузка на акваторию со стороны купальщиков и прибрежной инфраструктуры.

В отобранном материале были обнаружены как мидии, так и митилястеры (рис. 4). Средняя численность мидий составляла 527 экз./м², при биомассе 159 г/м². Мидии были достаточно мелкие, их размер не превышал 40 мм, а основная доля приходилась на особи длиной до 20 мм. Наличие в пробах только сеголеток может быть связано с тем,

что летом вода в б. Круглой из-за ее незначительной глубины существенно прогревается. Это, вероятно, и ведет к массовой гибели мидий в летний период [9].

Следует отметить существенное различие в численности и биомассе моллюсков на данных сторонах сооружения. Так, на правой стороне буны численность моллюсков равнялась 378 экз./м², а биомасса – 93 г/м². Притом что на левой стороне эти показатели были 1445 экз./м² и 676 г/м² соответственно, т.е. отличались для численности приблизительно в 4, а для биомассы – в 7 раз. При этом размерная структура моллюсков на левой и правой сторонах также существенно отличалась (рис. 5). С правой стороны основная часть мидий была представлена особями длиной до 10 мм, и только в одной пробе найдено несколько моллюсков длиной 31–40 мм.

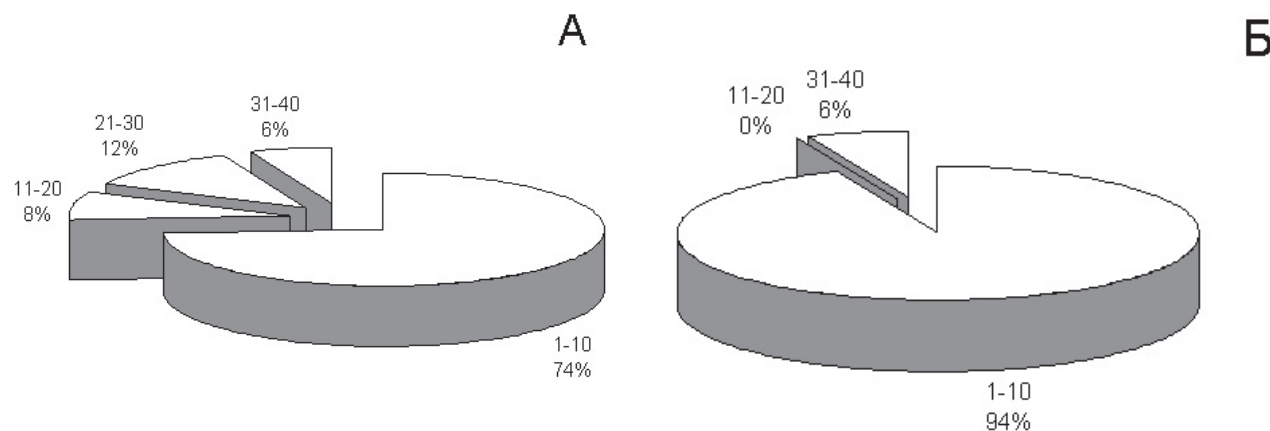


Рис. 5. Размерная структура поселения мидий на поверхности буны в акватории б. Круглой (Севастополь, Черное море): 1–10, 11–20.... – размер моллюсков, мм; А – левая сторона буны; Б – правая сторона буны

На левой же стороне присутствовали все моллюски от 1 до 40 мм, причем особи длиной 30–40 мм обнаружены в 2-х образцах из трех.

Средняя численность митилястеров на буне была 7930 экз./м², а их средняя биомасса – 1051 г/м². Размеры этих моллюсков – от 1 до 30 мм. Т.е. можно говорить о существенной продолжительности жизни митилястеров на данном сооружении, т.к., по нашим наблюдениям, моллюски длиннее 20 мм в севастопольских акваториях встречаются нечасто. Митилястеры, в отличие от мидий, более устойчивы к высоким температурам [5], что позволяет им образовывать многочисленные поселения в мелководных заливах. Некоторые авторы также считают, что деградация поселений мидий на берегоукрепительных сооружениях, приводящая к заселению поверхностей митилястерами, может являться также прямым следствием общего снижения биологического потенциала маточного стада моллюсков в донных биоценозах шельфа этого региона Черного моря в результате заморов и усилившейся эвтрофикации [10, 8].

Различие в численности и биомассе моллюсков на левой и правой сторонах буны отмечено также и для митилястеров. Так, на левой стороне, обращенной к куту бухты, численность моллюсков составляла 5690 экз./м² при биомассе – 594 г/м². При показателях численности и биомассы на правой стороне – 10169 экз./м² и 1508 594 г/м² соответственно, что также, как и для мидий, в несколько раз

превышает показатели с противоположной стороны сооружения. Из рис. 6 видно, что на правой стороне сооружения митилястеры были мельче, чем на левой. В первом случае на особи длиной до 10 мм приходится 3/4 численности, а во втором – около половины.

Такие различия в характеристиках поселений обоих видов моллюсков на разных сторонах буны могут быть связаны с формированием застойных явлений в области справа от сооружения, в связи с чем моллюски там испытывают недостаток кислорода и погибают.

Таким образом, в условиях б. Круглой на гидротехнических сооружениях образуются достаточно обильные митилидные поселения, в которых доминирует митилястер (рис. 4). Численность последнего в 15 раз выше численности мидий, а биомасса – примерно в 7 раз. При этом доля мелких организмов (до 10 мм) у мидии выше. Все это говорит о неблагоприятных условиях для выживания мидий, которые, осев на гидротехническое сооружение, не проживают одного года. Кроме природных условий, на которые указывалось выше, этому может способствовать также сбор более-менее крупных особей отдыхающими. При этом наличие в обрастании митилястеров длиной более 2 см свидетельствует о значительной продолжительности жизни этих моллюсков в данной акватории. Обычно длина митилястеров превышает 20 мм в возрасте более 3-х лет [3].

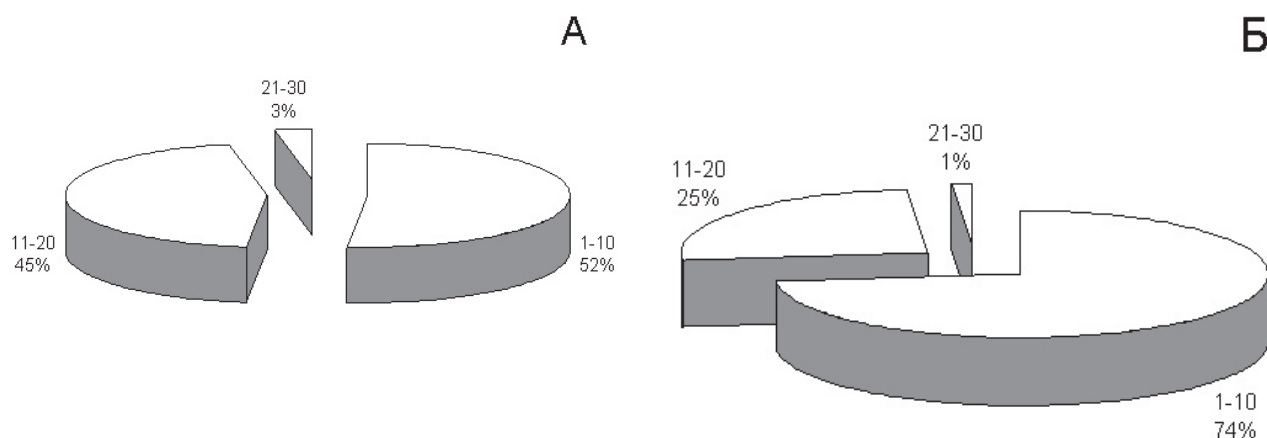


Рис. 6. Размерная структура поселений митилястеров на поверхности буны в акватории б. Круглой (Севастополь, Черное море): 1-10, 11-20.... – размер моллюсков, мм; А – левая сторона буны; Б – правая сторона буны

Оценка мощности биофильтра на поверхности буны в акватории б. Круглой (Севастополь, Черное море)

Размерная группа	Мидии			Митилястеры		
	N , экз./м ²	V , л/сут.·экз. [12]	V_{ϕ} , л/сут.·м ²	N , экз./м ²	V , л/сут.·экз. [13]	V_{ϕ} , л/сут.·м ²
01 – 10	430	3	1289	4720	0.15	708
11 – 20	26	6	156	3014	1.55	4672
21 – 30	39	12	469	195	5.54	887
31 – 40	33	21	684	0	0	0
Удельная мощность биофильтра, л/сут.·м ²	–	–	2598	–	–	6267

N – численность моллюсков, экз./м²;

V – средняя скорость фильтрации моллюсками указанной размерной группы, л/сут.·экз.;

V_{ϕ} – расчетная мощность биофильтра, формируемого данной размерной группой моллюсков. Оценивается по формуле $V_{\phi} = N_i \cdot V_i$, л/сут.· м²

Участие обрастания гидротехнических сооружений в формировании санитарно-биологических условий акватории во многом определяется мощностью биофильтра, формируемого на его поверхности, которая является функцией биомассы моллюсков-фильтраторов [3], обитающих на конструкции. Однако для оценки этой величины удобнее использовать информацию о средней скорости фильтрации моллюсков различных размерных групп и численность указанных групп, как это делалось ранее [11]. Для расчета также принимается, что моллюски фильтруют 18 ч в сутки [12]. Данные о скорости фильтрации мидиями взяты по [12], фильтрационная способность митилястеров рассчитана на основании [13]. Расчет приведен в таблице.

В соответствии с материалами, представленными в табл., мощность биофильтра, создаваемого мидиями, в 2.4 раза ниже аналогичного показателя для митилястеров. Суммарный потенциал биофильтрации, создаваемый данными видами, составляет 8865 л/сут.·м². Площадь подводной части буны можно оценить порядка 100 м², таким образом, суммарная мощность биофильтра, функционирующего благодаря жизнедеятельности митилид на ее поверхности, составляет порядка 887 м³/сут.

Учитывая наличие в бухте 2-х аналогичных по размеру, строению и ориентации

в пространстве бун, можно предположить, что на их поверхности ежедневно отфильтровывается около 1770 м³ морской воды. Общий объем воды в бухте оценивается в 2.93 млн м³ [14]. Таким образом, моллюски-фильтраторы гидротехнических сооружений способны профильтровать 0.06% от объема бухты. Однако при этом необходимо учитывать, что активно фильтруется только вода, находящаяся вблизи поселений митилид [3], при этом зачастую она подвергается многократной очистке. В то время как в случаях слабого водообмена в акватории, воды, удаленные от массовых поселений фильтраторов, вовсе не подвергаются подобной обработке.

Заключение. Исследование обрастания гидротехнических сооружений в акватории с нестабильно благополучной экологической обстановкой (судя по состоянию донных осадков) показало, что поселения моллюсков-фильтраторов имеют достаточно высокие показатели численности и биомассы. Численность мидий составляла 527 экз./м² при биомассе – 159 г/м². Численность митилястеров на буне была 7930 экз./м², а их средняя биомасса – 1051 г/м². Доминирующую роль играют митилястеры, образующие на буне многолетние поселения, в отличие от мидий, возраст которых (судя по размеру) не превышал одного года. Благодаря высокой плотности поселений, митилидные моллю-

ски формируют мощный биофильтр на поверхности гидротехнического сооружения, удельный объем которого составляет 8865 л/сут.·м². Из них 2598 л/сут.·м² приходится на деятельность мидий и 6267 л/сут.·м² – на фильтрационную работу митилястеров.

Литература

1. Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 102 с.
2. Рубцова С. И. Гетеротрофные бактерии – показатели загрязнения и самоочищения морской среды // Экология моря. 2002. (62). С. 81–85.
3. Александров Б. Г. Теоретические основы управления качеством водной среды с помощью твердых субстратов // Доп. НАН Украины. 2001. № 5. С. 181–184.
4. Митилиды Черного моря. Киев: Наукова думка, 1990. 208 с.
5. Bergström Per. Blue Oceans with Blue Mussels – Management and planning of mussel farming in coastal ecosystems / Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. University of Gothenburg, Department of Biological and Environmental Sciences, 2014. 58 p.
6. Biomaniipulation as a Restoration Tool to Combat Eutrophication: Recent Advances and Future Challenges / Erik Jeppesen, Martin Söndergaard, Torben L. Lauridsen and oth. // Advances in Ecological Research. 2012. V. 47. P. 411–488.
7. Говорин И.А. Роль мидий из обрастания берегозащитных гидротехнических сооружений в формировании микробиологических характеристик морской среды пляжных акваторий // Гидробиол. ж. 2006. 42. № 3. С. 41–40.
8. Кирюхина Л.Н., Миронов О.Г. Химическая и микробиологическая характеристика донных осадков севастопольских бухт в 2003 г. // Экология моря: сборник науч. трудов. Севастополь, 2004. Вып. 66. С. 53–58.
9. Говорин И.А., Шацилло Е.И. Перифитонные поселения мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и митилястера *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) в условиях аномально высокой температуры прибрежных морских вод *Ruthenica*. 2012. V. 22, N 2. P. 101–110.
10. Шурова Н.М., Варигин А.Ю., Стадниченко С.В. Изменения популяционных характеристик черноморской мидии в условиях эвтрофирования и гипоксии морских прибрежных вод // Экология моря. 2004. Вып. 65. С. 94–99.
11. Соловьева О.В. Потоки нефтяных углеводородов через поселение мидий, обитающих на южном молу Севастопольской бухты (Черное море) // Морск. экол. ж. 2007. Т. 4, № 4. С. 61–68.
12. Миронов Г.Н. Фильтрационная работа и питание мидий Черного моря // Тр. Севастоп. биол. станции. 1948. Т. 6. С. 338–352.
13. Изучение респираторной и фильтрационной активностей у двух видов моллюсков в зависимости от экологических особенностей мест обитания / А.Н. Петров, Н.К. Ревков. М., 1987. С. 48–50.
14. Ковардаков С.А., Празукин А.В. Структурно-функциональные характеристики донного фитопланктона бухты Круглой (Севастополь) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2012. Вып. 7. С. 138–148.

NATURAL BIOFILTER OF THE HYDRAULIC STRUCTURES IN THE RECREATIONAL AREAS (KRUGLAYA BAY, THE BLACK SEA)

© O.V. Solovyeva, E.A. Tikhonova

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, RAS,
2, prospekt Nakhimova, 299011, Sevastopol, Russian Federation

In the conditions of recreational water areas hydraulic structures often serve as a major substrate for settling shellfish filter-feeders, i.e. mussels and mytilasters. Consequently, they form a thick biofilter that positively affects the quality of the aquatic environment and increases the attractiveness of recreational beaches in the area. Research on the fouling of hydraulic structures in the water area with unstable environmental conditions (judging from the state of bottom sediments) reveals that colonies of shellfish filter-feeders have sufficiently high abundance and biomass. The *Mytilaster lineatus* Gmel. species is dominant and forms perennial colonies on the wing dam as distinct from the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. whose age does not exceed one year. Due to their high population density, Mytilidae form a thick biofilter on the surface of the hydraulic structure, with the specific volume of 8.865 L/day/m². Mussels and mytilasters produce 2.598 and 6.267 L/day/m², respectively.

Key words: recreational area, hydraulic structures, mussels, mytilasters, biofilter, bottom sediments.

СТРУКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ КИЗИЛЬСКОГО РАЗЛОМА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© С.Е. Знаменский

По результатам структурных исследований уточнены кинематика и эволюция структуры регионального Кизильского разлома, расположенного в Магнитогорской мегазоне Южного Урала. В зоне Кизильского разлома выделены разрывные нарушения двух морфогенетических типов: ранние надвиги и поздние транс-прессивные левые сдвиги.

Ключевые слова: Южный Урал, разлом, надвиг, транспрессивный сдвиг, антиклиналь.

Огромное значение разрывных нарушений в структуре южноуральского орогена общепризнано. Вместе с тем изучена разрывная тектоника региона недостаточно полно, что отмечают и другие исследователи [1]. Примеры анализа разрывных нарушений с использованием современных структурных методов немногочисленны. Для многих региональных разломов орогена дискуссионными до сих пор остаются механизмы формирования, кинематика и динамика развития. К их числу относится крупный Кизильский разлом близмеридионального простирания, расположенный на западном фланге Магнитогорской мегазоны (рис. 1). Разлом, имеющий длину по простиранию более 300 км, ограничивает с востока область развития колчеданосных вулканогенных формаций девонского возраста. По материалам сейсмических и буровых работ [2, 3], он состоит из нескольких протяженных сместителей, образующих разломную зону западного падения. Мощность зоны достигает 5 км. Опубликованы противоречивые сведения о морфогенетическом типе системы Кизильского разрыва. К.П. Плюсниным они отнесены к левым сдвигам [4]. По данным Ю.В. Казанцева с соавторами [5], эти нарушения имеют надвиговую природу. Следует отметить, что разломная зона почти полностью перекрыта рыхлыми отложениями. Одним из не-

многих мест, где она доступна для структурных наблюдений, является эксплуатационный карьер колчеданного месторождения Бакр-Узяк (рис. 1). Карьер расположен на западном фланге зоны. Нами выполнено детальное структурное картирование карьера и проведен кинематический анализ разрывных нарушений. Кроме того, обобщены материалы буровых работ. Полученные данные позволили уточнить кинематику и особенности эволюции структуры Кизильской разломной зоны.

Предшествующими исследователями на месторождении был выделен надвиг западного падения [6]. Предполагалось, что он имеет чешуйчатую структуру. В строении отдельных пластин участвуют вулканогенные породы карамалыташской свиты (D_2), а также кремнистые и терригенно-карбонатные отложения позднеживетско-фаменского возраста [7, 8]. Мелкие тела сплошных и прожилково-вкрапленных колчеданно-полиметаллических руд локализованы в карамалыташских кислых вулканитах, слагающих одну из тектонических пластин.

По нашим данным, строение западного фланга Кизильской разломной зоны и, соответственно, месторождения определяют два разновозрастных разрывных нарушения западного падения: пологий высокоамплитудный надвиг и наложенный на него более крутой левый сдвиг (рис. 1, 2).

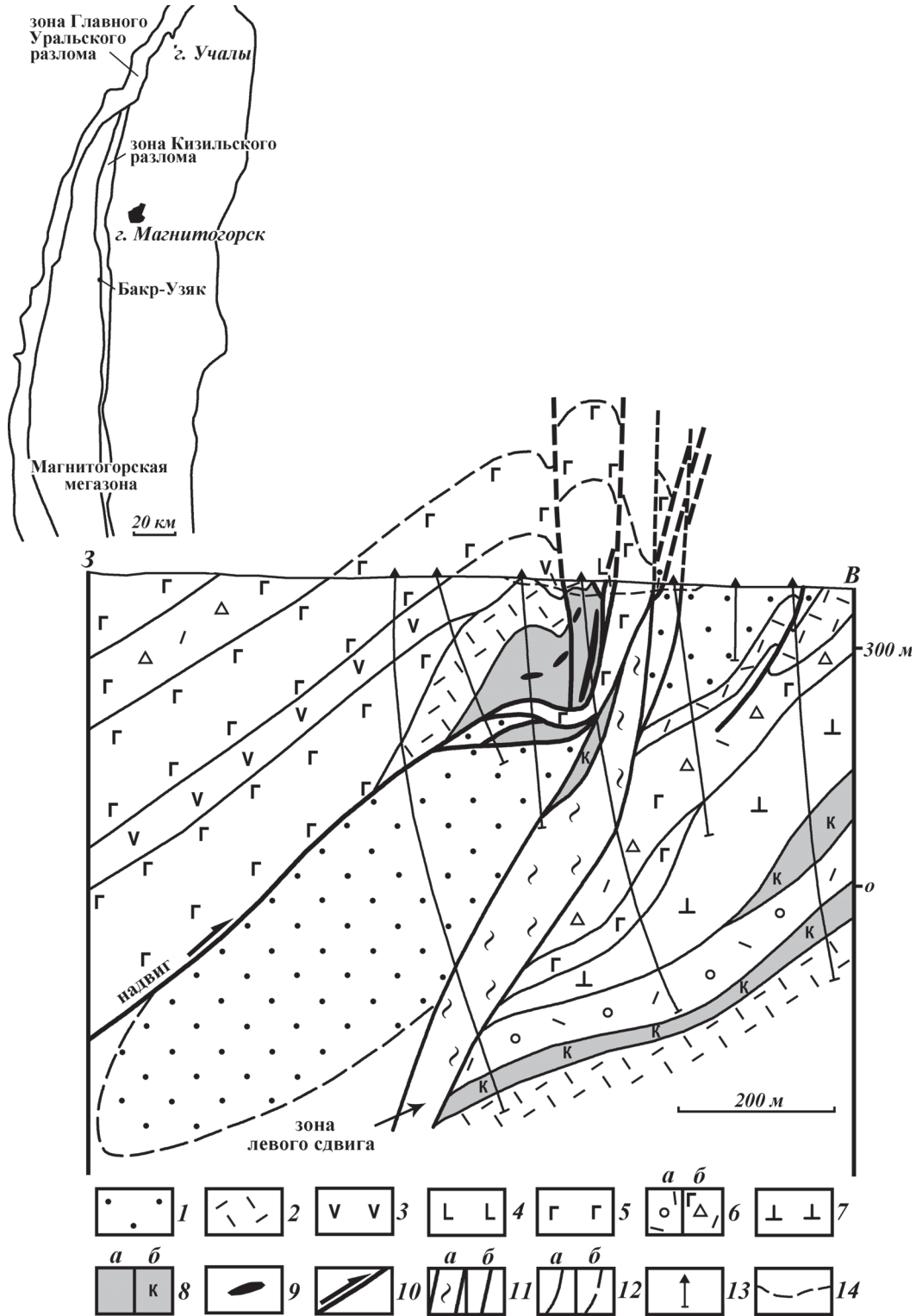


Рис. 1. Геологический разрез западного фланга зоны Кизильского разлома в районе месторождения Бакр-Узяк (составлен с использованием материалов П.В. Лазарева, Г.И. Водорезова, В.Г. Шигарева и А.М. Косарева): 1 – кремнистые и терригенно-карбонатные породы ($D_{2,3}$); 2–6 – карамалыташская свита (D_2): 2 – риодациты, 3 – андезиты и брекчии смешанного состава, 4 – пироксеновые порфириты, 5 – базальты с прослоями туфов основного состава и яшм, 6 – туфы кислого (а) и смешанного (б) состава; 7 – субвулканические риодациты; 8 – серицит-кварцевые (а) и карбонат-хлорит-кварцевые (б) метасоматиты; 9 – колчеданные залежи; 10 – надвиги и взбросы; 11 – зона левого сдвига (а) и ее вторичные разрывы (б); 12 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 13 – буровые скважины, 14 – контур карьера

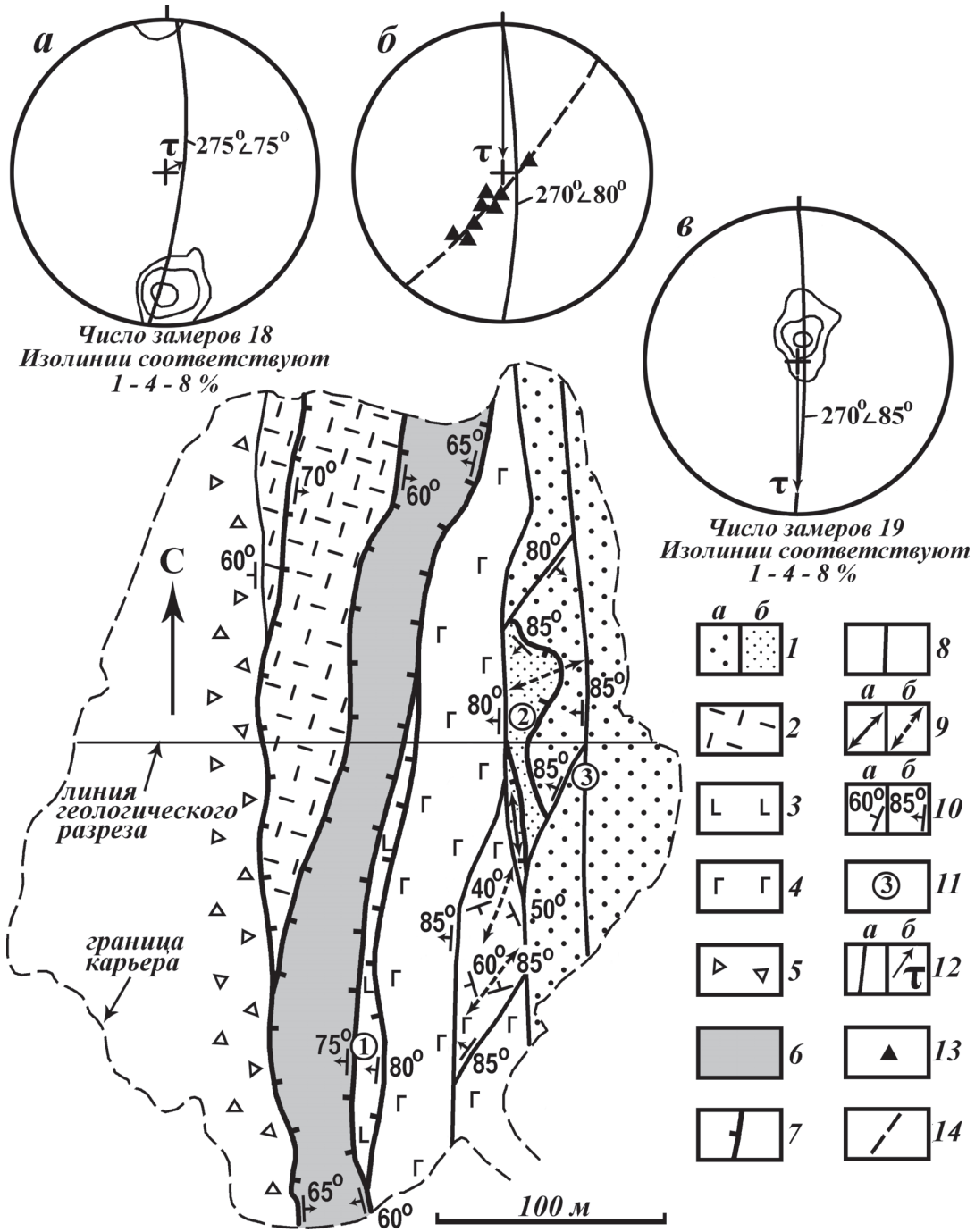


Рис. 2. Геолого-структурная схема карьера месторождения Бакр-Узяк (составлена с использованием данных Ф.И. Ковлева и А.М. Косарева).

Диаграммы (сетка Вульфа, верхняя полусфера) реконструкции векторов смещения висячих крыльев разломов: *a*, *в* – по линейности пересечения разрывов, образующих дуплексы (*a*), L-сколов и P-сдвигов (*в*), *б* – по ориентировке шарниров складок F_2 .

1 – терригенно-карбонатные (*a*) и преимущественно кремнистые (*б*) отложения ($D_{2,3}$); 2–5 – карамалыташская свита (D_2): 2 – риодациты, 3 – мегафировые пироксеновые порфириты, 4 – интенсивно динамометаморфизованные пиллоу-базальты с прослоями туфов основного состава и яшм, 5 – брекчии смешанного состава; 6 – серицит-кварцевые метасоматиты; 7 – взбросы и надвиги; 8 – левые сдвиги; 9 – оси складок F_1 (*a*) и F_2 (*б*); 10 – элементы залегания слоистости (*a*) и разломов (*б*); 11 – пункты структурных наблюдений и их номера; 12–14 – на диаграммах: 12 – плоскости разломов (*a*) и векторы смещения их висячих крыльев (*б*), 13 – шарниры складок F_2 , 14 – осевая плоскость складчатости F_2 .

Надвиг имеет листрическую форму. Его фронтальная часть, вскрытая эксплуатационным карьером, состоит из чешуйчатых разломов, круто падающих на запад-северо-запад под углами $60\text{--}85^\circ$ (рис. 1). Они представлены зонами рассланцевания, вмещающими разрывы с глиной трения и крупные зеркала скольжения. Мощность зон составляет $10\text{--}15$ м. При исследовании малых структурных форм удалось выявить две основные фазы движений по разломным зонам: ранние взбросовые и поздние левосдвиговые. Индикатором ранних смещений могут служить изоклинали складки F_1 с субгоризонтальными шарнирами, а также линзовидные дуплексные структуры взбросового типа, сохранившиеся в отдельных интервалах разломов. Участки развития дуплексов представляют собой пакеты тонких тектонических пластин, ограниченных магистральными зеркалами скольжения и зонами рассланцевания. Магистральные разрывы связаны между собой чешуйчатыми трещинами скола. Во всех пунктах наблюдений при анализе линейности пересечения разрывов, ограничивающих дуплексы [9], по разломным зонам восстановлены взбросовые движения (см. диаграмму «а» на рис. 2; пункт структурных наблюдений № 1). На поздние левосдвиговые движения по разломам указывают близгоризонтальные борозды на зеркалах скольжения, которые наложены на борозды, ориентированные по линии падения – восстания сместителей.

По падению на глубинах $150\text{--}200$ м надвиг приобретает близгоризонтальное залегание и имеет в этом интервале дуплексную структуру. Строение разлома на более глубоких горизонтах достоверно не установлено. По данным бурения, угол его падения увеличивается до $30\text{--}40^\circ$.

Вулканогенные породы карамалыташской свиты, распространенные в висячем крыле надвига, смяты в лежащую бескорневую антиклиналь F_1 . Западное крыло складки осложнено взбросами восточного падения, опирающимися основной надвиг. Ядро антиклинали выполнено серицит-кварцевыми метасоматитами, сформировавшимися по кислым

вулканитам. Колчеданные залежи локализованы среди серицит-кварцевых метасоматитов и располагаются на одном стратиграфическом уровне, который отчетливо трассирует антиклинальную структуру.

Крылья складки сложены вулканитами преимущественно основного состава. Лежачее крыло образуют пиллоу-базальты с прослоями туфов основного состава и яшм, а также крупнопорфировые пироксеновые порфириды. По литолого-фациальным и петрогеохимическим особенностям они идентичны вулканитам, слагающим висячее крыло антиклинали [8]. В пользу надрудного стратиграфического положения пиллоу-базальтов и порфиридов свидетельствует также отсутствие в них сколько-нибудь заметных признаков околорудных метасоматических изменений. Вероятно, Бакр-Узякское месторождение сформировалось на западном фланге вулканической постройки кислого состава, центральные зоны которой в современной структуре находятся в лежащем боку надвига. Рудоносный блок был перемещен по надвику в восточном направлении на расстояние не менее 1 км. Терригенно-карбонатные породы (D_{2-3}), примыкающие к надвику со стороны лежащего бока, смяты в синклиналию складку.

Поздний левый сдвиг хорошо обнажен в восточном борту карьера, что позволило детально изучить его строение. Сдвиговое нарушение представлено здесь разломной зоной мощностью $20\text{--}60$ м, секущей под острым углом систему чешуйчатых взбросов фронтальной части надвига. По сравнению со взбросами, имеющими север-северо-восточное простирание, сдвиговая зона ориентирована в меридиональном направлении. Она состоит из вторичных меридиональных и северо-восточных крутопадающих разрывных нарушений – зон смятия–рассланцевания мощностью до 10 м, сопровождающихся разрывами с глиной трения и крупными зеркалами скольжения. В кинематическом отношении меридиональные разломы являются левыми сдвигами с незначительной вертикальной компонентой смещения, тогда как северо-восточные нарушения – взбросами с под-

чиненной левосдвиговой составляющей. Вторичные разрывы образуют сдвиговые дуплексы сжатия линзовидной в плане формы [10]. В пределах тектонических линз вмещающие породы сильно динамометаморфизованы и местами смяты в конические складки F_2 с шарнирами, имеющими крутое падение на северо-восток (рис. 3). Примечательно, что взбросы, оказавшиеся внутри сдвиговой зоны, также деформированы в северо-восточные складки. Выявленные особенности строения сдвиговой зоны позволяют отнести ее к разрывным структурам транспрессивного типа [11].

Нами выполнены определения направлений вектора смещений по меридиональным разрывам, ограничивающих сдвиговую зону с запада и востока. В пункте структурных наблюдений № 2 (рис. 2) были произведены замеры элементов залегания шарниров и осевых поверхностей складок волочения F_2 , развитых в лежачем боку западного граничного разлома (аз. пд. $270^\circ 80^\circ$). В изучавшемся обнажении приразломные складки имеют различные углы наклона шарниров и близкие элементы осевых поверхностей, которые круто падают на северо-запад. На круговой диаграмме шарниры складок концентрируются вдоль одной поверхности – осевой плоскости складчатости F_2 (см. диаграмму «б» на рис. 2). Вектор смещения располагается ортогонально к линии пересечения этой плоскости с плоскостью разлома, который в данном случае является левым сдвигом с подчиненной сбросовой компонентой смещения.

Направление вектора перемещения по восточному граничному разлому было определено по линейности пересечения вторичных Y-сколов и P-сдвигов [12]. Исследования проводились в пункте структурных наблюдений № 3. Разлом имеет здесь следующие элементы залегания: аз. пд. $270^\circ 85^\circ$. Y-сколы и P-сдвиги представлены мелкими



Рис. 3. Складки с близвертикальными шарнирами, образовавшиеся в условиях сдвиговых деформаций. В складки смяты кремнистые сланцы, переслаивающиеся с известняковыми брекчиями. Пункт структурных наблюдений 2 на рис. 2

зеркалами скольжения или тонкими зонами рассланцевания меридионального и северо-восточного простирания соответственно. Для P-сдвигов характерна Z-образная форма. Установлено, что восточный граничный разлом относится к левым сдвигам с незначительной взбросовой составляющей смещения (см. диаграмму «в» на рис. 2).

Результаты кинематического анализа свидетельствуют о поднятии внутренних частей разломной зоны относительно ее крыльев, что является одним из диагностических признаков транспрессивных сдвигов [10, 11]. Амплитуду смещения по сдвиговой зоне достоверно оценить не удалось.

Таким образом, структура западного фланга Кизильского разлома в пределах месторождения Бакр-Узяк определяется сочетанием высокоамплитудного надвига и наложенного на него транспрессивного левого сдвига. Установленная особенность формирования разломной зоны, заключающаяся в смене надвиговых деформаций сдвиговыми, по нашим данным, отражает эволюцию геодинамического режима в Магнитогорской мегазоне на позднепалеозойском коллизионном

этапе ее развития. Этот режим характеризовался проявлением двух главных стадий тектогенеза (от ранних к поздним): 1) надвигообразования и 2) сдвигообразования в режиме левосторонней транспрессии [13].

Литература

1. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
2. Знаменский С.Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2009. 348 с.
3. Пучков В.Н., Косарев А.М., Знаменский С.Е., Светлакова А.Н., Разуваев В.И. и др. Геологическая интерпретация комплексного сейсмического профиля Урсейс-95 // Геологический сборник № 2. Уфа, 2001. С. 3–28.
4. Плюснин К.П. Области палеозойской складчатости. Урал // Разломы и горизонтальные движения горных сооружений СССР. М.: Наука, 1977. С. 5–16.
5. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А. и др. Структурная геология Магнитогорского синклиория Южного Урал. М.: Наука, 1992. 190 с.
6. Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В. Структурный фактор в теоретической геологии. Уфа: Гилем, 2010. 328 с.
7. Чибрикова Е.В. Стратиграфия девонских и более древних палеозойских отложений Южного Урала и Приуралья. М.: Наука, 1977. 190 с.
8. Косарев А.М., Знаменский С.Е. Бакр-Узякский вулканический комплекс: геологическое положение и петро-геохимические особенности вулканитов // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: материалы VIII Межрегиональной научно-практической конференции. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. С. 66–69.
9. Kano K.-J., Nakaji M., Takenchi S. Asymmetrical mélange fabrics as possible indicators of the convergent direction of plates: a case study from Shimanto Belt of the Akaishi Mountains, central Japan // *Tectonophysics*. 1991. V. 185. № 3–4. P. 375–388.
10. Woodcock N.H., Fisher M. Strike-slip duplexes // *J. of Structural Geology*. 1986. V. 8, № 7. P. 725–735.
11. Sanderson D.I., Marchini W.R.D. Transpression // *J. of Structural Geology*. 1984. V. 6, № 5. P. 449–458.
12. Cowan D.S., Brandon M.T. A symmetry-based for kinematic analysis of large-slip brittle fault zones // *American J. of Science*. 1994. V. 294. P. 257–306.
13. Знаменский С.Е. Структурная эволюция Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) в позднем палеозое // Доклады АН. 2008. Т. 420, № 1. С. 85–88.

STRUCTURAL EVOLUTION OF THE KIZIL FAULT (SOUTHERN URALS)

© S.E. Znamensky

Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, RAS,
16/2, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

Kinematics and structural evolution of the regional Kizil Fault located in the Magnitigorsk Megazone of the Southern Urals have been refined as a result of structural investigations. Two morphogenetic types of faults have been identified in the Kizil Fault zone, i.e. early thrusts and later transpressional sinistral strike-slip faults.

Key words: Southern Urals, fault, thrust, transpressional strike-slip fault, anticline.

УДК 33;39

ЭТНОСОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ В РЕГИОНАХ ЮЖНОГО УРАЛА

© А.Б. Юнусова, Г. Иом Дин, А.И. Тузбеков, Т.М. Надыршин,
Р.М. Мухаметзянова-Дуггал, А.Г. Баймов

Рассматриваются этнические, социальные и экономические аспекты инвестиционной политики на Южном Урале на основе материалов, собранных в ходе исследовательского проекта в Республике Башкортостан и Оренбургской области на примере Кармаскалинского и Саракташского районов. Представлены общая характеристика инвестиционного климата и потенциала районов, анализ социальной реакции населения на инвестиционные агропромышленные проекты, основанный на данных опроса населения. С применением метода анализа иерархий вычислена относительная важность критериев проектов, предложена модель связи между принятием экспертами решений в условиях риска и оценками важности критериев, и оценена ее значимость. Приведены результаты мониторинга публикаций СМИ, отражающих инвестиционную политику региона.

Ключевые слова: Южный Урал, этнический фактор, АПК, инвестиционная политика, безопасность, социальное самочувствие, метод анализа иерархий, принятие решений, СМИ.

Инвестиционная политика в каждой области и республике разработана в соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг., утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 (в редакции от 19 декабря 2014 г. № 1421), а также с учетом природно-климатических, этнодемографических и социально-экономических особенностей региона. Промышленность, сельское хозяйство, строительство жилья и объектов социальной сферы, жилищно-коммунальное хозяйство, занятость населения явля-

ются общими приоритетами в инвестиционной стратегии регионов. В то же время каждый регион имеет свои конкурентные преимущества, обусловленные природными ресурсами, рабочей силой, основными фондами, инфраструктурой. Большинство применяемых методов оценки инвестиционных проектов основаны на критериях дисконтированных денежных потоков, при этом риски, связанные с оценками, оцениваются либо качественно (технологические, погодные), либо с помощью отдельных показателей (нулевая рентабельность, увеличение срока окупаемости).

Этносоциальная, тем более этноконфессиональная составляющая, труднее поддаю-

ЮНУСОВА Айслу Билаловна – д.и.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: aby_02@mail.ru

ИОМ ДИН Григорий – к.э.н., Открытый университет Израиля, e-mail: gregoryyd@gmail.com

ТУЗБЕКОВ Айнур Ильфатович – к.и.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: tuzbek.80@mail.ru

НАДЫРШИН Тимур Маратович, Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: timurimp@mail.ru

МУХАМЕТЗЯНОВА-ДУГГАЛ Регина Массаровна – д.полит.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: mregina@yandex.ru

БАЙМОВ Айрат Гайсарович, Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: baimov.airat@mail.ru

щаяся количественным оценкам, редко увязывается непосредственно с рентабельностью и рискованностью проекта. Подобного рода подход к оценке ресурсов региона был предложен в частности Л.М. Дробижевой [1].

Авторы настоящей статьи предлагают оценивать инвестиционные проекты на основе анализа комплекса этноконфессиональных и социально-экономических составляющих и связанных с ними рисков в рамках единой аналитической процедуры. Предлагаемый авторами подход позволяет сравнивать между собой различные АПП, предлагаемые для региона, и отвечает задачам повышения инвестиционной привлекательности регионов, стимулирования их к привлечению инвестиций для создания новых производств и увеличения высокопроизводительных рабочих мест (перечень поручений Президента В.В. Путина по итогам заседания Государственного совета по вопросу о повышении инвестиционной привлекательности регионов, состоявшегося 27.12.2012 г.). Одним из инструментов оценки регионов является предложенный на Петербургском международном экономическом форуме (СПб., 22–24 мая 2014 г.) национальный рейтинг, который измеряет эффективность работы властей региона по улучшению деловой среды вне зависимости от географических и климатических характеристик конкретного региона.

Апробация метода предполагается на основе созданной базы данных оценок экспертов в Башкортостане и Оренбургской области, отличающихся этническим и религиозным многообразием.

Согласно данным рейтингового агентства РАЕХ («Эксперт РА»), в 2014 г. Республика Башкортостан по своей инвестиционной привлекательности вошла в группу регионов со средним потенциалом – минимальным риском (2А) наряду с Белгородской областью и Республикой Татарстан. Оренбургская область вошла в группу регионов с пониженным потенциалом – умеренным риском (3В1) [2]. Позиция региона в общероссийском рейтинге не исключает возможность сравнительного анализа инвестиционного потенциала

Башкортостана и Оренбуржья, особенно их отдельных районов, имеющих одинаковые показатели, характеризующие районы в целом. Республика Башкортостан и Оренбургская область представляют собой единое историко-культурное пространство, где сформировался особый этнокультурный ландшафт, отличающийся длительным во времени и в географическом пространстве межцивилизационным взаимодействием. В физико-географическом отношении оба региона находятся на стыке лесной и степной природных зон и входят в географическое понятие «Южный Урал». Расположенный вдоль восточной оконечности Европейской части России, Южный Урал вбирает в себя часть Уральских гор, – до десяти горных хребтов тянутся параллельно друг другу с северо-востока на юго-запад, а по восточному склону Уральского хребта проходит условная граница между двумя частями света – Европой и Азией. В экономическом плане Южный Урал представляет собой крупный сырьевой, топливно-энергетический, промышленный, сельскохозяйственный центр России. Промышленный Южный Урал граничит с равнинными и степными районами земледелия и животноводства. Здесь возделывают озимую рожь, овес, лен, ранние сорта яровой пшеницы, в южной части региона выращивают пшеницу и подсолнечник, в Башкортостане – сахарную свеклу. Развито здесь и животноводство; выращивают крупный рогатый скот, овец, а в Оренбургской области – знаменитых своим пухом оренбургских коз. Ландшафтная структура Южного Урала и благоприятные климатические условия обусловили заселение и освоение территории региона с древнейших времен. В совокупности с сырьевыми и биологическими ресурсами они обеспечивают устойчивость природных систем по отношению к естественным и антропогенным воздействиям. Контактность как специфика Южного Урала особенно ярко проявляется в его этническом и конфессиональном многообразии. Это один из самых сложных – мозаичных – в этноконфессиональном отношении регионов многонациональной России. Этнографы отмечают

неоднородность и неравномерное распределение этнического состава населения южноуральского края, обусловленные тем, что прилегающие к южным отрогам Уральских гор степи с древнейших времен служили своего рода трансцивилизационным коридором. По нему осуществлялось «великое переселение народов», шли бесконечные миграционные процессы. Этноконфессиональная ситуация на Южном Урале характеризуется исламо-христианским равновесием [3], отсутствием конфликтов как на уровне «государство : верующие», так и на уровне «традиционные : нетрадиционные религии». В силу общих природно-климатических характеристик здесь сформировалась единая культура жизнеобеспечения, основу которой на протяжении столетий составляют традиционные виды хозяйственной деятельности: земледелие и животноводство. Безусловно, этнокультурный ландшафт Южного Урала подвергался и подвергается воздействиям различного характера, к числу которых можно отнести интенсивные политико-трансформационные и миграционные процессы, приобретающие особое значение в эпоху глобализации. Однако при этом сохраняются синергетические свойства южноуральской этноконтактной зоны, которые свидетельствуют о способности к саморегулированию и самоорганизации этнокультурного пространства. Общим для двух регионов является конструктивная инвестиционная политика, направленная на социально-экономическое развитие региона, рост занятости и благосостояния его населения.

Инвестиционная политика Оренбургской области развивается в соответствии с Концепцией улучшения инвестиционного климата в Оренбургской области, утвержденной постановлением Правительства Оренбургской области от 29 сентября 2011 г. № 929-п [4]. Главными ожидаемыми результатами реализации Концепции являются благоприятный инвестиционный климат, создающий условия для устойчивого и сбалансированного развития экономики Оренбургской области, увеличение объема инвестиций в основной капитал, создание новых конкурентоспо-

собных импортозамещающих производств, а также рост конкурентоспособности экономики в точках роста, определенных стратегией развития Оренбургской области до 2020 и на период до 2030 г.

Агропромышленный комплекс является ресурсом инвестиционной привлекательности области. Оренбургская область обладает вторым по размерам полем в Российской Федерации – более 6 млн га посевных площадей. Объем сельско-хозяйственного производства имеет устойчивую тенденцию к росту. В регионе действуют 734 сельскохозяйственные организации, 6,8 тыс. крестьянских хозяйств, 300 тыс. личных подсобных хозяйств. Область производит 3 млн т элитных зерновых культур, здесь выращивают также масличные культуры, развито мясное и мясомолочное животноводство, производство и сервис сельхозтехники. На территории области формируется индустриальное «ядро» мясного животноводства – агропромышленный кластер «Мясное скотоводство Оренбуржья». Планируется довести до 300 тыс. голов стадо крупного рогатого скота мясных пород, увеличить за шесть лет численность маточного стада мясных пород более чем в три раза, реализовать не менее 8200 т живого веса крупного рогатого скота (КРС) на убой, 1000 голов телочек и 320 голов бычков на племенную продажу, привлечь к участию в программе широкий круг СПК, фермерских и личных подсобных хозяйств, обучить за рубежом молодых специалистов и создать не менее 550 новых рабочих мест, запланировано строительство новых ферм и откормочных площадок [5]. Прозрачность планов и решений обеспечивает Инвестиционный портал Оренбургской области [6].

Позиция руководства Башкортостана изложена в Инвестиционном послании Рустэма Хамитова, с которым он обратился к Правительству 9 июня 2015 г. В послании обозначены основные приоритеты Правительства республики в части развития инвестиционной деятельности, наиболее важные шаги по формированию эффективной деловой среды. В частности, одной из важных за-

дач является доведение доли инвестиций в валовом региональном продукте с 21 до 25% к 2019 г. Глава Башкирии назвал свое Инвестиционное послание «инструментом для работы инвесторов». Руководитель региона обратился к своему кабинету министров с первым Инвестиционным посланием, обозначив основные приоритеты работы республиканского правительства, назвав ключевые точки роста и наиболее важные шаги в сфере инвестиционной деятельности и формировании эффективной деловой среды.

Агропромышленный комплекс Башкортостана, подчеркнул Рустэм Хамитов, располагает значительным потенциалом для инвестирования и последующего повышения конкурентоспособности. Важно, что в эту сферу пришли крупные инвесторы. Также руководитель Башкортостана сообщил, что в регионе готовится к реализации крупнейший в стране проект по развитию молочного скотоводства группы компаний «Дамате», в рамках которого создается современный высокотехнологичный комплекс, генетический центр по воспроизводству молочного стада. «Успешная реализация проекта позволит увеличить поголовье крупного рогатого скота на 6 тыс. голов и производство молока на 50 тыс. т в год, – уверен президент. – В инвестиционном портфеле – реализация еще нескольких крупных проектов». При этом руководитель Башкирии убежден, что «республике требуется другая динамика – ежегодно должно вводиться в строй порядка 8–10 крупных современных производственных комплексов». Как считает Р. Хамитов, «вложения в АПК должны быть направлены в первую очередь на внедрение достижений агронауки в сфере селекции, новых технологий, рост производительности труда, привлечение в отрасль высоко-

квалифицированных кадров. Практический опыт общения с инвесторами показывает, что сегодня только предоставления налоговых льгот уже недостаточно. Эти преференции есть практически у всех регионов. Необходимо отработать эффективную модель сопровождения инвестпроектов на всех стадиях – от замысла до выхода на производственный цикл». По словам главы республики, сельхозпредприятия республики занимаются модернизацией производственных мощностей, увеличивают производительность труда. Поэтапно завершается инвестиционная фаза крупных проектов по развитию тепличного овощеводства в Уфимском районе (ГУСП совхоз «Алексеевский»), свиноводства в Благоварском, Буздякском и Чишминском районах («Башкирская мясная компания», «Уфимский селекционно-гибридный центр»), птицеводства в ряде районов (УПАГ), производства яйца и мяса птицы в Альшеевском и Мелеузовском районах («Башкирский бройлер», «Башкирский птицеводческий комплекс им. Гафури» [7].

С целью повышения инвестиционной привлекательности в республике создано Государственное автономное учреждение Республики Башкортостан «Агентство по привлечению инвестиций» [8], прозрачность инвестиционной политики обеспечивает Инвестиционный портал Республики Башкортостан [9].

Руководители двух регионов одинаково оценивают цель, задачи и перспективы инвестиционной политики. Сегодня на бирже инвестиционных проектов Приволжского федерального округа Башкортостан и Оренбургская область занимают лидирующие позиции по количеству предлагаемых проектов и их просмотров (рис. 1, табл. 1) [10].

Т а б л и ц а 1

Количество обращений к инвестиционным проектам в субъектах ПФО

Субъект ПФО	Количество инвестиционных проектов	Количество обращений
Республика Башкортостан	59	13563
Оренбургская область	65	20789
Остальные 12 субъектов ПФО	196	34429

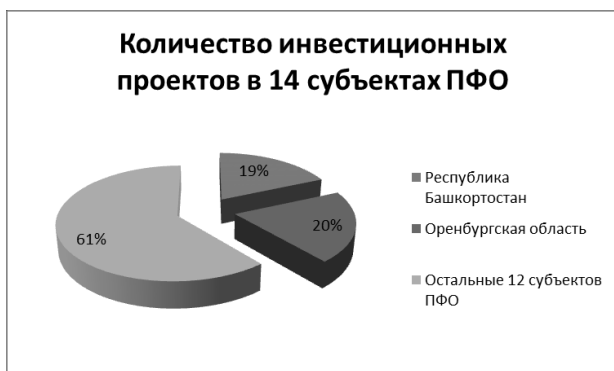


Рис. 1. Количество инвестиционных проектов в субъектах ПФО

В 2015 г. для проведения пилотного исследования среди населения и экспертов-ЛПР (лиц, принимающих решение) нами были выбраны Саракташский район Оренбургской области и Кармаскалинский район Республики Башкортостан. Обоснованием выбора данных районов послужили этнический состав населения, структура хозяйственной деятельности, количество крупных агропромышленных проектов, общая занятость населения. Существенно отличаясь друг от друга по площади, плотности населения и природно-климатическим условиям, эти два района имеют сходные показатели по этническому разнообразию населения, что важно при рассмотрении этнического фактора социальной реакции населения на реализацию инвестиционных проектов в агропромышленной сфере.

Саракташский район – один из крупнейших сельскохозяйственных районов области, занимающий 363.9 тыс. га, из которых площади земель сельскохозяйственного назначения составляют 311.7 га, или 85.7%. В районе в 20 муниципальных образованиях проживает 43.9 тыс. чел., представляющих более 20 этносов. Русские составляют 67%, татары – 16%, казахи, башкиры и украинцы представлены в равных долях – по 4.6%. Занятость населения составляет 40%. В районе на базе ООО «Мясная корпорация «Меркурий» реализуется крупнейший агропромышленный проект развития мясного скотоводства и строительства откормочных площадок для КРС. Проектом предусматривается покупка 24 тыс. племенных голов КРС мясного на-

правления, строительство на территории Саракташского района 5 откормочных площадок и производство на убой ежегодно 27 тыс. голов (17 500 т живого веса). Проектом предусматривается создание селекционно-генетического центра, состоящего из племенного завода на 420 чистопородных свиноматок, двух племенных репродукторов по 2700 свиноматок, площадки откорма для выращивания до 60 тыс. голов свиней, убойного цеха мощностью 500 голов в сутки; комбикормового завода мощностью 30 т в час для обеспечения всего поголовья кормами [11]. Еще один крупный инвестиционный проект реализуется на базе ООО «ОРЕНБИВ», он предполагает создание и запуск убойного производства КРС с частичной переработкой мяса в Оренбургской области и вертикально интегрированной системы: от убоя КРС до переработки и реализации мясных полуфабрикатов компанией «Иналка» в России [12].

Кармаскалинский район Республики Башкортостан относится к промышленно-сельскохозяйственному. Общая площадь – 175 тыс. га, из них сельскохозяйственного назначения – 116 тыс. га, или 68%. В 16 муниципальных образованиях проживает 50.2 тыс. чел., из них башкиры составляют 39.6%, татары – 31.9%, русские – 16.5%, чувашаи – 9.3%, мордва – 1%, всего в районе проживают представители более 40 народов.

Основная отрасль экономики – сельское хозяйство, которое специализируется на возделывании зерновых культур, сахарной свеклы. В животноводстве наибольшее развитие получило молочное производство, развито пчеловодство. Сельское хозяйство специализируется на возделывании зерновых культур и сахарной свеклы – более 95% площадей заняты этой культурой. На базе ООО «Карламанский сахар» реализуется крупный инвестиционный проект, предполагающий реконструкцию сахарного производства и доведение мощностей переработки сахарной свеклы до 3 тыс. т в сутки. ООО «Карламанский сахар» является также крупнейшим молочноконсервным производством в Республике Башкортостан по выпуску сгущенного моло-

ка. Предприятие располагает производственными мощностями для изготовления сахара-песка ГОСТ 21-94, сгущенного молока на условиях ГОСТ 8.5%, молока пастеризованного 3.2%, масла крестьянского, сметаны, катыка, йогурта и другой сопутствующей продукции. ООО «Карламанский сахар» имеет железнодорожный пункт со станции Сахарозаводская КБШ ЖД протяженностью 5.6 км, с подвижным составом, автотранспортный цех на 100 единиц механизмов и автомобилей, ремонтные мастерские, цех мягкой тары, два свеклоприемных пункта. Два крупных агропромышленных комплекса ООО ПХ «Артемида» и ЗАО АПХ «Алатау» реализуют проекты строительства молочно-товарных ферм на 3 тыс. голов дойного стада.

Материалы исследования. I. Опрос экспертов. В ходе полевых исследований в мае–октябре 2015 г. в названных двух районах проводился опрос экспертов – лиц, принимающих решения (ЛПР) – по специально разработанной анкете «Инвестиционная стратегия и агропромышленные проекты на Южном Урале», создана база данных оценок экспертов в Башкортостане и Оренбургской области. Анкета для опроса экспертов разработана к.э.н., сотрудником факультета управления и экономики Открытого университета Израиля Г. Иом Дином с участием д.и.н. А.Б. Юнусовой. Ее структура включает 3 раздела, вытекает из поставленных целей исследования и относится к критериям оценки агропромышленных проектов (АПП) и к особенностям принятия решений экспертами в условиях риска.

Структура анкеты экспертов. Раздел А включает вопросы, предназначенные для применения метода анализа иерархий (МАИ), которые позволяют эксперту сравнивать попарно критерии оценки АПП, а также этносоциальные региональные показатели внутри шести различных групп – три группы критериев проектов (финансовые, социальные, и показатели риска) и три группы этносоциальных показателей (общественная и экологическая безопасность и социальное самочувствие населения). Вопросы второго уровня в

анкете построены также в форме попарных сравнений, теперь уже между группами критериев АПП или группами этносоциальных показателей. Состав вопросов в разделе А позволяет учитывать мнения экспертов, различающихся по своему пониманию интересов инвесторов и региона, выгод и рисков АПП (рис. 2, А).

Раздел Б включает вопросы относительно особенностей выбора эксперта в условиях риска. Эти вопросы позволяют определить, проявляются ли эффекты достоверности, зеркальный и изоляции среди выбранных экспертов (рис. 2, Б).

Вопросы раздела В относятся к личности эксперта, позволяют составить его социальный портрет (рис. 2, В).

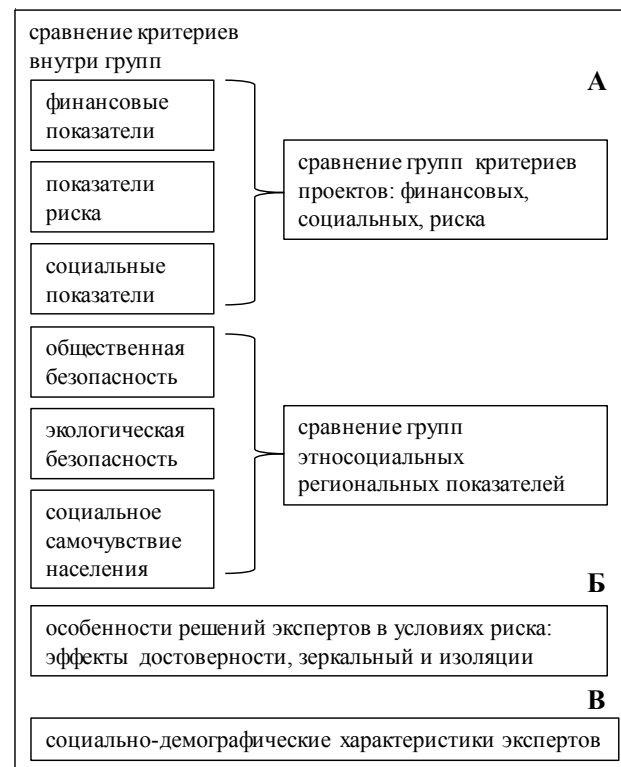


Рис. 2. Структура анкеты экспертов

Описание данных. В 2015 г. в Кармаскалинском районе Республики Башкортостан были опрошены 12 и в Саракташском районе Оренбургской области 6 экспертов. Отбор респондентов производился из целевой группы, к которой отнесены лица, непосредственно принимающие ответственные решения и несущие всю финансовую и юридическую

Профессиональный состав экспертов

Сфера профессиональной деятельности респондентов	Мужчины, % от ответивших	Женщины, % от ответивших
Руководитель/владелец АПК	46	–
Финансовый директор/главный бухгалтер АПК	–	15
Руководитель администрации районного/муниципального уровня	31	8
Стаж работы в указанной сфере, лет	14	14

ответственность – руководители районной администрации, кредитно-финансовых организаций, предприятий. Репрезентативность соответствует формальным критериям выборки опрашиваемых при проведении социологических исследований. Опрос был произведен в форме личного интервью.

Профессиональный состав экспертов показан в табл. 2. Мужчины и женщины имеют одинаковый профессиональный стаж, но доля руководителей различного уровня составляет 100% от количества экспертов-мужчин и 35% от количества экспертов-женщин.

Применение МАИ. Каждый из экспертов ответил на 33 вопроса анкеты, к которым применен метод анализа иерархий, прочно зарекомендовавший себя в качестве инструмента исследований в различных областях сельского хозяйства, экономики, демографии, медицины и др. [13]. Метод предусматривает, что каждый эксперт отвечает на вопросы относительно всех возможных парных сравнений между критериями оценки АПП, отдельно для каждой группы критериев. Например, если в группе сравниваются три критерия *a*, *b*, *c*, то эксперт отвечает на сравнения между критериями *a* и *b*, *a* и *c*, *b* и *c*. Затем на основе парных сравнений с использованием алгоритма МАИ вычисляется относительная важность

критериев в данной группе. Метод позволяет сравнивать как количественные, так и качественные критерии оценки проектов.

В данном исследовании для каждой пары критериев эксперт выбирает один из пяти предлагаемых вариантов предпочтения. Например, сравнивая критерии *a* и *b*, эксперт может выбрать между ответами «*a* намного менее важен чем *b*», «менее важен», «равен», «более важен» или «намного более важен». Каждому словесному варианту ответа присваивается численное значение по одной из принятых в МАИ шкал. В данном исследовании использовались «шкала 1–9», предложенная Saaty [14], и альтернативная «сбалансированная» шкала [15]. Для предложенной анкеты значения ответов, согласно этим двум шкалам, были определены, как это показано в табл. 3 [14, 16].

Для проведения исследования разработана анкета, позволяющая исследовать мнения экспертов о важности критериев оценки АПП и особенности принятия ими решений в условиях риска. Структура анкеты позволила успешное применение МАИ: для каждой группы критериев определены наиболее важные из них с точки зрения экспертов. Большинство вопросов анкеты использовались и в других опубликованных исследованиях,

Численные значения ответов экспертов по различным шкалам

Ответ эксперта, сравнивающего два критерия	Численное значение ответа	
	шкала 1–9	сбалансированная шкала
Намного менее важен	0.200	1/2.33
Менее важен	0.333	1/1.5
Равен	1	1
Более важен	3	1.5
Намного более важен	5	2.33

в которых применяется МАИ для оценки сельскохозяйственных проектов. Так, в статье van der Merwe et al. [17] из Южно-Африканской Республики сравниваются бизнес-планы проектов из различных сельскохозяйственных отраслей. Авторы определяют сравнительную важность нескольких критериев оценки проектов, из которых наиболее важные подобны использованным нами: создание рабочих мест, создание дохода, экономическая, социальная и экологическая устойчивость.

Результаты подтверждают четыре из пяти выдвинутых гипотез о том, что большинство экспертов в условиях риска принимают решения в соответствии с положениями теории перспектив. Показано, что опрошенные эксперты склонны к неприятию риска, предполагая проект прибыльным (гипотеза 1), и, наоборот, склонны к риску, предполагая проект убыточным (гипотезы 3, 4); они склонны пренебрегать возможными результатами этапа 1 при оценке многоэтапных проектов (гипотеза 5). Во многом сходные результаты получены и в других эмпирических исследованиях. Coelho et al. [18] и Восқи́е́но et al. [19], основываясь соответственно на данных опроса португальских и французских фермеров, устанавливают их неприятие / склонность к риску в случае ожидаемых прибыли/убытка от финансовых решений, как это сформулировано в гипотезах 1–4. Авторы этих статей предлагают учитывать взаимовлияние сельскохозяйственной политики и решений фермеров в условиях риска. В статье Wehrgung [20] отмечается, что руководители (в нашей статье – эксперты), в отличие, скажем, от студентов (на опросах которых построены многие эмпирические статьи) в различных отраслях по-разному склонны к неприятию риска. В банковской отрасли, например, по сравнению с нефтяной, руководители менее склонны к риску. Подобный результат получен и в статье Tobu и Peterside [21], которые, исследуя данные из Нигерии, заключают, что банки менее охотно кредитуют инвестиции в сельском хозяйстве по сравнению с промышленностью. Одно из воз-

можных объяснений неподтверждения гипотезы 2 – это то, что и в агропромышленной отрасли России эксперты менее склонны к риску.

Что касается подтвердившегося эффекта изоляции, он важен, в частности, при оценке многоэтапных (с целью снижения инвестиционных рисков) проектов интегративных животноводческих комплексов. В этих проектах могут рассматриваться несколько версий с одним и тем же первым этапом. Затем могут сравниваться варианты расширения комплексов на следующих этапах – дополнительные инвестиции в завод кормов, родительское стадо, завод переработки мяса и др. Согласно эффекту изоляции, большинство экспертов могут сравнивать эффективность дополнительных инвестиций без учета результатов первого этапа.

Показана значимость регрессионной модели особенностей принятия экспертами решений в условиях риска, когда объясняющими переменными являются оценки критериев. Это значит, что относительная важность критериев, вычисляемая с помощью МАИ для экспертов, может быть непосредственно связана с принятием ими решений о реализации проекта, т.е. с тем, насколько решения экспертов близки к модели рационального выбора или к предположениям теории перспектив. Понимая важность критериев для экспертов, можно обратить больше внимания на обоснованность и детализацию расчетов этих критериев, на форму их представления, на их включение на видное место в резюме проекта.

На основании проведенного исследования можно заключить следующее:

- 1) разработанная анкета позволяет вычислять относительную важность критериев оценки АПП с применением МАИ;
- 2) анализ ответов экспертов позволяет классифицировать их по принятию решений в условиях риска в соответствии с положениями теории перспектив;
- 3) оценена значимость модели связи между принятием экспертами решений в условиях риска и оценками критериев.

Материалы исследования. 2. Опрос населения. Для выявления социальной реакции местного населения на проводимую в регионе инвестиционную политику был проведен опрос жителей. В Кармаскалинском районе Республики Башкортостан и Саракташском районе Оренбургской области было опрошено 52 и 44 человека соответственно. Отбор респондентов производился по методу пропорциональной стратифицированной выборки. Репрезентативность соответствует формальным критериям выборки опрашиваемых при проведении социологических исследований. Опрос был произведен в форме анкетирования. Анкета «Инвестиционные агропромышленные проекты в вашем регионе» разработана А.Б. Юнусовой с участием А.И. Тузбекова и Т.М. Надыршина. Методическую помощь в разработке анкеты оказали научные сотрудники Центра исследования межнациональных отношений Института социологии РАН под руководством профессора Л.М. Дробизевой. В анкету включены вопросы, отражающие оценку жителями собственного социально-экономического положения, удовлетворенность работой, видение перспектив улучшения собственного положения, позволяющие оценить отношение жителей района к инвестиционным АПП с точки зрения улучшения благосостояния жителей, экологии, развития социальной инфраструктуры. Ряд вопросов направлены на выявление отношения жителей к трудовым мигрантам, занятым в АПП,

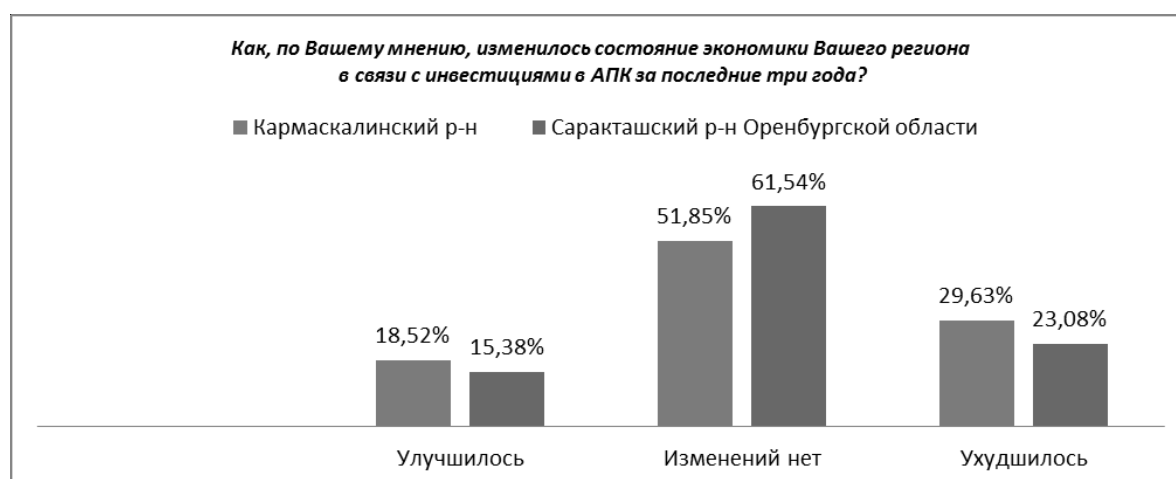
оценки этноконфессиональной ситуации в районе.

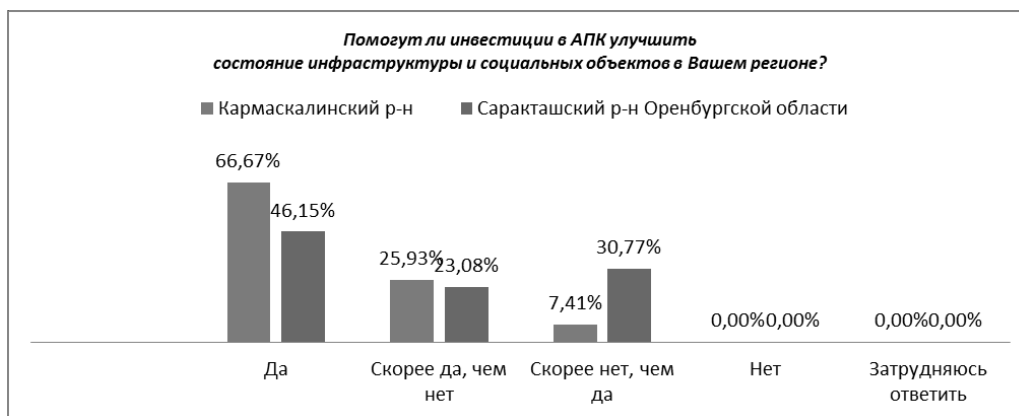
Следует отметить, что жители обоих районов слабо осведомлены о состоянии экономики и привлечении инвестиций в АПК. Основным источником информации при этом являются печатные СМИ и телевидение – 81.5% ответов в Кармаскалинском районе и 69.2% в Саракташском. Для 7.5% источником информации являются соседи.

Более половины населения обоих районов довольно скептически оценивает результаты инвестиционной политики в плане улучшения состояния экономики в связи с инвестициями в агропромышленные комплексы.

Вместе с тем жители в целом положительно оценивают перспективы развития районов и считают, что инвестиции в агропромышленные проекты будут все же способствовать улучшению инфраструктуры районов, строительству новых социальных объектов. В Кармаскалинском районе на вопрос «Помогут ли инвестиции в АПК улучшить состояние инфраструктуры и социальных объектов в Вашем регионе?» положительно ответили (да/скорее да, чем нет) 92.6%, в Саракташском – 69.2%. Но, в отличие от кармаскалинцев, где только 7.41% отрицательно ответили на этот вопрос, треть саракташцев (30.77%) ответили на него отрицательно.

По-разному оценивают жители перспективы трудоустройства молодежи в связи с привлечением инвестиций в сельское хозяйство своего района. Только 37.5% кармаска-

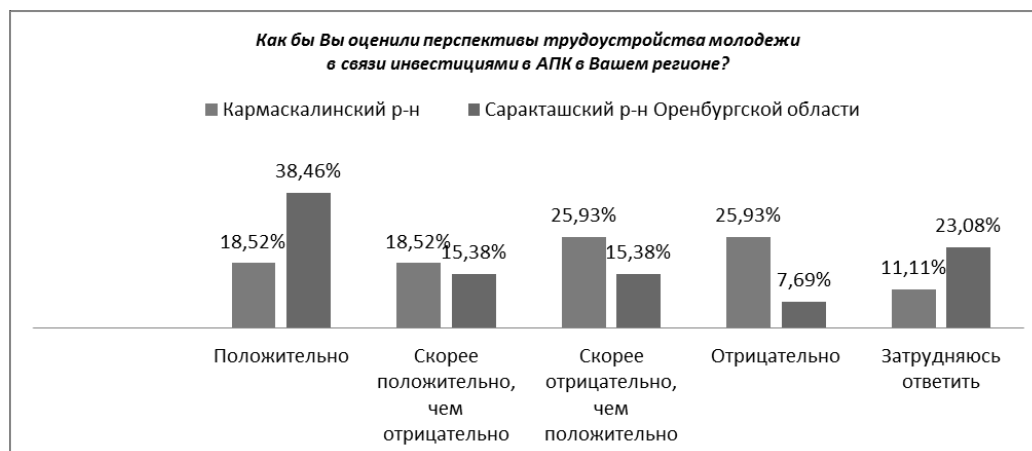




линцев оценили их положительно/скорее положительно, а более 50% – скорее отрицательно/отрицательно, затруднились ответить 11.11%. В Саракташском районе положительные ответы составили почти 54%, отрицательные – 23.1%. Частично мнение кармаскалинцев относительно трудоустройства в районе можно объяснить тем, что молодежи есть куда уехать, большая часть молодых людей трудоустроивается в расположенном рядом мегаполисе – Уфе, которая находится на расстоянии 22.5 км от Кармаскалинского района, многие остаются жить в районе и ежедневно выезжают в Уфу на работу. Саракташ находится в 100 км от Оренбурга, поэтому молодежь в основном ищет работу в своем районе. И поэтому же почти четверть опрошенных затруднились ответить на вопрос «Как бы Вы оценили перспективы трудоустройства молодежи в связи с инвестициями в АПК в Вашем регионе?».

Ряд вопросов анкеты были направлены на выяснение отношения местных жителей

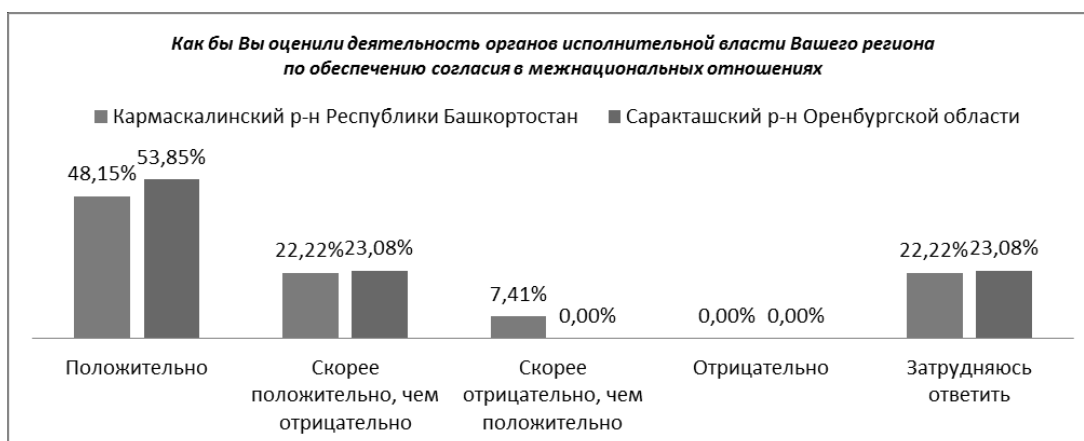
к трудовым мигрантам. Через Оренбуржье и Башкортостан проходят большие потоки мигрантов из стран Центральной Азии. Миграционный поток направляется в экономически сильные регионы России и прежде всего в Москву. Вместе с тем значительная часть мигрантов оседает на приграничных с азиатскими государствами территориях Российской Федерации. Своеобразными транзитными регионами из Центральной Азии в Россию стали Оренбургская, Челябинская и Самарская области, Республика Башкортостан. Отсюда потоки мигрантов распределяются в Приволжский, Уральский и Центральный округа, а также частично в северо-западном направлении. Оренбуржье и Башкортостан являются привлекательными регионами с точки зрения возможности трудоустройства. Большинство трудовых мигрантов заняты в строительстве, сфере услуг, в сельском хозяйстве (главным образом в овощеводческих хозяйствах) [22]. Мы попытались выяснить, как местные жители относятся



к тому, что рабочие места в агропромышленных комплексах занимают жители других регионов России и мигранты, считают ли они мигрантов своими конкурентами. Оказалось, что в Кармаскалинском районе на вопрос «Как Вы относитесь к тому, что в Вашем регионе рабочую силу из других регионов страны привлекают для работы»

в сельскохозяйственных АПК, работающих по инвестиционным проектам?» положительно и нейтрально ответили 77.37%, отрицательно – только 18.52%. В Саракташском – 38.46% и 61.54% соответственно.

Около 70% саракташцев считает, что трудовые мигранты отнимают рабочие места у местных жителей и только 23.08% не видят



в них конкурентов. Среди кармаскалинцев та-ких оказалось 44.44 и 48.15% соответственно.

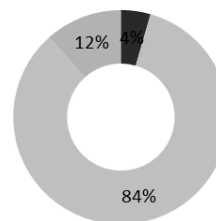
При этом уровень доверия к власти в ча-сти проводимой в регионе национальной политики оказался высоким. 70.37% кармас-калинцев и 76.93% саракташцев оценивают деятельность органов исполнительной влас-ти региона по обеспечению согласия в меж-национальных отношениях «положительно/ скорее положительно, чем отрицательно», от-рицательно – 0% в обоих районах.

Вернемся к вопросу об информирован-ности населения и проводимой инвести-ционной политике в регионе, о том, насколько адекватно СМИ освещают вопросы, связан-ные с привлечением инвестиций и разработ-кой соответствующих проектов, насколько СМИ конструктивны и способствуют повы-шению инвестиционной привлекательности региона. Нами был проведен мониторинг со-ответствующих публикаций в печатных СМИ, освещающих инвестиционную поли-тику в период с 1 января по 20 октября 2015 г. С помощью информационно-аналитической системы «Медиалогия» было проанализиро-вано 630 сообщений о Башкортостане и Оренбуржье в контексте «инвестиционная политика». Наибольшая публикационная ак-тивность СМИ в освещении вопросов ин-вестиционной политики приходится на июль 2015 г., период проведения междуна-родных саммитов стран ШОС и БРИКС в Уфе, что хорошо видно в графике «Динами-ка публикаций».

Наибольшую активность проявило ин-формационное агентство «Башинформ», чей МедиаИндекс составил 328.82.

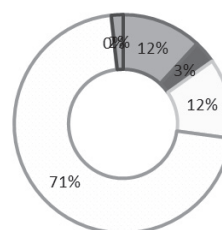
Тональность публикаций СМИ в контексте "Инвестиционная политика"

■ Негативные ■ Нейтральные ■ Позитивные



Категории СМИ

■ Газеты ■ Журналы ■ Информационные агентства ■ Интернет ■ Радио ■ Блоги



Большинство публикаций носят ней-тральный характер, позитивные публикации составляют 12%, негативные – 4%.

Республика Башкортостан и Оренбург-ская область имеют определенные успехи в привлечении инвестиций в сельское хозяй-ство. Растут количество и инвестиционная емкость агропромышленных проектов, появ-ляются крупные инвесторы, увеличиваются количество инвестиционных площадок и суммы инвестиций. Местные власти прила-гают значительные усилия для увеличения притока инвестиций в АПК, в том числе и иностранных, создавая для инвесторов це-

Динамика публикаций, освещающих вопросы инвестиций



льный набор предпочтений. В то же время инвесторы вкладывают свои средства в АПП с большой осторожностью, большинство экспертов в условиях риска принимают решения в соответствии с положениями теории перспектив, склонны к неприятию риска в случае, если рассчитывают на прибыль (гипотеза 1), и, наоборот, склонны к риску, предполагая проект убыточным (гипотезы 3, 4). Это обусловлено тем, что процесс инвестирования практически в любую отрасль связан с некоторыми рисками, и задача любого инвестора заключается в просчете ситуации и снижении негативных факторов, что в данном секторе экономики, как уже было отмечено авторами статьи, сделать не так просто. Инфраструктура АПК, даже на фоне общего недостаточного развития дорожной, энергетической, инженерной и социальной инфраструктуры, выглядит непрезентабельно. К этому добавляются риски погодно-климатические в растениеводстве и эпизоотические в животноводстве при почти тотальном отсутствии культуры страхования.

Этнический и конфессиональный состав населения не имеет особого значения для инвестиционной привлекательности региона. При разнице этнического состава населения преобладает сходство мнений респондентов сравниваемых районов относительно перспектив развития инфраструктуры, увеличения рабочих мест и трудоустройства молодежи. Заметна определенная предвзятость в отношении к трудовой миграции в Саракташском районе, что, однако, не влияет на реализацию инвестиционной политики здесь.

Как выяснилось, население слабо информировано о проводимой инвестиционной политике. В то же время СМИ, особенно интернет-ресурсы, достаточно полно и конструктивно освещают этот вопрос, в том числе и с целью повышения инвестиционной привлекательности региона, о чем свидетельствуют данные мониторинга СМИ.

Статья подготовлена при поддержке РГНФ в рамках проекта № 15-02-00044.

Литература

1. Дробижева Л.М. Этничность в социально-политическом пространстве Российской Федерации. Опыт 20 лет. М.: Новый хронограф, 2013.
2. http://www.raexpert.ru./rankings/#r_1108 (дата обращения: 28.10.2015).
3. Абубакирова Л.Ф. Об исторических и культурных связях славянских и тюркских народов России // Этнополитические процессы в трансформирующемся российском обществе. Оренбург, 2005. С. 195; Юнусова А.Б. Единое духовное пространство многонационального Урала // Вера без дела мертва есть. К 100-летию канонизации преподобного Серафима Саровского. Уфа, 2004. С. 76–81.
4. <http://orenburg-gov.ru/upload/iblock/72e/72e2ffdcf011aac3ca66d7af1035f6d6.pdf> (дата обращения: 28.10.2015).
5. http://www.orenburg-gov.ru/Info/Invest/pasport/PageContent/0/body_files/file/investpasport.pdf (дата обращения: 28.10.2015).
6. <http://www.orbinvest.ru> (дата обращения: 28.10.2015).
7. http://glavarb.ru/rus/press_serv/novosti/61571.html; <http://www.bashinform.ru/news/737564-rustem-khamitov-obratilsya-s-investitsionnym-poslaniem/#ixzz3pkWPf5Sx>; <http://ufa.mk.ru/articles/2015/06/24/> (дата обращения: 28.10.2015).
8. <http://investrb.com/> (дата обращения: 28.10.2015).
9. <https://invest.bashkortostan.ru> (дата обращения: 28.10.2015).
10. <http://www.inproex.ru/passport/32> (дата обращения: 28.10.2015).
11. Инвестиционный паспорт Оренбуржья. С. 82. URL: http://www.orenburg-gov.ru/Info/Invest/pasport/PageContent/0/body_files/file/investpasport.pdf (дата обращения: 28.10.2015).
12. Инвестиционный паспорт Оренбуржья. С. 83. URL: http://www.orenburg-gov.ru/Info/Invest/pasport/PageContent/0/body_files/file/investpasport.pdf (дата обращения: 28.10.2015).
13. Иом Дин Г. Применение метода анализа иерархий в российских и зарубежных исследованиях // Известия Уфимского научного центра РАН. № 3. С. 116–124.
14. Saaty T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures // J. Math Psychol. 1977. N 15. P. 234–281.
15. Salo A.A., Hämäläinen R.P. On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process // J. of MultiCriteria Decision Analysis. 1997. N 6(6). P. 309–319.
16. Brunelli M. Introduction to the Analytic Hierarchy Process. Springer. 2014.
17. Van der Merwe J.D., Cloete P.C., van Schalkwyk H.D. Choosing between agricultural

development projects in the North West Province of South Africa: A multiple criteria analysis // *African J. of Agricultural Research*. 2012. N 7(27). P. 3906–3917.

18. Coelho L.A. G., Pires C.M.P., Dionísio A.T., & Serrão A.J.D.C. The impact of CAP policy in farmer's behavior – a modeling approach using the Cumulative Prospect Theory // *J. of Policy Modeling*. 2012. N 34(1). P. 81–98.

19. Bocquého G., Jacquet F., Reynaud A. Expected utility or prospect theory maximisers? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data // *European Review of Agricultural Economics*. 2014. N 41(1). P. 135–172.

20. Wehrung D.A. Risk taking over gains and losses: A study of oil executives // *Annals of Operations Research*. 1989. N 19(1). P. 115–139.

21. Toby A.J., Peterside D.B. Analysis of the Role of Banks in Financing the Agriculture and Manufacturing Sectors in Nigeria // *IMPACT: International J. of Research in Business Management (IMPACT: IJRBМ)*. 2014. N 2(2). P. 9–22.

22. Юнусова А.Б. Уральский вектор центральноазиатского потока: мигранты в современном Башкортостане // *Россия и страны Востока: векторы взаимодействия и сотрудничества*. Уфа: Гилем, Башкирская энциклопедия, 2014. С. 420–427.



ETHNOSOCIAL FACTORS OF INVESTMENT STRATEGY IMPLEMENTATION IN THE REGIONS OF THE SOUTH URALS

© A.B. Yunusova¹, G. Yom Din², A.I. Tuzbekov¹,
T.M. Nadyrshin¹, R.M. Mukhametzyanova-Duggal¹, A.G. Baimov¹

¹Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

²The Open University of Israel,
108, Ravutzky St., POB808, Raanana 43107, Israel

Based on the materials collected during the research project in the Republic of Bashkortostan and Orenburg Oblast, this paper considers ethnic, social and economic aspects of the investment policy in the South Urals with the Karmaskaly and Saraktash Districts taken as an example. It presents general characteristics of the investment climate and potential in the two districts and analysis of social reaction among the population to investment agri-industrial projects performed through public polls. Using the hierarchical cluster analysis, relative importance of the project criteria is calculated, a model is put forward concerning the relationship between decision making by experts under conditions of risk and criteria importance estimates, and the significance of the model is evaluated. Results are given on monitoring mass media publications that reflect the investment policy in the region.

Key words: South Urals, ethnic factor, agri-industrial complex, investment policy, security, social well-being, hierarchical cluster analysis, decision making, mass media.

**АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАМЯТНИКИ КАК ОБЪЕКТЫ САКРАЛИЗАЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ МОГИЛЬНИКА ИЛЬЧИГУЛОВО IV)**

© А.И. Тузбеков, И.И. Бахшиев

На примере курганного могильника Ильчигулово IV анализируются процессы сакрализации археологических памятников на Южном Урале. Подробно рассматривается история археологического изучения объекта. Анализируются работы отечественных и зарубежных авторов, материалы электронных изданий, видеоресурсы сети Интернет. На основе полевых исследований (май 2015 г.) восстанавливается хронология формирования сакрального пространства на территории объекта историко-культурного наследия. В заключение характеризуются современные процессы сакрализации, происходящие как на рассмотренном памятнике, так и на всей территории Южного Урала в целом.

Ключевые слова: археологический памятник, сакрализация, аулия, святое место, Ильчигулово IV.

Археологические памятники являются органическими элементами природно-культурных ландшафтов и до настоящего времени продолжают занимать важное место в обрядовой и культовой практике населения южноуральского региона. Более того, объекты, как и прежде, наделяются различными формами сакрализации и входят в группу ритуальных маркеров. Разрозненная информация о преданиях, легендах и обрядах, связанных с объектами археологического наследия, не систематизирована. Отдельные аспекты процесса сакрализации памятников освещены в обзорных статьях и тезисах [1, с. 141–142; 2, с. 160–161; 3, 4], но проблемы формирования и трансформации данного явления не становились предметом отдельного исследования.

Между тем археологические сюжеты в формировании новых сакральных пространств и объектов на территории Республики Башкортостан в последние годы проявляются все чаще, хотя «археологический» фактор этого феномена отнюдь не определяющий, а является лишь одной из его составляющих. Обратимся к конкретному примеру. В окрестностях д. Ильчигулово (Миякинский район РБ) на площадке

высокого сырта расположен известный средневековый некрополь – Ильчигулово IV (рис. 1), каменные оградки которого стали сейчас объектом поклонения и эпицентром формирования новых сакральных пространств.

Археологический контекст

Первые археологические исследования близ д. Ильчигулово были проведены в XIX в. антропологом Н.М. Малиевым. В 1986 г. в ходе археологической разведки Г.Н. Гарустовичем на той же территории обнаружено 7 новых курганов и могильников, относящихся к различным эпохам, в том числе и некрополь Ильчигулово IV. В ходе детального исследования памятника было обнаружено, что Выкладка №1 является пустой, а под Выкладкой №2 выявлено захоронение мужчины-воина со следами рубленой раны [5, с. 37–39]. Исследователь связывает изученные комплексы с инвентарными погребениями Ильчигуловского могильника, ранее изученного Н.М. Малиевым, и соотносит их с кочевниками XIV в., также он приходит к выводу, что исследованные оградки были возведены из камней, взятых из разрушенных насыпей дан-

ТУЗБЕКОВ Айнур Ильфатович – к.и.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: tuzbek.80@mail.ru

БАХШИЕВ Ильшат Интизам оглы – к.и.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: bahsh@rambler.ru.

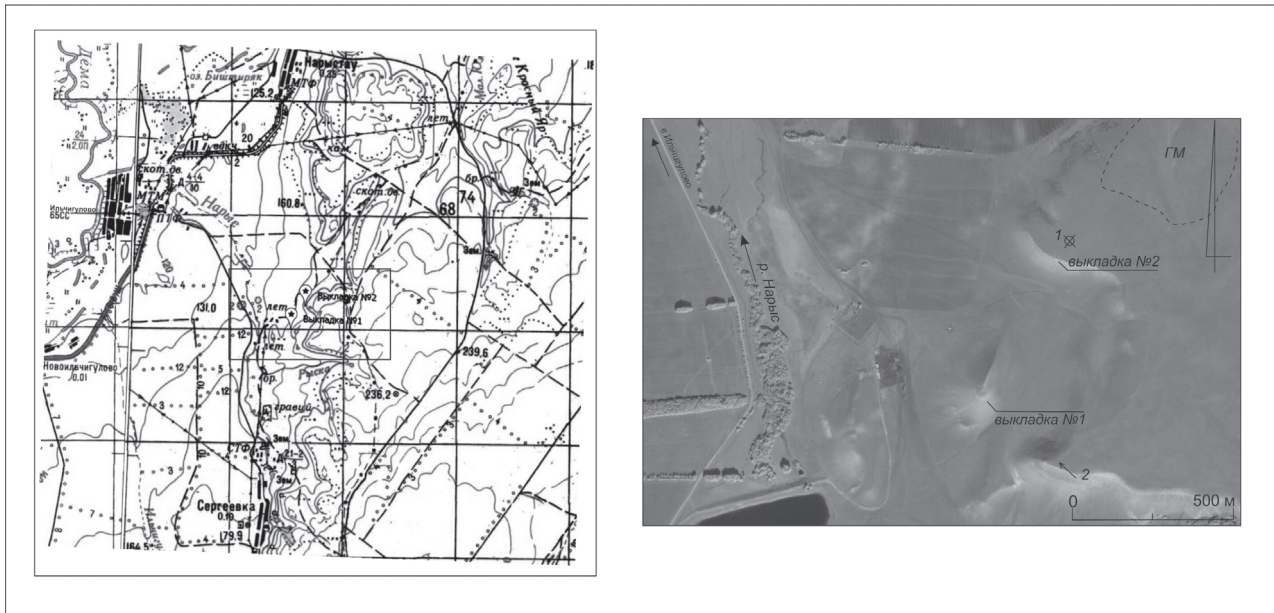


Рис. 1. Объекты сакрализации на территории Ильчигуловского IV могильника (Миякинский район Республики Башкортостан). ГМ – грунтовый могильник; 1 – «курган»; 2 – каменные выкладки

ного могильника, и сооружены не ранее XIX в. [1, с. 142].

Косвенным подтверждением вышеприведенных данных является сюжетная линия башкирского эпоса «Идукай и Мурадым», датированного кон. XIV – нач. XV в., где прилегающая к горе Нарыс-тау территория определяется как место захоронения главных героев.

«Покончив с войной, наконец,
Меч, отер он, лицо омыл,
Вновь остался у тех мест.
Где могила Идукай с Ынье,
Находилась у горы Нарыс» [6, с. 186].

До 60-х гг. XX в., по сведениям местных жителей, а также по данным, содержащимся в научном отчете Г.Н. Гарустовича, наблюдались немногочисленные паломники, приходившие к выкладкам и к «святому ключу». В последующем объект, вероятно, теряет свою значимость, так как, по его наблюдениям в ходе обследования территории, «святой источник» использовался для охлаждения молока [5, с. 37]. Информация о вероятном захоронении здесь сахабов отсутствовала полностью.

Каким же образом произошло изменение структуры сакрального объекта?

Далее попробуем проследить хронологию событий.

Конструирование мифа

Начало активного поиска верующими могил сподвижников пророка на территории Волго-Уральского региона относится к последним десятилетиям XX в. и связано не только с ростом религиозного самосознания, но и с популярностью спорных идей Хисам ад-Дин ибн Шараф уд-Дин ал-Булгари Муслими и Тадж ад-Дина Ялсыгула аль-Башкурди, работы которых резко критиковались как нетрадиционалистами Ш. Марджани и Р. Фахретдиновым, так и М.А. Усмановым [7, с. 134–166].

Следующий этап связан с посещением в 2010 г. делегацией суфиев из Башкортостана Шейха суфийского ордена Накшибандия Мухаммада Назима Адиль аль-Кубруси аль-Хаккани (проживавшего в Турецкой республике – Северный Кипр). Во время встречи ему были показаны фотографии предполагаемых мест захоронения сахабов на территории республики. Рассмотрев все фотографии, шейх указал на гору Нарыс-тау как место захоронения сподвижников пророка [8].

После возвращения делегации суфиев в некоторых республиканских СМИ появляется информация об обнаружении места захоронения сахабов, и на территории могильника Ильчигулово IV начинается активное стро-

ительство. В 2011 г. на месте Выкладки № 1 воздвигается памятник с указанием имен двух сподвижников пророка Зубаира ибн Зайта и Абдуррахмана ибн Зубаира и куполообразное сооружение (рис. 2), а над Выкладкой № 2 – только куполообразное сооружение (рис. 3). В 2012 г. у подножия горы строится мечеть, приуроченная к памятнику (рис. 4).



Рис. 2. Сооружение на Выкладке № 1, Ильчигулово IV, курганный могильник (д. Ильчигулово, Миякинский район, Республика Башкортостан). Фото А.И. Тузбекова. 2015 г.

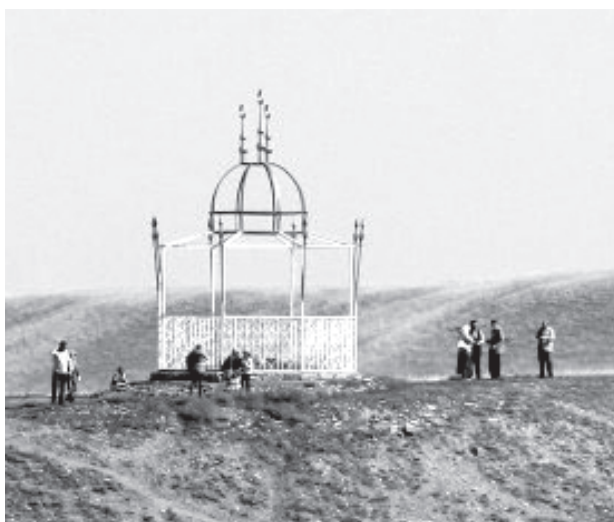


Рис. 3. Сооружение на Выкладке № 2, Ильчигулово IV, курганный могильник (д. Ильчигулово, Миякинский район, Республика Башкортостан). Фото А.И. Тузбекова. 2015 г.



Рис. 4. Мечеть сахабов (д. Ильчигулово, Миякинский район, Республика Башкортостан). Фото А.И. Тузбекова. 2015 г.

Дополнительный импульс и «легитимизацию» объект получает в 2013 г. после его посещения сыном и приемником Мухаммада Назима Хаккани Мухаммадом (Мехмет) Адилем Хаккани аль-Кипруси, сопровождаемого представителями местного духовенства. В рамках ежегодного турне (2013–2015 гг.) Мехмета Адиля по «святым местам» каменные ограды могильника Ильчигулово IV наряду с другими археологическими объектами – мавзолеи Хусаин-бека и Бендебике и др. – включаются в основную часть программы его пребывания. Именно в день его посещения «святого места» можно наблюдать более 1000 паломников, желающих почтить святыни (рис. 5).



Рис. 5. Мероприятие, приуроченное к посещению Мехметом Адилем «святого места» (д. Ильчигулово, Миякинский район, Республика Башкортостан). Фото А.И. Тузбекова. 2015 г.

Некоторые рьяные паломники, обладающие «откровениями», не ограничиваются посещением «могил сахабов» и купанием в «святом ключе». Пытаясь расширить границы сакрального пространства, они включают в него все новые объекты. Так, сотрудниками ИЭИ УНЦ РАН в ходе экспедиционного выезда в мае 2015 г. было зафиксировано включение в комплекс «Нарыстау»:

1) Искусственной насыпи, сформированной, вероятнее всего, в результате строительных работ – т.н. «курган», находящийся в 40 м к ССВ от ограды № 2. Некоторые паломники обходят объект семь раз, предполагая, что там также захоронен «аулия» (рис. 6).



Рис. 6. Формирование новых сакральных мест. Поклонение и обход современной искусственной насыпи (д. Ильчигулово, Миякинский район, Республика Башкортостан). Фото А.И. Тузбекова. 2015 г.

2) Двух каменных набросков округлой формы диаметром 0.5 и 0.7 м, сложенных в 320 м к юго-востоку от выкладки № 1 на мысообразной площадке сырта. Между камнями зафиксированы куски ниток, материи и воткнутые вертикально воронья перья (рис. 7) [9].

Таким образом, на примере данного памятника археологии можно проследить одну из моделей формирования современных сакральных пространств и объектов – конструирование абсолютно искусственных представлений, поддерживаемых как официальным мусульманским духовенством, так и властны-

ми структурами на местах. В данном случае эта модель стала фундаментом для продвижения в регионе идей суфийского ордена Накшибандия.



Рис. 7. Формирование новых сакральных мест. Каменные наброски (д. Ильчигулово, Миякинский район, Республика Башкортостан). Фото А.И. Тузбекова. 2015 г.

На сегодняшний день на Южном Урале насчитываются более сотни археологических памятников, подвергшихся сакрализации. Представители всевозможных религиозных течений и сект, в том числе и запрещенных, привлекают новых членов, используя традиционный для башкир обряд поклонения святым (аулия) [10, с. 114–124]. Именно этим объясняется значительное увеличение «мест поклонений», сформированных в первую очередь за счет выраженных в рельефе курганных насыпей, каменных оградок, выкладок, отдельных камней, гротов и пр. Наиболее стихийно эти процессы наблюдаются в Башкирском Зауралье.

Описываемые наблюдения не уникальны, и практически аналогичные примеры фиксируются в других регионах России, странах СНГ (Казахстан, Кыргызстан), Западной Европе, Китае и др. Примером может служить широко распространенное движение неоязычников в Западной Европе, пытающихся возродить «религию предков». Члены этого движения активно используют древние тексты и накладывают их на известные археологические памятники, по-своему интерпретируя археологические исследования и попутно обвиняя археологов в сокрытии «истин-

ных» знаний об исследуемом объекте [11, р. 185–199].

Рассматриваемое явление, безусловно, требует дополнительного исследования, а схожесть процессов, происходящих на археологических памятниках, распространившихся по всему миру, свидетельствует о глобальности кризиса традиционных духовных ценностей, что обусловило поиск людьми новых или возрождение старых религиозных систем, дающих ответы на вызовы современного мира.

Работа выполнена в рамках проекта РГНФ «Геоинформационная система «Ислам на Южном Урале» № 15-01-12014.

Литература

1. Гарустович Г.Н. Особенности распространения ислама среди башкир в эпоху средневековья // Уфимский археологический вестник. 2013. Вып. 13. С. 137–143.
2. Савельев Н.С. Малые культовые объекты Южного Урала: от археологии к этнографической современности // Документы и материалы по истории башкирского народа (с древнейших времен до середины XVI в.). Уфа, 2012. С. 128–166.
3. Тузбеков А.И., Бахшиев И.И. Объекты археологического наследия Башкирского Зауралья в современной ритуальной практике юго-восточных башкир // Ислам и государства в России: сборник мат-лов Международной научно-практической конференции, посвященной 225-летию Центрального духовного управления мусульман России – Оренбургского магометанского духовного собрания. Уфа, 22 октября 2013 г. Уфа: Уфимский полиграфкомбинат, 2013. С. 99–102.
4. Куприянова Е.В. Заповедник «Аркаим» и проблемы популяризации археологии на Южном Урале // Вестник Челябинского государственного университета. 2014. № 12 (341). История. Вып. 60. С. 22–29.
5. Гарустович Г.Н. Отчет об археологических работах в Мелеузовском, Кугарчинском, Чишминском, Миякинском, Бижбулякском и Зианчуринском районах Башкирской АССР по открытому листу формы №1 за №№ 406 и 407, в 1986 году. Уфа, 1987. Личный архив автора.
6. Идукай и Мурадъм // Башкирское народное творчество. Т. 10. Исторический эпос. Уфа: Китап, 1999. С. 186.
7. Усманов М.А. Татарские исторические источники XVII–XVIII вв.: «Сборник летописей», «Дафтар-и Чингиз-наме», «Таварих-и Булгария». Татарские шаджара. Казань: Казанский государственный университет, 1972. 223 с.
8. http://www.youtube.com/watch?v=SMJHsa_iD_Y.
9. Текущий архив ИЭИ УНЦ РАН. Отчет о командировке. 24 мая 2015 г.
10. Юнусова А.Б. Мобилизованный архаизм: новые тенденции в традиционной религиозной практике поклонения башкирских мусульман // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 3. С. 114–124.
11. Jutta Leskovar Neopaganism, archaeological content and the belief in “Celts” / Appropriate narratives: Archaeologists, publics and stories / [ed] Elisabeth Niklasson, Thomas Meier, Budapest: Archaeolingua, 2013. P. 185–199.

ARCHAEOLOGICAL SITES AS OBJECTS OF SACRALIZATION (EXEMPLIFIED BY ILCHIGULOVO IV BURIAL GROUND)

© **A.I. Tuzbekov, I.I. Bakhshiev**

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

In this article we analyze the processes of sacralization of archeological sites in the South Urals using Ilchigulovo IV burial ground as an example. Detailed consideration is given to the history of studying this archeological site. We also analyze the works of Russian and foreign researchers as well as the materials of electronic editions and online video resources. Based on our own field investigations carried out in May 2015 and supported by the Russian Humanitarian Science Foundation (Geo-Information System «Islam in the South Urals»), we reconstruct the chronology of sacral space formation within this site of historical and cultural heritage. In conclusion we discuss contemporary processes of sacralization occurred both in the site under investigation and all over the South Urals.

Key words: archeological site, sacralization, aulia, holy place, Ilchigulovo IV.

**ОСНОВЫ РЕЛИГИОЗНОЙ КУЛЬТУРЫ И СВЕТСКОЙ ЭТИКИ
В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛАХ ЧЕЛЯБИНСКА**

© Т.М. Надыршин

В статье предпринято картографирование данных, полученных в ходе выявления основных факторов, определяющих выбор родителями модулей курса «Основы религиозных культур и светской этики» в школах г. Челябинск.

Ключевые слова: ОРКСЭ, этнокультурный компонент образования, идентичность, Челябинск, ГИС.

Челябинская область является поликонфессиональным полиэтническим регионом со значительным преобладанием русского населения. Исследование опыта преподавания курса в регионе с последующей визуализацией данных позволяет установить преобладание тех или иных факторов, влияющих на выбор родителями модулей комплексного учебного курса «Основы религиозных культур и светской этики» в различных регионах.

Опыт преподавания курса в регионе с педагогических позиций рассматривался в статьях Ю.Ю. Барановой и Е.А. Солодковой, в которых особое внимание уделено уровню готовности образовательных учреждений области к преподаванию курса и предложены критерии подготовки к курсу [1]. В статье А.Ф. Хуснутдиновой и Э.Ф. Вертяковой рассматривается опыт преподавания модуля «Основы исламской культуры» [2]. В отчете о научной деятельности Челябинской государственной академии культуры и искусств рассматривается вопрос о задачах просвещения родителей в рамках прохождения курса [3]. Опыт картографирования этноконфессиональных процессов представлен в работах Т.М. Надыршина [4], А.Б. Юнусовой [5].

В ходе работы был проведен анализ СМИ, информационно-аналитической системы «Медиалогия». Были проанализированы 203 сообщения региональных СМИ по запросу ОРКСЭ и/или «Основы религиозных культур и светской этики», опубликованные

в 2009–2013 гг., позволяющие проследить динамику и общую тональность сообщений (рис. 1). Главным информационным поводом всплеска числа публикаций стало решение о введении ОРКСЭ в программы общеобразовательных школ с 1 сентября 2012 г. Можно проследить основные нити сюжетов сообщений. К ним относится дискуссия относительно необходимости внедрения предмета, которая, как правило, поддерживает позицию высшей исполнительной власти страны. В других сообщениях упоминается о важности совместного содействия представителей духовенства новому курсу, в том числе это прослеживается в контексте выступлений митрополита Феофана.

Как известно, законные представители ребенка могут выбрать любой модуль для своих детей. Логично было бы предположить, что выбор родителей прежде всего определит национальная и религиозная семейная традиция. Вместе с тем установлено, что на выбор модулей влияют и другие факторы, такие как позиция администрации учебного заведения и образовательных органов власти, тип учебного заведения, а также влияние духовенства. Данные свидетельствуют, что при выборе модулей в г. Челябинске эти факторы сыграли важную роль. Поэтому выбор модуля в данном случае становится компромиссом вышеуказанных факторов. Ситуация относительно выбора модулей в Челябинской области значительно отличается от ситуации

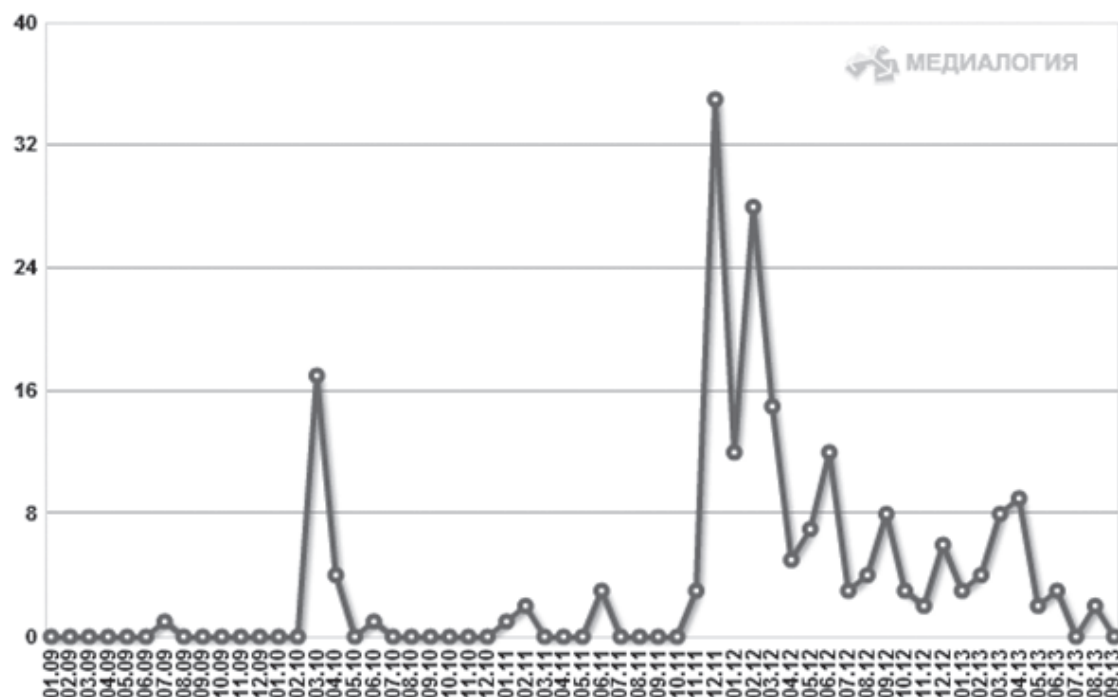


Рис. 1. Количество сообщений СМИ в Челябинской области по запросу «ОРКСЭ» и/или «Основы религиозных культур и светской этики» в 2009–2013 гг.

по всей стране. Сильно доминирует модуль «Основы светской этики», который выбрали около 2/3 родителей региона (табл. 1).

В Челябинске процент выбора модулей не сильно отличается от ситуации в регионе. Согласно итогам 2013 г., в Челябинске доминировал модуль «Основы светской этики», реже – «Основы мировых религиозных культур» (табл. 2).

Челябинск является поликонфессиональным городом. В городе помимо русских проживают башкиры, татары, украинцы, а также множество представителей других национальностей (табл. 3).

В Челябинске семь районов: Калининский, Курчатровский, Ленинский, Советский, Металлургический, Тракторозаводский

Т а б л и ц а 1

Выбор модулей ОРКСЭ в Челябинской области, Уральском федеральном округе и в России в 2013/14 учебном году [6]

	Выборные модули курса ОРКСЭ	Челябинская область	Уральский федеральный округ	Россия
Выбор модулей по кол-ву учащихся	Основы мировых религиозных культур	8891	31 389	276 367
	Основы светской этики	23 559	80 166	641 417
	Основы православной культуры	4923	22 376	469 884
	Основы исламской культуры	142	728	50 810
	Основы иудейской культуры	11	67	311
	Основы буддийской культуры	27	380	5763
Выбор модулей по проценту учащихся	Основы мировых религиозных культур	23.68%	23.23%	19.12%
	Основы светской этики	62.74%	59.33%	44.38%
	Основы православной культуры	13.11%	16.56%	32.51%
	Основы исламской культуры	0.38%	0.54%	3.52%
	Основы иудейской культуры	0.03%	0.05%	0.02%
	Основы буддийской культуры	0.07%	0.28%	0.40%

Т а б л и ц а 2

Выбор модулей ОРКСЭ в г. Челябинске в 2012–2013 гг.

Модули	Процент выбора
ОСЭ	55.70%
ОМРК	30.40%
ОПК	13.50%
ОИК	0.40%
ОБК	0.01%

и Центральный. Все указанные районы имеют различный поликонфессиональный состав населения. Тем не менее процент русского населения не сильно отличается в разных районах города. Согласно итогам Всероссийской переписи населения 2010 г., колебание составляет от 83% в Metallургическом районе до 89% в Советском районе.

С учетом украинцев и белорусов, а также других этнических православных города, указанный процент становится еще выше.

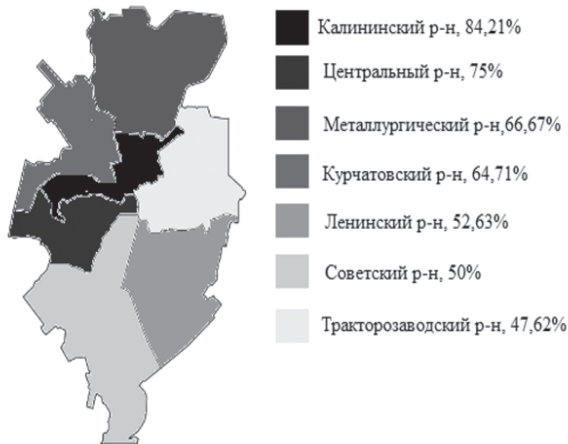


Рис. 2. Выбор конфессиональных модулей в школах районов г. Челябинска

Т а б л и ц а 3

Наиболее крупные национальности г. Челябинска по итогам Всероссийской переписи населения 2010 г.

Указавшие на национальную принадлежность	1 082 269	100%
Русские	936 457	86.58%
Татары	54 400	5.02%
Башкиры	33 716	3.11%
Украинцы	15 638	1.45%

В Челябинске только два общеобразовательных учреждения, которые принимают учащихся с территории всего города. Остальные школьники обучаются по месту жительства [7]. В 2012/13 учебном году более двух модулей выбрали 62% образовательных учреждений города (табл. 4). Как правило, третьим модулем были «Основы православной культуры»

Тем не менее, несмотря на относительно однородный этнический состав города, соотношение школ, которые выбрали более двух модулей, практически не коррелирует с этническим составом города. На карте города мы также можем видеть, что выбор конфессиональных модулей характерен для западной и северной частей города (рис. 2).

Некоторые представители духовенства принимали участие в родительских собраниях при выборе модулей. Православное духовенство имело возможность влиять на выбор родителей. В табл. 5 мы видим, что количество действующих православных церквей в Калининском и Центральном районах совпадает с лидирующим процентом школ, где выбрали более двух модулей.

Т а б л и ц а 4

Выбор конфессиональных модулей в школах районов г. Челябинска

Районы г. Челябинска	Количество общеобразовательных учреждений	Количество школ, выбравших более двух модулей [6]	Процент школ, выбравших более двух модулей
Калининский р-н	19	16	84.21%
Курчатовский р-н	17	11	64.71%
Ленинский р-н	19	10	52.63%
Metallургический р-н	18	12	66.67%
Советский р-н	16	8	50.00%
Тракторозаводский р-н	21	10	47.62%
Центральный р-н	12	9	75.00%
г. Челябинск	122	76	62.29%

Количество православных церквей в г. Челябинске (согласно 2-Gis Челябинск)

Районы г. Челябинска	Церкви города	Процент школ, выбравших более двух модулей
Калининский р-н	4	84.21%
Курчатовский р-н	3	64.71%
Ленинский р-н	3	52.63%
Металлургический р-н	2	66.67%
Советский р-н	3	50.00%
Тракторозаводский р-н	3	47.62%
Центральный р-н	5	75.00%
г. Челябинск		62.29%

Таким образом, этнический фактор не является решающим при выборе родителями профессиональных модулей для предмета ОРКСЭ. Большой процент выбора неконфессиональных модулей, к которым относятся «Основы светской этики» и «Основы мировых религиозных культур», свидетельствует о том, что родители и педагоги, которые принимают совместно окончательное решение, стремятся к компромиссу при организации учебного процесса. С другой стороны, сильно разнящийся процент школ, которые обеспечивают более двух модулей в разных районах города, говорит о сильном влиянии группы административных факторов, к которым относятся: влияние администрации учебного заведения, влияние образовательных органов власти, тип учебного заведения. Влияние духовенства во всех группах также играет свою роль.

Статья подготовлена при поддержке РГНФ в рамках проекта № 15-01-12014.

Литература

1. Баранова Ю.Ю., Солодкова Е.А. О мониторинге готовности образовательного учреждения к реализации комплексного учебного курса «Основы

религиозной культуры и светской этики» // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров. 2012. № 4 (13). С. 25–30.

2. Хуснутдинова А.Ф., Вертякова Э.Ф. Духовно-нравственное воспитание младших школьников на основах исламской культуры // Научные исследования: от теории к практике: мат-лы IV Международной научно-практической конференции. 2015. С. 136–139.

3. Научная жизнь ЧГАКИ // Вестник Челябинской государственной академии культуры и искусств. 2011. Т. 26, № 2. С. 131–133.

4. Надыршин Т.М. География выбора модулей «Основ религиозной культуры и светской этики» (ОРКСЭ) // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭРАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 239.

5. Юнусова А.Б. Геоинформационная система «Религии и этноконфессиональные процессы на Южном Урале» // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 241.

6. Власова И.В. Реализация курса «Основы религиозных культур и светской этики» в образовательных учреждениях г. Челябинска. URL: www.chel-edu.ru/pics/uploads/FGOS/vlasova-2.ppt (дата обращения 30.03.2015).

7. Только две школы Челябинска сохраняют привилегии при наборе учеников. URL: <http://echochel.ru/news/2012/03/30/29497/> (дата обращения 30.03.2015).

«THE FUNDAMENTALS OF RELIGIOUS CULTURES AND SECULAR ETHICS» IN COMPREHENSIVE SCHOOLS OF CHELYABINSK

© T.M. Nadyrshin

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

This paper undertakes data mapping as a result of research on revealing some basic factors that determine the parental choice of the modules of «The Fundamentals of Religious Cultures and Secular Ethics» Course in the schools of Chelyabinsk.

Key words: Islam, ethno-cultural educational component, identity, Chelyabinsk, South Urals.

УДК 528.722;29.282;39

ГЕОИНФОРМАТИКА ДЛЯ ИСЛАМА: О ПРОЕКТЕ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТЫ «ИСЛАМ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ»

© А.Б. Юнусова, О.И. Христодуло, А.Х. Абдуллин

Представлены предварительные результаты создания интерактивного электронного многоуровневого ресурса «Ислам на Южном Урале».

Ключевые слова: ислам, мечеть, объекты поклонения, карта, ГИС, ARC GIS.

Оценка религиозной ситуации и положения дел в исламском сообществе Южного Урала, общего состояния, сохранения, введения в научный оборот и широкого использования объектов историко-культурного наследия ислама будут неполными без визуального представления его основных объектов, а также актуальной и полной информации по ним. При всей значимости традиционных методов исследования актуальных проблем религиоведения и антропологии религии целесообразным является применение информационных технологий и геоинформационных систем (ГИС). Исследование религиозного многообразия Южного Урала и межрелигиозных отношений в целом и мусульманского социума в частности предполагает использование ГИС в качестве инструмента оценки состояния религий на основе картографирования пространственных и статистических данных, создания визуальных представлений об основных институтах религий, анализа распространения, пересечения и взаимовлияния духовных ценностей, развития сети религиозного образования, для обеспечения учета и сохранности объектов духовного наследия народов Южного Урала [1–3].

К настоящему времени создана база данных «Мечети на Южном Урале» по 1200 мечетям, включая справочное, правовое, историко-культурное, социально-экономическое, археологическое, этнографическое, библиографическое, просопографическое, этностатистическое сопровождение. База содержит пространственную и атрибутивную информацию об основных этапах исторического развития ислама в регионе, осуществляет поиск по различным атрибутам, именам, датам, предполагает регулярное обновление и возможность дополнения новыми научными результатами. Разрабатываемая в Институте этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева УНЦ РАН совместно с кафедрой геоинформационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета геоинформационная система «Ислам на Южном Урале» представляет собой карту из нескольких слоев. Функциональные возможности ГИС позволяют визуально представлять на карте основные объекты духовной культуры народов поликонфессионального Южного Урала: один из слоев визуализирует объекты историко-культурного наследия – памятники, экспонаты музеев, экспедиционные материалы с применением диалоговых возможностей.

ЮНУСОВА Айслу Биаловна – д.и.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: aby_02@mail.ru

ХРИСТОДУЛО Ольга Игоревна – д.т.н., Уфимский государственный авиационный технический университет, e-mail: o-hristodulou@mail.ru

АБДУЛЛИН Айдар Хайдарович – к.т.н., Уфимский государственный авиационный технический университет, e-mail: a.kh.abdullin@gmail.com

Пользовательский интерфейс содержит панель легенды, которая предназначена для отображения слоев карты. Каждый из слоев соответствует определенному виду объектов, изображенных на карте, и имеет свое условное обозначение, показанное на панели легенды. Отображение слоя и, соответственно, объектов на карте регулируется при помощи включения или сброса флажка слева от названия слоя. Также возможно показывать/скрывать группы слоев на карте, для этого нужно установить/снять флажок напротив названия группы слоев в легенде карты, при этом автоматически отображаются/скрываются все слои внутри этой группы. Интерфейс включает также панель

карты для отображения объектов на ней, панель состояния с масштабом карты и географическими координатами точки нахождения курсора на карте и панель инструментов, что позволяет управлять отображением карты, получать информацию по истории ислама, получать регулярно обновляемую статистическую информацию, выполнять поиск объектов культурного наследия, памятников, экспонатов, музеев и др. с последующим отображением найденных объектов на карте.

В мае–ноябре 2015 г. научными сотрудниками ИЭИ УНЦ РАН были предприняты сбор геоданных и фотофиксация мечетей в Аргаяшском и Кунашакском районах Челябинской области, Саракташском, Беляевском и Кувандыкском районах Оренбургской области и в 40 районах Республики Башкортостан. Геоданные – координаты расположения мечетей – были получены с использованием средств мобильного геопозиционирования (GPS-приемники) в виде пары числовых значений широты и долготы в общераспространенной системе координат WGS84.

Для создания актуальной карты расположения мечетей на Южном Урале по результа-

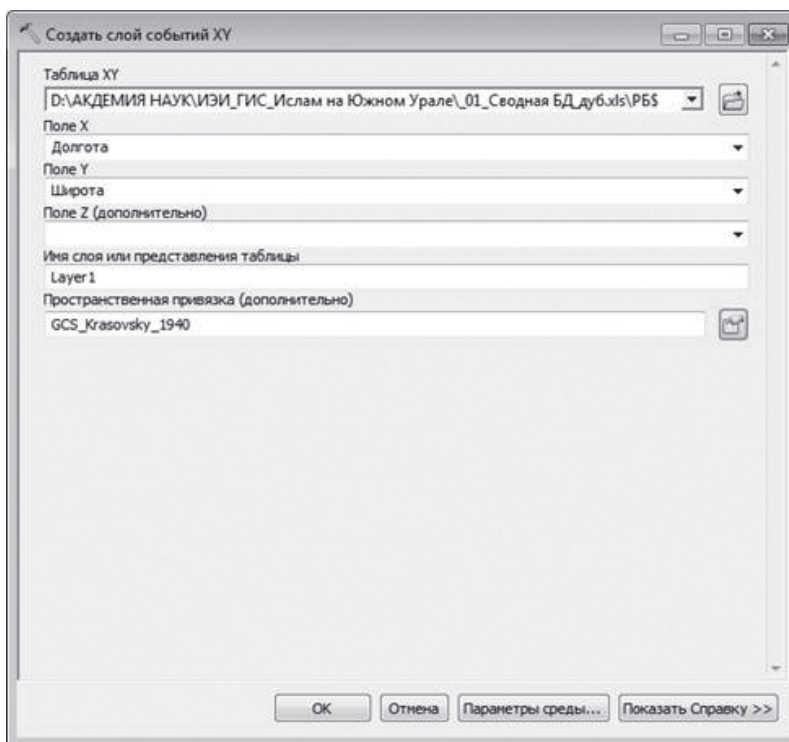


Рис. 1. Окно инструмента «Создать слой событий XY»

там данных, собранных в экспедиции, использовались программные продукты ArcGIS компании ESRI. Формирование карты расположения мечетей на территории Южного Урала осуществлялось с использованием встроенного инструмента ArcGIS ArcMap «Создать слой событий XY», автоматизирующего процесс картографирования точечных данных по таблице Microsoft Excel с полями широты и долготы (рис. 1). Для корректной подготовки карты по имеющимся координатам мечетей использовалась система координат GCS_Krasovsky_1940, которая успешно использовалась авторами при проведении различных исследований [2].

С использованием настольного комплекса ArcGIS for Desktop 10.3 была разработана база геоданных, содержащая точечный векторный слой расположения мечетей. Структура базы геоданных, а также ее таблиц (слоев карты) полностью соответствует перечню информации о мечетях Южного Урала. Она позволяет хранить всю совокупность картографической и справочной (атрибутивной) информации о каждой мечети, а также фотоизображения, сканированные документы и прочее.

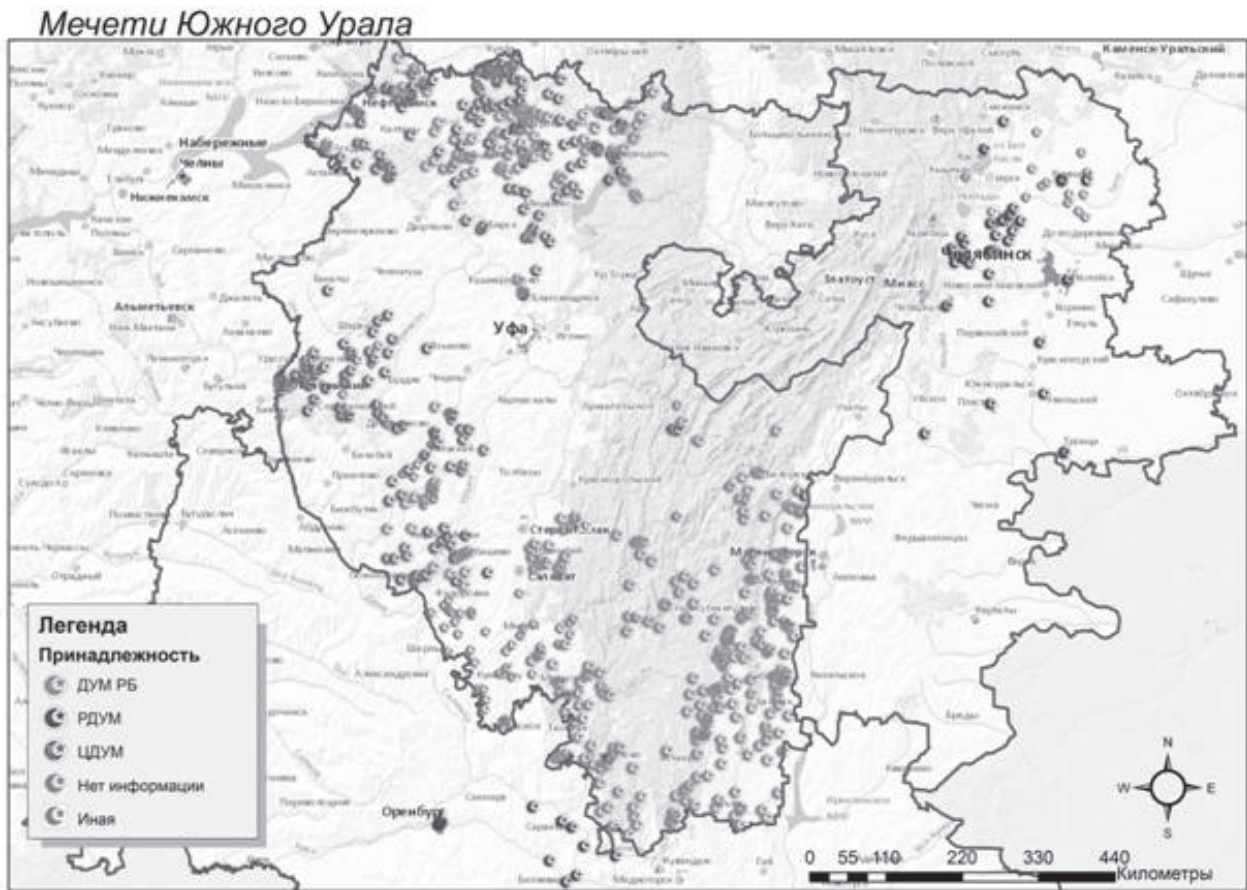


Рис. 2. ArcMap-проект подготовки карты расположения мечетей (распределение в отдельных районах РБ мечетей ЦДУМ и ДУМ РБ)

Для визуализации расположения мечетей использовалась базовая публичная топографическая основа территории Российской Федерации, доступная в виде картографического веб-сервиса на сайте Росреес-

тра (веб-адрес: maps.rosreestr.ru/arcgis/rest/services/BaseMaps). Использование указанной топографической основы обеспечивает отображение на карте мечетей вместе с другими общегеографическими объектами – населенными пунктами, авто-

дорогами, водными объектами и др., визуализирует распределение в выбранных районах мечетей, подведомственных Центральному духовному управлению мусульман России и Духовному управлению мусульман Республики Башкортостан (рис. 2).

Далее для тиражирования подготовленной карты был сформирован *rtf*-пакет, содержащий как данные, так и саму оформленную карту.

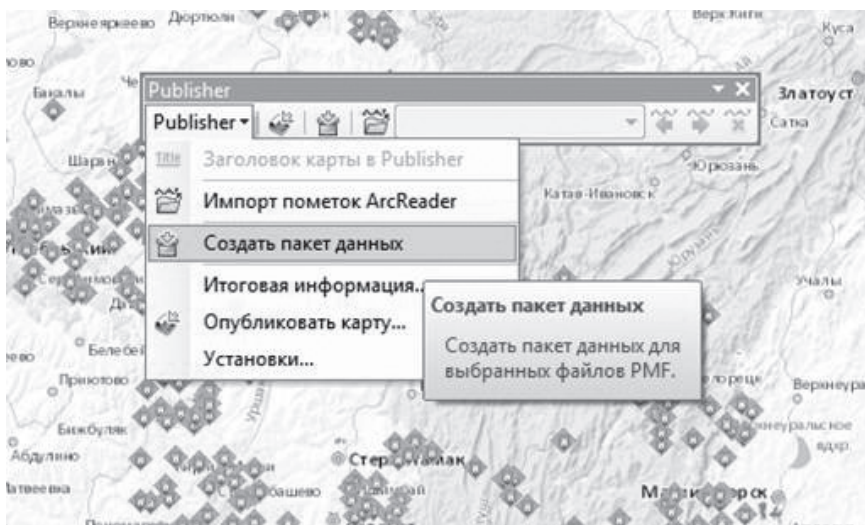


Рис. 3. Использование инструмента в ArcMap-проекте



Рис. 4. Открывающаяся информация о мечети

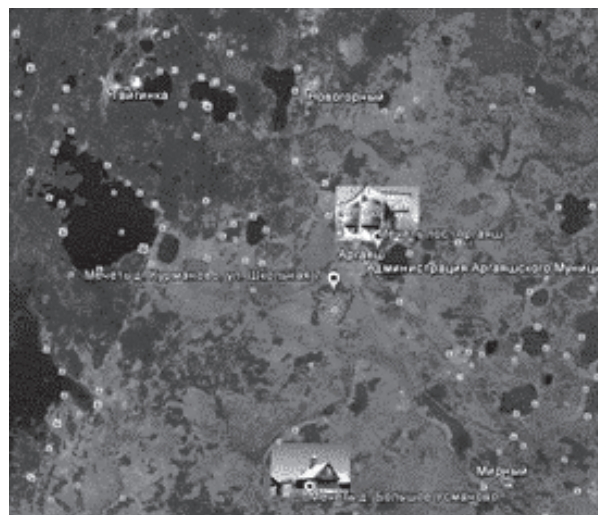


Рис. 5. Открывающееся изображение мечети

Подготовка *rmf*-пакета осуществлялась с помощью инструмента «Publisher» (рис. 3).

Карта позволяет видеть текстовую информацию о мечети (рис. 4), изображения мечети, фрагменты видеоматериалов из истории мечети и другую информацию (рис. 5).

Использование подготовленной карты специалистами Института этнологических исследований им. Р.Г.Кузеева УНЦ РАН осуществляется с помощью свободного вьюера карт ArcGIS ArcReader.

Статья подготовлена при поддержке РГНФ в рамках проекта № 15-01-12014.

Литература

1. Юнусова А.Б. Геоинформационная система «Религии и этноконфессиональные процессы на Южном Урале» // XI Конгресс антропологов и этно-

логов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 241.

2. Надыршин Т.М. География выбора модулей «Основ религиозной культуры и светской этики» (ОРКСЭ) // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 239.

3. Тузбеков А.И. ГИС в изучении погребально-культурных сооружений мусульман на Южном Урале // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 240.

4. Павлов С.В., Христуло О.И. Интеграция разнородных данных и методов их обработки для управления территориально-распределенными объектами на основе ГИС // Компьютерные науки и информационные технологии: труды XI Международной конференции. Крит, Греция, 2009. Т. 1. С. 29–37.

GEOINFORMATION TECHNOLOGY FOR ISLAM: ON THE PROJECT TO CREATE INTERACTIVE ELECTRONIC MAPS «ISLAM IN THE SOUTH URALS»

© А.Б. Yunusova¹, О.И. Christodoulou², А.К. Abdullin²

¹Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

²Ufa State Aviation Technology University
12, ulitsa Karla Marksa, 450008, Ufa, Russian Federation

The article presents the preliminary results of creating the interactive e-tiered resource «Islam in the South Urals». Key words: Islam, mosque, objects of worship, map, GIS, ARC GIS.

МЕЧЕТИ В ВОЕННЫХ ЧАСТЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО УРАЛА

© А.Г. Баимов

Рассматриваются история создания и особенности функционирования мечетей в военных частях на Южном Урале. Работа осуществлена на основе материалов, собранных в ходе исследовательского проекта в Республике Башкортостан, Челябинской и Оренбургской областях.

Ключевые слова: Южный Урал, военная часть, мечеть, храм, военное духовенство, молельная комната.

Электронное картографирование культовых объектов – церквей и мечетей – в местах дислоцирования военных частей является одним из исследовательских инструментов при изучении института военного духовенства. В предлагаемой статье представлены материалы, собранные в результате выполнения работ по гранту РГНФ 15-01-12014 «ГИС на Южном Урале». Первые результаты по данному проекту были апробированы в XI конгрессе антропологов и этнологов России в работах А.Б. Юнусовой [1], Р.М. Мухаметзяновой-Дуггал [2], А.И. Тузбекова [3], З.Р. Хабибуллиной [4], Т.М. Надыршина [5], А.Г. Баимова [6].

Территория Южного Урала охватывает три субъекта Российской Федерации: Челябинскую и Оренбургскую области и Республику Башкортостан. Всего на указанной местности дислоцируются более 40 военных частей, которые комплектуются военнослужащими по призыву [7]. На территории двух военных частей, которые находятся в Челябинской области: г. Озерск и п. Новогорный, есть действующая мечеть.

Первая мечеть появилась в 2007 г. на территории 978 учебного спасательного центра МЧС России (в/ч №63330) в поселке Новогорный Челябинской области. Инициатором строительства был командир военной части, полковник Александр Агафонов и муфтий Челябинской области, имам города Чебаркуль, бывший военный – шейх Вугар Хазрат Акпе-

ров. Строительство осуществлялось силами личного состава военной части из числа добровольцев. Помощь оказали также имамы ближайших окрестностей и местное население. Финансировалось частными предпринимателями. Руководил постройкой объекта заместитель начальника учебного центра по воспитательной работе, подполковник Сергей Лебедь.

Сооружению мечети предшествовало создание другого религиозного объекта в 2006 г. – православной часовни [8]. По словам полковника Александра Агафонова, часовня оказалась востребованной среди солдат, исходя из чего командир сделал вывод о необходимости возведения мечети, т.к. в военной части под его руководством находилось около 20% военнослужащих-мусульман [9]. Оба объекта – и часовня, и мечеть – построены из дерева непосредственно рядом друг с другом и имеют одинаковые размеры (размеры мечети: длина – 5 м, ширина – 4 м, высота – 6 м, высота минарета – 3.5 м).

Мечеть не входит ни в одно из духовных управлений мусульман. Ответственного за мечеть муллы также нет. Богослужения и проповеди проводят имамы близлежащих районов по приглашению командования части.

В 2010 г. состоялось открытие мечети в военной части на острове Моськин (оз. Иртяш), г. Озерск, где дислоцируется дивизион сторожевых катеров Озерского соединения по охране важных государственных объектов

внутренних войск МВД России. Построить мечеть для военнослужащих-мусульман предложил заместитель командира дивизиона по работе с личным составом, капитан третьего ранга Евгений Токарев. В строительстве непосредственно принимали участие старшие мичманы Павел Чайников, Раф Исмагилов и матросы Адиль и Хабиль Тамазовы [10].

Так же, как и в п. Новогорный, сначала была построена православная часовня в 2005 г. Оба объекта – каркасные сооружения: стены часовни из панельных досок, мечети – из ДСП. Имеют одинаковые площади (размеры мечети: длина – 3 м, ширина – 2 м, высота – 3.5 м, высота минарета – 1 м) и находятся в близком расстоянии друг от друга. Расположены религиозные сооружения на территории хозяйственного двора дивизиона.

В мечети, как и в п. Новогорном, нет назначенного муллы. На джума-намаз приглашаются местные имамы. В 2010 г. имамом мечети был военнослужащий срочной службы, матрос Шариф Лашов, который до призыва на военную службу получил духовное образование в медресе г. Энгельса Саратовской области [11].

Несмотря на то, что из трех рассматривавшихся регионов Башкортостан занимает первую строчку по количеству мусульман из общего числа населения, в республике нет ни одной мечети на территории воинских частей. В Башкортостане около 10 воинских частей. В одной из них имеется молельная комната для православных (297 зенитно-ракетная бригада в поселке Алкино-II), где службу проводит помощник командира по работе с верующими военнослужащими иерей Рафаил Королев. На территории войсковой части № 6795 29 отряда специального назначения ВВ МВД в г. Уфе в 2003 г. был построен православный храм, названный именем Великомученика Георгия Победоносца. Единственным местом в регионе, где оборудована молельная комната для военнослужащих-мусульман, является сборный пункт Республики Башкортостан. Параллельно с мусульманской молельной комнатой здесь есть и православная. Идея создания помещений для бого-

служений принадлежит Анатолию Балтинскому, военному комиссару Республики Башкортостан. По словам военкома, в 2011 г. один из призывников из г. Сибая попросил разрешения уединиться на короткое время, ссылаясь на болезнь. В ходе индивидуальной беседы выяснилось, что ему были необходимы место и время для совершения намаза [12]. В 2012 г. состоялось открытие молельных комнат, под которые были оборудованы помещения на первом этаже казармы. Православная и мусульманская молельные комнаты расположены друг против друга и представляют собой помещения 2×3 м.

В сборном пункте Республики Башкортостан 8 раз за каждый период призывной кампании проводятся митинги с участием духовенства. Протоиерей Александр Данилов, руководитель отдела по взаимодействию с Российской армией и МЧС Уфимской Епархии РПЦ, благословляет призывников более 15 лет и является активным участником митингов. Со стороны мусульманского духовенства подобная активность не наблюдается. Чаще каждый раз приглашается новый имам. По словам ответственного за проведение митинга полковника запаса Каримьяна Сайфуллина, из 8 митингов в период весеннего призыва 2015 г. мусульманское духовенство присутствовало всего 2 раза, хотя уведомление о мероприятии отправляют всегда заранее [13].

Протоиерей Александр Данилов считает, что сооружение храмов в военных частях напрямую зависит от командира конкретной воинской части: «Если командир верующий – в части будут построены и часовня, и мечеть, будут работать и имам, и священник, если нет, то нет» [13]. Анализ полученных в ходе исследования материалов подтверждает данный факт. Как видно на карте, обе действующие мечети расположены на территории Озерского городского округа (рис.), и в организации строительства были задействованы главный муфтий Уральского федерального округа РФ Ринат Хаджи-Хазрат Раев и муфтий ДУМ АЧР Челябинской области Вугар Хазрат Акперов.



Рис. Мечети в п. Новогорный и на острове Моськин

Интересно то, что институт военного духовенства был воссоздан по приказу министра обороны, однако военные части, в которых имеются храмы и мечети, не относятся к Министерству обороны (в/ч в п. Новогорном относится к МЧС, в/ч на острове Моськин и в г. Уфе – к МВД) и построены до вышеназванного приказа (Положение по организации работы с верующими военнослужащими Вооруженных сил Российской Федерации было подписано министром обороны РФ 24 января 2010 г.).

В рассмотренных случаях в основном мечеть и часовня (православная и мусульманская молельные комнаты) расположены на близком расстоянии друг от друга и имеют схожие габариты. Данный факт, равно как и совместные проповеди имама и священника, нельзя не отметить как положительный момент. Это служит символом единства двух религий, что способствует укреплению воинского коллектива и формированию толерантности друг к другу среди военнослужащих. Но не всегда имеются специально оборудованные мусульманские помещения для богослужений. Наличие православного храма и православной молельной комнаты при отсутствии мусульманских в некоторых военных частях можно объяснить тем, что многое зависит от активности самих религиозных объединений. Мусульманские духовные управле-

ния не централизованы. На уровне высшего командования проще работать со структурированной РПЦ, нежели с многочисленными духовными управлениями мусульман, не имеющими иерархии. Данное положение делает мусульманское духовенство менее инициативным. Анализ СМИ и полевые исследования автора показали, что мусульманские религиозные объединения редко стремятся сотрудничать с вооруженными силами и практически не имеют никакого опыта взаимодействия. Но тем не менее военные имамы востребованы среди военнослужащих. Об этом часто упоминают и православные военные священники, к которым часто обращаются мусульмане, «так как имамы не приходят» [14], и органы воспитательной работы воинских частей, и сами военнослужащие. Майор запаса Александр Перченко, отслуживший 21 год в качестве военного психолога, отметил, что в период службы к нему часто обращались мусульмане с просьбой об организации беседы с имамом [13].

Итак, в настоящий момент в военных частях, дислоцированных на Южном Урале, действуют 2 мечети и 3 православных храма, находящиеся на территории 3-х военных частей, т.е. только в каждой 15-й рассматриваемого региона. В основном командованием осуществляется организация походов в храмы и в мечети вне территории военной части. Во время полевых выходов практикуется оборудование палаток под помещения для богослужений.

Статья подготовлена при поддержке РГНФ в рамках проекта № 15-01-12014.

Литература

1. Юнусова А.Б. Геоинформационная система «Религии и этноконфессиональные процессы на Южном Урале» // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 241.
2. Мухаметзянова-Дуггал Р.М. Использование геоинформационных систем (ГИС) для отражения религиозного многообразия народов Башкортостана // XI Конгресс антропологов и этнологов России:

сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 238.

3. Тузбеков А.И. ГИС в изучении погребально-культурных сооружений мусульман на Южном Урале // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 240.

4. Хабибуллина З.Р. Метод картографирования в изучении паломнической традиции мусульман Башкортостана // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 241.

5. Надыршин Т.М. География выбора модулей «Основ религиозной культуры и светской этики» (ОРКСЭ) // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 239.

6. Баимов А.Г. Картографирование культовых объектов в военных частях Приволжского и Уральского федеральных округов // XI Конгресс антропологов и этнологов России: сб. материалов. Екатеринбург, 2–5 июля 2015 г. М.; Екатеринбург: ИЭА РАН, ИИиА УрО РАН, 2015. С. 240

7. <http://voinskayachast.ru>

8. Храм специального назначения // Вестник Православного молодежного движения Челябинской области. 2010. № 1 (23). С. 3.

9. <http://www.islamrf.ru/news/russia/rusopinions/876>.

10. http://old.vvmvd.ru/news/2010/08/23/news_2181.html?cyear=&cmonth=.

11. http://old.vvmvd.ru/news/2010/08/23/news_2181.html?cyear=&cmonth=.

12. <http://www.bashinform.ru/news/462938vrespublikanskomsbornompunkteotkrylismolelneyekomnatyvideo> .

13. ПМА. Октябрь 2015 г.

14. ПМА. Сентябрь 2015 г.

MOSQUES IN MILITARY UNITS OF THE SOUTH URALS

© A.G. Baimov

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

The article discusses the history of the establishment and the features of functioning of mosques in the military units of the South Urals. The work was carried out on the basis of materials collected during the research project in the Republic of Bashkortostan, Chelyabinsk and Orenburg regions.

Key words: South Urals, military unit, mosque, temple, military clergy, prayer room.

УДК.309

К ПРОБЛЕМЕ СООТНОШЕНИЯ КУЛЬТА ПРЕДКОВ, ШАМАНИЗМА И ТЕНГРИАНСТВА В РЕЛИГИОЗНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ДРЕВНИХ ТЮРКОВ

© Р.Г. Шарипов

Данная статья посвящена дискуссионной проблеме соотношения культа предков, шаманизма, и тенгрианства в религиозных представлениях древних тюрков. Л.Н. Гумилев особо подчеркивал существование как бы двух культов – официального и народного у древних тюрков. Эта своеобразная двойственность породила многочисленные дискуссии на тему духовной жизни тюркских народов, которые порой стали принимать крайние формы почти полного отрицания тенгрианства как религии изначально присущей тюркам.

Культе предков был изначально присущ алтайским тюркам, как и соседним с ними народам (он прослеживаются и у китайцев и у монголов) – впрочем, как и подавляющему большинству народов мира. Природу возникновения культа предков, как и в целом похоронного обряда и поминальных ритуалов довольно подробно описывает Ю.И. Семенов в своих работах, посвященных происхождению человека и человеческого общества. Культе предков у древних тюрков зафиксирован в китайских источниках и описан довольно подробно рядом исследователей.

Сложный погребальный обряд с сочетанием многих ритуальных элементов, сопровождение поминальных сооружений каменными изваяниями, а нередко и стелами с руническими надписями – все это свидетельствует о весьма высокоразвитых представлениях древних тюрков о загробном мире.

Другой аспект проблемы духовной культуры древних тюрков – это шаманизм и проблема его возникновения.

Безусловна связь между тюркским шаманизмом, культом предков и развитым тенгрианством. Тенгрианский архетип имеет силу практически до наших дней и отчетливо прослеживается у многих народов Евразии. Бесспорны реминесценции тенгрианских представлений о мире у западных тюрков, в частности, у башкир.

Древние башкиры, являясь частью древнетюркской ойкумены «РахТуганум», не могли не разделять верований характерных для всех тюркских или испытывавших сильное тюркское влияние народов Восточной Европы той «героической» эпохи, хотя, безусловно, имел свои особенности, связанные с самобытностью исторического пути башкирского народа. Следы тенгрианства прослеживаются в духовной культуре башкир и по сей день. Безусловно, они есть и у других тюркских народов и этнических групп тюркского происхождения в среде населения Восточной Европы.

Ключевые слова: культ предков; шаманизм; тенгрианство; древние тюрки; погребальный обряд; ранние и развитые формы религии; ритуал; магия; мантика.

В своей фундаментальной работе «Древние тюрки» Л.Н. Гумилев особо подчеркивал существование как бы двух культов – официального и народного у древних тюрков [1; с.75]. Эта своеобразная двойственность породила многочисленные дискуссии на тему духовной жизни тюркских народов, которые порой стали принимать крайние формы почти полного отрицания тенгрианства как религии изначально присущей тюркам. Некоторые авторы отрица-

ют тенгрианство как религию присущую западным тюркам, и настаивают на ее монгольском происхождении [2]. Другой крайностью является абсолютизация культа Неба – Тенгри и отрицание автохтонной природы культа предков, привнесенного на Алтай вместе с монголо-сянбийцами из орды Ашины [3; с. 70].

Сейчас уже действительно трудно разобратся в вопросе об автохтонной или привнесенной извне природе тенгрианства.

То что культ предков был изначально присущ алтайским тюркам, как и соседним с ними народам, (он прослеживаются и у китайцев и у монголов) – впрочем, как и подавляющему большинству народов мира, – нет никаких сомнений.

Природу возникновения культа предков, как и в целом похоронного обряда и поминальных ритуалов довольно подробно описывает Ю.И. Семенов в своих работах, посвященных происхождению человека и человеческого общества. Так, в частности, описывая захоронения неандертальцев, он подчеркивает двойственность отношения к покойникам, которая наблюдалась еще у наших предков-палеоантропов: сочетание страха перед мертвецами и заботы о них. С первым обстоятельством, по мнению Ю.И. Семенова и др. исследователей первобытного общества, связано ритуальное связывание покойников, которое бытовало еще у неандертальцев и описано этнографами у многих ведущих традиционный образ жизни охотников и собирателей, со вторым – что уже неандертальцы снабжали своих покойников едой и орудиями труда [4; с. 232–233]. Собственно, именно страх перед смертью, по сути дела, и порождает культ и ритуал, а в итоге – вначале бытовую, затем лечебную магию, колдовство и, в конечном счете – религию. «Господствовавшие над человеком, определявшие течение и результаты его практической деятельности естественные силы природы были осознаны им как силы надприродные, надъестественные» [там же, с. 242]. Разумеется, исследователь советского времени подходил к вопросу о происхождении и истоках религии сугубо с марксистских позиций, но как бы там ни было, мы не можем оспорить его логику. Можно подходить к этому вопросу с материалистических или идеалистических позиций – не в том суть. Главное, что танатофобия в любом случае являлась и является мощнейшим стимулом не только явлений религиозных и магических, но и всей духовной жизни человека в целом. Проблеме поиска бессмертия посвящены два древнейших эпоса зафиксиро-

ванные учеными – шумеро-аккадский эпос о Гильгамеше и башкирский эпос «Урал-батыр».

Культ предков у древних тюрков зафиксирован в китайских источниках и описан довольно подробно. Знатных тюрков «...долго оплакивали, в знак скорби по ним заставляли резать лицо, так что «кровь и слезы вместе льются». Им приносили жертвы. Знатного покойника сжигали вместе с его вещами и конем. Раскопки позволяют предполагать что и люди насильственно следовали вслед за своим господином» [5; с. 509]. Как мы теперь знаем, сжигались далеко не все покойные. В эпоху каганатов погребение покойных и трупосожжение зачастую соседствовали [6]. Но неизменным во всех каганатах от Первого Тюркского до Кимакского на протяжении добрых пятисот лет оставался «внешний» обряд, который соблюдался неуказательно – будь то храмово-поминальный комплекс памяти Бильге-кагана или захоронение рядового кочевника.

А.В. Тиваненко отмечает интересную особенность: когда речь идет о восточных памятниках, то гораздо чаще встречаются и являются более хорошо изученными именно ритуальные комплексы знати – каганов, тарханов, бегов, а для Восточной Европы характерны в основном захоронения рядовых кочевников [7]. Трудно сказать, с чем это было связано – ведь каганы, ханы, бии и тарханы были, разумеется, и у хазар, болгар, у печенегов, у половцев и у древних башкир. Возможно, – предположим такую версию хотя бы на уровне гипотезы, – это связано с тем, что у кочевников Восточной Европы был распространен обычай табуирования захоронения знатного человека. На это косвенно указывают сочинения античных авторов, свидетельствующие о тайном захоронении Аттилы [8]. Впоследствии вероятно этот обычай переняли и монголы, которые почти точка в точку повторили гуннский обряд захоронения при погребении Чингисхана, могила которого, как известно, до сих пор не найдена.

В любом случае внешняя, так сказать, «наземная» сторона обряда оставалась не-

изменной – место захоронения (или поминовения в случае трупосожжения) обкладывалось каменной оградкой (в случае поминальных комплексов каганов их заменяют стена и ров [6; с. 91]). Внутри находилась собственно могила с поминальными атрибутами – в случае рядового захоронения это могла быть просто куча камней (по хакасски – чаатас, т.е. «камень войны»); [9] если был захоронен знатный человек то его могила украшалась как правило каменным изваянием. Феномен тюркских каменных изваяний настолько уникален, что этой проблеме мы посвятили отдельную статью [10]. Кроме изваяния нередко в оградке располагалась вереница камней – так называемых «балбалов». По мнению большинства исследователей, они символизировали количество убитых покойным в течение жизни врагов [6; 7; 11]. Как уже отмечалось выше, в захоронениях обязательно оставлялся инвентарь – оружие, орудия труда, сосуды, украшения. Довольно часто практиковались захоронения коня вместе с покойником [6].

Тот факт, что у древних тюрков нередко практиковались трупосожжения, а также и то, что вместе с кочевником погребался его конь, а со знатным человеком хоронили его рабов, и возможно жен или наложниц, наталкивает на весьма интересные аллюзии с обрядом захоронения знатного руса (в данном случае – норманна), описанного А. Ибн-Фадланом [12]. Описание арабского путешественника в какой-то степени подтверждается находками из скандинавских курганов эпохи викингов – там находят богатейший инвентарь – клады золотых монет, драгоценностей, оружия [13; с. 74–75]. Найдены и ладьи викингов, которые были погребены под курганами, и в данном случае корабль заменял... коня.

Сложный погребальный обряд с сочетанием многих ритуальных элементов, сопровождение поминальных сооружений каменными изваяниями, а нередко и стелами с руническими надписями – все это свидетельствует о весьма высокоразвитых представлениях древних тюрков о загробном мире.

А.В. Тиваненко отмечает, что своеобразные «дома мертвых», «... по своей кон-

струкции очень напоминающие позднейшие древнетюркские поминальные (храмовые) комплексы» появляются в хакасских степях еще в т.н. тагарскую эпоху, то есть в VI–III вв. до н.э. [7; с. 15]. Как видим, памятники культуры материальной наглядно свидетельствуют о преемственности культурного кода, который передавался у населения Срединной Азии и Восточной Европы из глубочайшей древности до эпохи средних веков.

Другой аспект проблемы духовной культуры древних тюрков – это, безусловно, шаманизм и проблема его возникновения. Имеет ли шаманизм связи с культом предков и тенгрианством?

«Шаманизм (также **шаманство**) — ранняя форма религии, в основании которой лежит вера в общение шамана с духами в состоянии транса (**«камлание»**). Шаманизм связан с магией, анимизмом, фетишизмом и тотемизмом. Его элементы могут содержаться в различных религиозных системах. Шаманизм был развит у народов Северной Европы (саамы), Сибири, Дальнего Востока, Юго-Восточной Азии и Африки, у индейцев Северной Америки, а также и у индейцев Южной Америки. В той или иной форме он существовал у большинства народов Земли. В этом смысле шаманизм принято считать древнейшей религией, насчитывающей десятки тысячелетий» [14]. Примерно так определяет понятие шаманизма Википедия.

Без всякого сомнения, шаманизм следует связывать с такой ранней формой религии как анимизм [15; 16].

Современные исследователи определяют анимизм как веру «в существование бесчисленных духовных существ, участвующих в человеческих делах и способных помогать или мешать человеку добиваться своих целей» [17; с. 261].

Ю.И. Семенов отмечал, что возникновение религиозных представлений «... на определенном этапе развития человека было неизбежным. Самым глубоким корнем религии на первых этапах ее эволюции было бессилие человека перед природой» [2; с. 240] (выделено мной – Р.Ш.).

Безусловно, что первобытный человек, а тем более – предок современного человека – палеоантроп, еще не достигший завершающего этапа своей эволюции, не разбирался в сущности природных явлений, довлевших над ним. Смерть, болезни, голод, миграции животных и другие стихийные явления он не мог еще объяснить с рационально-научной точки зрения. «Религия возникла не в процессе размышлений над причинами каких бы то ни было природных или социальных явлений. Осознание зависимости исхода человеческих действий от сил иных, чем естественные способности человека, пришло в ходе практических попыток во что бы то ни стало обеспечить достижение желаемых результатов. Оно первоначально выразилось в том, что *оказывавшиеся то и дело недостаточными действия, направленные к достижению цели, начали дополняться актами поведения, которые в действительности не способствовали реализации цели, но рассматривались как необходимые для этого*» [там же; с. 243] (выделено мной – Р.Ш.).

Мы опять-таки не будем вдаваться в критику марксистско-ленинского подхода о природе религии, однако логичным будем признать, что в весьма большой степени явления природных сил, над которыми человек был не властен, повлекли за собой появление неких ритуальных действий, а вместе с ними – и своеобразный образ мышления, свойственный человеку первобытной культуры, а во многом не изжитый и до сих пор, проявляющийся и у человека современного мира – в суевериях, ритуалах, народных приметах.

Именно отсюда проистекают корни магии, тотемизма, анимизма, и более развитых форм религии. Прежде чем прийти к рационально-научному пониманию мира, человек проделал долгий и сложный путь. Но, как мы уже замечали выше, пережитки былого опыта (возможно на архетипическом уровне) до сих пор довлеют над человеком и во многом определяют его представление о мире.

«Мы используем *множественные интерпретации мира* и в большинстве случа-

ев неосознанно. Различные модели мировоззрения являются продуктом творческой деятельности человека и сосуществуют как параллельные реальности, дополняя и одновременно противореча друг другу» [18; с. 88] (подчеркнуто мной – Р.Ш.).

Немецкая исследовательница А.К. Ольшпегель, изучая духовную культуру современных тувинцев, пришла к выводу о том, что в их сознании до сих пор сосуществуют и уживаются современная и древняя картины мира. Не без некоторой доли иронии она замечает, как современные тувинцы едут поклоняться святым источникам на джипах, забыв при этом испросить разрешения на проезд у духов реки, через которую они проезжают [там же; с. 93].

Современный человек испорчен эпохой постмодерна, которая, однако, по мнению некоторых исследователей сама «грозит» стать основой мифотворчества [17; с. 330–331]. А если говорить о предках современных тувинцев (и других тюркских народов), которые жили в мире традиционной культуры, то для них мир был действительно вместилищем не только человека и других реальных существ его населяющих. Он был также и обиталищем целого сонма духовных сущностей, связь с которыми осуществлялась через посредство магических действий и ритуалов. Естественно, что должны были существовать человеческие посредники между реальным, земным миром и миром духов. Так возник феномен шаманизма.

Безусловна связь между тюркским шаманизмом, культом предков и развитым тенгрианством. Как уже говорилось, в эпоху каганатов существовала разница между культом государственным и культом народным. Но связь между ними была.

Мы попытаемся объяснить это на конкретных примерах. Безусловно, нельзя приписать феномен тюркского шаманизма влиянию извне, в частности – со стороны монгольских народов, или проникавшему на Алтай и далее на запад идеям буддизма, а позднее ламаизма, возникшего на Тибете.

В частности, большой интерес представляют данные Л.П. Потапова, которые он получил во время своих алтайских экспедиций. Он особо подчеркивает: «Верховным божеством у древних тюрков считалось Тенгри – Небо, почитание которого корнями уходит в хуннскую эпоху. Древние тюрки устраивали Тенгри специальное моление. До недавнего времени своим высшим божеством считали Небо, именуя его тем же словом, и шаманисты-алтайцы, тувинцы, качинцы, бельтиры и другие народности и племена Саяно-Алтайского нагорья...» [19; с. 265–266] (выделено мной – Р.Ш.).

Л.П. Потапов приводит любопытнейшие данные о связи древнего хтонического тенгрианского культа богини Умай с современным шаманизмом. В частности, он отмечает, что у «качинцев и сагайцев почитание Умай было отмечено еще Н.Ф. Катановым, который записал в 1892 г. ... обращение шамана к духу огня...» [там же; с. 270] (выделено мной – Р.Ш.). Он особо подчеркивает, что: «мать Умай» почитается... как божество домашнего огня... шаман просит мать Умай покровительствовать размножению и жизни людей вообще, как взрослых, так и детей.» [там же; с. 270–271] (выделено мной – Р.Ш.).

А.В. Тиваненко отмечает как важное, то что: «... в Туве хорошо сохранились реликты былого почитания древнетюркских святилищ, в частности *каменных изваяний*» [7; с. 101]. Этот обряд называется *коже тагыр*. Исследователь описывает обряд следующим образом: «На обряд съезжалось много народа, и каждый привозил с собой араку и продукты. Затем все ехали к каменному изваянию. *Зайти в оградку к статуе могли только шаман или лама...*» [там же] (выделено мной – Р.Ш.).

Феномен шаманизма у западных (восточноевропейских) тюрков в свое время исследовал Абдулкадир Инан. Он отмечал, что шаман, в частности, у башкир назывался «баксы» [20; с. 131]. На это же указывает и Л.Н. Гумилев. В частности, он замечает следующее по поводу религии западных тюрков: «Верховное божество называлось Тэнгре. У человека было две души: перво-

начальная душа – «кот» и злая душа – «орэк». Земле поклонялись как матери, чтити Солнце и огонь. Почитали добрых духов: мать воды, хозяина леса, дома, хлеба – и опасались злых духов: убуров и алба-стов» [21; с. 619].

По поводу названия «злой души» в верованиях древних тюрков – орэк, как ее называет Л.Н. Гумилев, можно привести следующую интересную параллель. Ф.Г. Хисамитдинова в своей работе посвященной обычаю кровной мести (карымта) у башкир отмечает: «Башкиры верили, что кровь не отмщенного человека превращается в призрак (*орэк*), плачет и просит отмщения. Кровь его не засыхает, не принимается землей, превращается в черную кровь» [22; с. 63]. Можно сделать вывод о том, что здесь идет речь о хтонических верованиях о неуспокоенной душе человека, которая представляла опасность для живых, что является, по сути реминесценцией тех же архаичных представлений, которые, по мнению Ю.И. Семенова и др. исследователей первобытной культуры, заставляли еще неандертальцев связывать своих покойников.

Тенгрианский архетип имеет силу практически до наших дней и отчетливо прослеживается у многих народов Евразии. Например, М. Аджи считает, что у гуннов и кипчаков роль мирового древа исполняла ель, и христиане заимствовали у них почитание этого дерева, и сделали его символом рождественских и новогодних празднеств [23; с. 172–173].

Бесспорны реминесценции тенгрианских представлений о мире у западных тюрков, в частности, у башкир.

Древние башкиры, являясь частью древнетюркской ойкумены – «*RaхTuranum*» [24; 25], не могли не разделять верований характерных для всех тюркских или испытывавших сильное тюркское влияние народов Восточной Европы той «героической» эпохи, хотя, безусловно, имел свои особенности, связанные с самобытностью исторического пути башкирского народа. Д.Ж. Валеев, например, ссылаясь на информацию, почерпнутую из эпоса «Урал-батыр», считал что основными

«персонажами» древнебашкирского пантеона являлись: «Тенгри – главный бог, в котором олицетворено поклонение небу; Хумай – богиня плодородия; Самрау – небесный царь; Айхылыу (луна, месяц) и Кояш (солнце) – это дочери небесного царя, родившегося от брака с Хумай» [26; с. 7]. Вполне вероятно, что и эти представители башкирского языческого пантеона имеют параллели в восточном тенгрианстве и его рудиментах, сохранившихся среди саяно-алтайских народов: например, возможно, что аналогом Самрау у шорцев является небожитель Самчи [27; с. 71]. Образ божества, имя которого носила одна из крупнейших рек Южного Урала и кочевое племя, сохранился в башкирском эпосе «Урал-батыр» в виде сына Урала – Яйык-батыра. В пантеоне алтайцев также зафиксирован образ повелителя водной стихии Йайык-хана [28]. Кроме того известно, что «йайыками» на Алтае именуется целый сонм духов-покровителей [26; с. 100].

В своей полемике с А.Р. Абдуллиным, отрицавшим существование в древности культа Тенгри у башкир [2], Д.Ж. Валеев приводит ряд народных башкирских пословиц, в которых упоминается имя Тенгри (в башкирском варианте – Тэнре), в частности: «Күрше һақы – Тэнре һақы», что означает «Уважать соседей велит бог (Тенри)» [26; с. 11]. В исследованиях М.Н. Сулеймановой также приводятся выражения, свидетельствующие о пережитках тенгрианства: «Тэнрем, һинбелән» («Тенгри, ты знаешь»), «Тэнрем, ярылка» («Тенгри, окажи милость»), «Тэнрем курә» («Тенгри все видит»), «Тэнрең һөймәс» («Твой Тенгри невзлюбит»). Она же отмечает что боевой клич (оран) у некоторых башкирских родов и племен, в частности у племени кыпсак, был «Тэнре» [29; с. 82].

Большой интерес представляет приведенная в исследовании М.Н. Сулеймановой этнографическая запись – заговор:

«Ен қағылган кешемден,
Төсө-буйы кипкәндер.
Тэнрене көзрәтебулып
Һинен гәзиз бәндәгә
Нуры-зауық қайтқандыр»

«Человек, которого ударил ен,
С иссохшим видом.
Подобно могуществу Тэнре,
Твоему дорогому человечку
(пренебрежительная форма, или рабу)
Возвернется сияние-удовольствие
(наслаждение, т.е. здоровье)» [там же; с. 79].

Таким образом, до сих пор в бытовой обрядовой магии башкирские знахари обращаются к могуществу Тэнре (Тенгри) для изгнания злого духа («ен») из больного.

Как мы видим, следы тенгрианства прослеживаются в духовной культуре башкир и по сей день. Безусловно, они есть и у других тюркских народов и этнических групп тюркского происхождения в среде населения Восточной Европы. Их рудименты в первую очередь следует искать в сфере практически не затронутой исламской или христианской культурой – знахарстве, колдовстве, в целом, той сфере, которую принято называть мантикой.

Литература

1. Гумилев. Древние тюрки. М., 1993. 527 с.
2. Абдуллин А. Зачем нам нужен монгольский бог? // Истоки. № 17 (86). 1994.
3. Бадгутдинов Р.Р. Народ Божьей Силы. К проблеме этимологии этнонима «тюрк» // Фило-софская и общественно-политическая жизнь Башкортостана в XX столетии. Уфа, 2001. С. 66–70.
4. Семенов Ю.И. На заре человеческой истории. М., 1989. 318 с.
5. Киселев С.В. Древняя история Южной Сибири. М., 1951. 635 с.
6. Трифонов Ю.И. Об этнической принадлежности погребений с конем древнетюркского времени (в связи с вопросом о структуре погребального обряда тюрков-тугю) // Тюркологический сборник. 1972. М., 1973. С. 351–374.
7. Тиваненко А.В. Древние святилища Южной Сибири в эпоху раннего средневековья. Новосибирск, 1994. 150 с.
8. Иордан. О происхождении и деяниях гетов. М., 1960. 445 с.
9. Кызласов Л.Р. Древнетюркские изваяния Тувы. По материалам исследований // СА. 1964. № 1. С. 349–355.
10. Шарипов Р.Г. Мировоззрение древнетюркской кочевой элиты и культ каменных изваяний // Вестник БашГУ. 2014. Т. 19, № 1. С. 324–330.

11. Шер А.Я. Каменные изваяния Семиречья. М., 1966. 140 с.
12. Путешествие Ахмеда Ибн-Фадлана на реку Итиль и принятие в Булгарии ислама. М., 1992. 96 с.
13. Гуревич А.Я. «Эдда» и сага. М., 1979. 192 с.
14. Шаманизм. Википедия. [URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D8%E0%EC%E0%ED%E8%E7%EC>] (дата обращения: 12.01.2015).
15. Тэйлор Э. Первобытная культура. М., 1989. 573 с.
16. Токарев С.А. Ранние формы религии. М., 1990. 622 с.
17. Самыгин С.И., Нечипуренко В.Н., Полонская И.Н. Религиоведение: социология и психология религии. Ростов-на-Дону, 1996. 672 с.
18. Ольшлегель А.К. Множественные интерпретации мира. Пример тувинцев Южной Сибири // Этнографическое обозрение. № 5. 2014. С. 88–103.
19. Потапов Л.П. Умай – божество древних тюрков в свете этнографических данных // Тюркологический сборник. 1971. М., 1972. С. 265–286.
20. ИнанАбдулкадир. Шаманизм в истории и современности (на башк. яз.). Уфа, 1997. 224 с.
21. Гумилев Л.Н. Древняя Русь и Великая Степь. М., 2002. 839 с.
22. Хисамитдинова Ф.Г. Мифологизация крови у башкир // Проблемы востоковедения. 2014. № 2 (64). С. 59–65.
23. Аджи М. Европа, тюрки, Великая Степь. М., 1998. 334 с.
24. Шарипов Р.Г. Менталитет древних тюрков: философско-мировоззренческий анализ. Уфа, 2001. 116 с.
25. Шарипов Р.Г. Хайруллин И.Р. Pax Turanum как городская цивилизация: proicontra // Вестник АН РБ. 2007. № 2. С. 20–23.
26. Валеев Д.Ж. Религия и духовность // Религия и духовность. Уфа, 1995. С. 4–13.
27. Хлопина И.Д. Из мифологии и традиционных религиозных верований шорцев // Этнография народов Алтая и Западной Сибири. Новосибирск. 1978. С. 70–89.
28. Мажитов Н., Султанова А. История Башкортостана // Агидель. 1995. № 4 (на башк. яз.). С. 91–125.
29. Сулейманова М.Н. Доисламские верования и обряды башкир. Уфа, 2005. 146 с.

**ON RELATIONS OF THE ANCESTOR WORSHIP, SHAMANISM AND TENGRIISM
IN RELIGIOUS WORLD-VIEWS OF THE ANCIENT TURKS**

© R.G. Sharipov

Institute of History, Language and Literature, Ufa Scientific Centre, RAS,
71, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

This article is devoted to a disputable problem of the relations of the ancestor worship, shamanism and tengriism in the religious ideas of the ancient Turks. L.N. Gumilev emphasized the existence of two cults – the official and the folk – among the ancient Turks. This kind of duality gave rise to numerous discussions about the spiritual life of the Turkic peoples, which sometimes take extreme forms of almost complete denial of tengriism as a religion inherent to the Turks.

The ancestor worship was inherent to the Altai Turks and neighbouring nations (it is traced both among the Chinese and the Mongols), as among the vast majority of the peoples of the world. The origin of the cult of the ancestors, and also funeral rites and commemorative rituals as a whole, is comprehensively described by Yu.I. Semenov in his works devoted to the origin of man and human society. The ancestor worship of the ancient Turks is recorded in Chinese sources and described quite extensively by several researchers.

Complicated funeral rites with the combination of many ritual elements, addition of memorial structures with stone sculptures, and often steles with runic inscriptions – all this is indicative of highly developed views of the ancient Turks about the afterworld.

Another aspect of the problem of spiritual culture of the ancient Turks is shamanism and the problem of its origin.

Unconditional is the link between Turkic shamanism, the cult of the ancestors and developed tengriism. The Tengrian archetype has its power almost to the present day and is clearly apparent among many nations of Eurasia. Reminiscences of the Tengrian world-views among the Western Turks, in particular, the Bashkirs, cannot be questioned.

The ancient Bashkirs, being part of the Turkic ecumene "Pax Turanum", could not help but share beliefs typical for all Turkic peoples in Eastern Europe or to those who had experienced a strong Turkic influence in that "heroic" era, although they undoubtedly had their own distinctive features related to the identity of the historical path of the Bashkir people. Traces of tengriism are found in the spiritual culture of the Bashkirs even today. Certainly, they still exist among other Turkic peoples and ethnic groups of the Turkic origin living in Eastern Europe.

Key words: ancestor worship, shamanism, tengriism, ancient Turks, funeral ceremony, early and developed forms of religion, ritual, magic, mantics.