

Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Коми научный центр
УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

№3(11)

2012

Главный редактор:

академик *А.М. Асхабов*

Редакционная коллегия:

*д.т.н. И.Н. Андронов, д.м.н. Е.Р. Бойко, д.э.н. Н.М. Большаков,
к.г.-м.н. И.Н. Бурцев, к.и.н. И.О. Васкул, к.т.н. И.И. Волкова,
д.б.н. В.В. Володин, д.б.н. М.В. Гецен (зам. главного редактора),
д.ф.-м.н. Н.А. Громов, д.б.н. С.В. Дёгтева, к.геогр.н. Т.Е. Дмитриева,
д.и.н. И.Л. Жеребцов, чл.-корр. РАН А.В. Кучин,
д.г.-м.н. О.Б. Котова, д.б.н. Н.В. Ладанова (отв. секретарь),
чл.-корр. РАН В.Н. Лаженцев (зам. главного редактора),
чл.-корр. РАН И.М. Роцевская, к.х.н. С.А. Рубцова,
к.и.н. А.В. Самарин (помощник главного редактора),
д.филол.н. Г.В. Федюнева, д.т.н. Ю.Я. Чукреев, д.б.н. Д.Н. Шмаков*

Редакционный совет:

*акад. В.В. Алексеев, чл.-корр. РАН В.Н. Анфилогов,
чл.-корр. РАН В.И. Бердышев, акад. В.Н. Большаков,
д.э.н. В.Н. Задорожный, д.э.н. В.А. Ильин,
акад. В.Т. Калинин, акад. В.А. Коротеев, к.т.н. Н.А. Манов,
акад. В.П. Матвеев, акад. Г.А. Месяц, акад. Ю.С. Оводов,
чл.-корр. РАН Е.В. Пименов, акад. М.П. Роцевский,
чл.-корр. РАН А.Ф. Титов, акад. В.Н. Чарушин, д.т.н. Н.Д. Цхадая*

Адрес редакции:

167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24
Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 317.
Тел. (8212) 24-47-79, факс (8212) 24-22-64
E-mail: journal@presidium.komisc.ru
www.izvestia.komisc.ru

ISSN 1994-5655

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за
соблюдением законодательства в сфере массовых ком-
муникаций и охране культурного наследия. Свид. о ре-
гистрации средств массовой информации ПИ № ФС 77-
26969 от 11 января 2007 г.

© Коми научный центр УрО РАН, 2012

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.В. Кисиль. Является ли коммутация наблюдаемых главным отличием классической механики от квантовой? 4
- В.И. Пунегов. Математическое моделирование рентгеновской дифракции на пористых кристаллах. 1. Когерентное рассеяние.....10

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.А. Белый, И.Н. Алексеев, Р.А. Садыков. Изучение химической структуры лигнинов родиолы розовой (*Rhodiola rosea L.*) и серпухи венценосной (*Serratula coronata L.*) методом 2D ЯМР-спектроскопии20

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Н.Б. Петрова, В.В. Володин. Антиагрегационное и стресс-лимитирующее действие экидистероидсодержащей субстанции Серпистен27
- А.Е. Сычев, В.А. Сычев, Г.И. Воробьева, А.И. Зайкина, Р.А. Рогачева. Импульсные аппараты и перспектива их использования в биотехнологии33
- С.Г. Скугорева, Т.Я. Ашихмина. Содержание ртути в компонентах природной среды на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината.39
- Л.Г. Мартынов. О перезимовке древесных растений в ботаническом саду Института биологии Коми научного центра в 2009–2010 гг.....46
- Е.В. Полякова, М.Ю. Гофаров. Применение аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата при составлении цифровой модели местности (на примере субарктического термального урочища Пымвашор)52
- А.В. Чернядьев, А.А. Бывалов, Б.А. Ананченко, Л.Г. Бушмелева, С.Г. Литвинец. Морфологические особенности бактерий *Yersinia Pseudotuberculosis*, выращенных при различных температурных условиях.....57

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.И. Ракин, Н.Н. Пискунова. Морфология искусственных алмазов61
- Т.А. Пономарева, И.И. Шуктомова. Взаимосвязи теплового потока и естественных радионуклидов с глубинным строением Тимано-Североуральского региона68

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Ю.Я. Чукреев, М.Ю. Чукреев. Сравнительный анализ вероятностных показателей балансовой надежности и методических принципов их определения при управлении развитием электроэнергетических систем76
- И.Ф. Чупров, Е.А. Канева. Решение задачи о прогреве трещиноватого пласта82
- Л.М. Рузин, И.Ф. Чупров, М.С. Хозяинова. Технологические принципы разработки водоплавающей залежи аномально вязкой нефти.....86

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Т.И. Дронова. «Слово о забытых грешных»: к вопросу о поминовении в Усть-Цилемской культурной традиции90
- Н.Е. Слепчина. Ребенок как субъект социализации и личностного развития (по материалам традиционных воспитательных практик народа коми).....95
- Т.И. Чудова. Архитектурно-декоративные украшения в домостроительстве вашкинских коми 102

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

- В.А. Иванов. Проблемы устойчивого развития сельской местности северного региона 108
- А.Г. Шеломенцев, В.Н. Беляев, С.В. Дорошенко, О.В. Бурый. Минерально-сырьевой комплекс как основа социально-экономического развития Урала 115
- Т.А. Вокуева. Вычисление матрицы взаимовлияния когнитивной карты 123

- ХРОНИКА 130

- ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ) 135

CONTENTS

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

- V.V. Kizil. Is commutativity of observables the main feature which separate classical mechanics from quantum? 4
V.I. Punegov. Mathematical simulation of x-ray diffraction on porous crystals. 1. Coherent scattering.....10

CHEMICAL SCIENCES

- V.A. Bely, I.N. Alekseev, R.A.Sadykov. Studying of chemical structure of lignins of *Rhodiola rosea L.* and *Serratula coronata L.* by 2D NMR-spectroscopy.....20

BIOLOGICAL SCIENCES

- N.B. Petrova, V.V. Volodin. Anti-agregative and stress-limitive action of ecdysteroid-containing preparation Serpisten27
A.E. Sychev, V.A. Sychev, G.I. Vorobyova, A.I. Zaikina, R.A. Rogacheva. Pulse devices and prospects of their use in biotechnology.....33
S.G. Skugoreva, T.Ya. Ashikhmina. Mercury levels in environmental components in territory near the Kirovo-Chepetsk chemical industrial complex39
L.G. Martynov. About the wintering of woody plants in the Botanical Garden of the Institute of Biology, Komi Science Centre, in 2009-2010.....46
E.V. Polyakova, M.Yu. Gofarov. Application of aerial photography from the unmanned aerial vehicle at drawing up of digital model of a district (SubArctic thermal natural boundary Pymvashor, as an example).....52
A.V. Chernyadyev, A.A. Byvalov, B.A. Ananchenko, L.G. Bushmeleva, S.G. Litvinets. Morphological features of bacterium *Yersinia pseudotuberculosis* grown at different temperature conditions.....57

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

- V.I. Rakin, N.N. Piskunova. Morphology of synthetic diamonds61
T.A. Ponomareva, I.I. Shuktomova. The interconnections of geothermal flux and natural radionuclides with internal structure of the Timan-North Urals region68

TECHNICAL SCIENCES

- Yu.Ya. Chukreyev, M.Yu. Chukreyev. Evaluation methods and probabilistic indices of power systems adequacy assessment for the control of development of power networks.....76
I.F. Chuprov, E.A. Kaneva. The solution of the problem on warming up of fractured reservoir82
L.M. Ruzin, I.F. Chuprov, M.S. Khozyainova. Engineering design principles of bottom water-drive reservoir with non-Newtonian viscous oil86

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

- T.I. Dronova. "Slovo o zabyvshih greshnih (The word of forgotten sinners)": to the problem of commemoration in Ust-Tsilma cultural tradition90
N.E. Slepchina. A child as the subject of socialization (on the materials of the Komi tradition) ...95
T.I. Chudova. Architectural-decorative ornaments in housebuilding of Vashkinsky Komi 102

SOCIAL SCIENCES

- V.A. Ivanov. Problems of sustainable development of rural areas of the northern region 108
A.G. Shelomentsev, V.N.Belyaev, S.V.Doroshenko, O.V.Buriy. Mineral-raw material complex as a basis for social and economic development of the Urals 115
T.F. Vokueva. Calculation of the interaction matrix for cognitive maps 123

- CHRONICLE 130

- OFFICIAL (ANNIVERSARIES) 135

УДК 530.1

ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ КОММУТАЦИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ ГЛАВНЫМ ОТЛИЧИЕМ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ОТ КВАНТОВОЙ?

В.В. КИСИЛЬ

*Факультет математики, Университет г. Лидс, Великобритания
kisilv@maths.leeds.ac.uk*

В 1926 г. Дирак предположил, что квантовая механика может быть получена из классической заменой единственного допущения. По его мнению, классическая механика определяется коммутативными величинами («с-числами»), в то время как квантовая требует некоммутирующих («q-чисел»). Остальные допущения являются общими для обеих теорий. В данной работе мы критически пересматриваем предложение Дирака.

С этой целью представляем некоммутирующую модель *классической* механики с ненулевой постоянной Планка. Это возможно благодаря использованию нильпотентной единицы ϵ такой, что $\epsilon^2 = 0$. Следовательно, решающую роль в построении квантовой теории выполняет мнимая комплексная единица.

Ключевые слова: квантовая механика, классическая механика, коммутационные соотношения Гейзенберга, наблюдаемая, интеграл по путям, группа Гейзенберга, комплексные числа, дуальные числа, нильпотентная единица

V.V. KIZIL. IS COMMUTATIVITY OF OBSERVABLES THE MAIN FEATURE, WHICH SEPARATE CLASSICAL MECHANICS FROM QUANTUM?

In 1926, Dirac stated that quantum mechanics can be obtained from classical theory through a change in the only rule. In his view, classical mechanics is formulated through commutative quantities (c-numbers) while quantum mechanics requires noncommutative one (q-numbers). The rest of theory can be unchanged. In this paper we critically review Dirac's proposition.

We provide a natural formulation of classical mechanics through noncommutative quantities with a non-zero Planck constant. This is done with the help of the nilpotent unit ϵ such that $\epsilon^2 = 0$. Thus, the crucial role in quantum theory shall be attributed to the usage of complex numbers.

Key words: quantum mechanics, classical mechanics, Heisenberg commutation relations, observables, path integral, Heisenberg group, complex numbers, dual numbers, nilpotent unit

...it was on a Sunday that the idea first occurred to me that $ab - ba$ might correspond to a Poisson bracket.

P.A.M. Dirac,

http://www.aip.org/history/ohilist/4575_1.html

(...было воскресенье и ко мне впервые пришла мысль, что $ab - ba$ может соответствовать скобке Пуассона.

П.А.М. Дирак)

1. Введение

Сейчас наблюдается возрождение интереса к основаниям квантовой теории, которое поддержано заметным финансированием в различных странах. Одна из причин этого связана с прикладными инженерными вопросами, возникающими при работе с nano-объектами. Копенгагенская интерпретация была удовлетворительной для сравнительно небольшого числа теоретических физиков (и может быть даже льстила их элитарному духу). Однако для массового освоения практикующими инженерами хотелось бы

иметь более реалистичную картину происходящего в микромире. В поисках таких объяснений необходимо вернуться к самым истокам квантовой теории.

В 1926 г. Дирак предположил, что квантовая механика может быть получена из классической заменой единственного допущения, см. [1]:

...there is one basic assumption of the classical theory which is false, and that if this assumption were removed and replaced by something more general, the whole of atomic theory would follow quite naturally. Until quite recently, however, one has had no idea of

what this assumption could be.¹

Дирак предположил, что необходимое условие заключено в коммутационных соотношениях Гейзенберга для наблюдаемых координаты и импульса частицы [1]:

$$q_r p_r - p_r q_r = i\hbar. \quad (1)$$

Алгебраически это соотношение фиксирует некоммутативность величин q_r и p_r . Поэтому Дирак предложил [1] гипотезу о том, что классическая механика определяется коммутативными величинами («с-числами», как он их назвал), в то время как квантовая требует некоммутативных («q-чисел»). Остальная часть теории, не противоречащая предыдущему допущению, не требует изменений. Это в явном виде подтверждено в следующей статье Дирака [2]:

The new mechanics of the atom introduced by Heisenberg may be based on the assumption that the variables that describe a dynamical system do not obey the commutative law of multiplication, but satisfy instead certain quantum conditions.²

Эта же точка зрения неоднократно выражалась и в более поздних работах ([3], стр. 41, [4], стр. 11).

Точка зрения Дирака получила широкое распространение, особенно среди математически ориентированных учёных. Более того, расплывчатая вариация «квантовое — это что-то такое некоммутативное» изначального предложения была с лёгкостью обращена во «всякое некоммутативное — это квантовое». Например, стало модным называть всякую некоммутативную алгебру «квантовым пространством» [5].

Давайте внимательно разберем, действительно ли некоммутативность является важнейшим источником квантовой теории.

2. «Алгебра» наблюдаемых

Отбросив предположение о коммутативности наблюдаемых, Дирак делает следующее, казалось бы очень гибкое, допущение [1]:

All one knows about q-numbers is that if z_1 and z_2 are two q-numbers, or one q-number and one c-number, there exist the numbers $z_1 + z_2$, $z_1 z_2$, $z_2 z_1$, which will in general be q-numbers but may be c-numbers.³

Математически это предположение (совместно с некоторыми естественными соотношениями) означает, что наблюдаемые образуют алгебраическую структуру, называемую *кольцом*. Далее, линейный принцип суперпозиции требует, чтобы у наблюдаемых была также структура векторного пространства, что вместе с предыдущим условием характеризует множество всех наблюдаемых как *алгебру*.

¹ «...существует одно базовое допущение в классической теории, которое неверно, и если это допущение удалить или заменить чем-то более общим, вся теория атома получилась бы естественно. Однако до недавнего времени никто не подозревал, какое это может быть допущение».

² «Новая механика атома, предложенная Гейзенбергом, может быть основана на допущении, что переменные, описывающие динамику системы, не следуют закону коммутативности умножения, вместо этого удовлетворяют некоторым квантовым соотношениям».

³ «Все, что мы знаем о q-числах это, если z_1 и z_2 — два q-числа, или одно q-число и одно c-число, тогда существуют величины $z_1 + z_2$, $z_1 z_2$, $z_2 z_1$, которые в общем случае являются q-числами, но могут оказаться и c-числами».

⁴ «Вследствие Аксиомы III, выражения вроде A^2 , $A^3 + A$, $1 - A$ и e^A все имеют смысл, если A является наблюдаемой».

Некоторые работы, ориентированные в первую очередь на математиков, см. [6], § 1.2, прямо говорят об «алгебре наблюдаемых», что мало отличается от предыдущей цитаты из [1]. Это также следует из двух взаимосвязанных допущений, содержащихся в каноническом учебнике Дирака, на котором выросло не одно поколение исследователей:

1. «линейные операторы соответствуют динамическим переменным» [3], § 7, стр. 40.
2. «линейные операторы можно складывать» [3], § 7, стр. 38.

Однако предположение, что любые две наблюдаемые допускают сложение, полностью несовместимо с их физическим смыслом. Чтобы сложение было возможно, обе наблюдаемые должны иметь одну размерность. Это тщательно объясняют ученикам средних школ («нельзя складывать сапоги с яблоками», как говорил мой учитель физики), но зачастую требуют забыть в ВУзовских учебниках. Поэтому стоит немного задержаться на этом элементарном вопросе. Например, для наблюдаемых координаты q и импульса p , какова должна быть размерность выражения $q+p$? Метры или кг×м/сек? Если наши расчеты показывают значение 5 для $p+q$ в метрической системе, каков будет результат при переходе к аршинам и пудам? Так как такие вопросы не допускают внятного ответа, то предположение Дирака не совместимо с физическим смыслом теории.

Другое распространенное определение, хромающее на ту же ногу, часто используется в хороших книгах, написанных отличными математиками, см. например [7], § 2-2, [8], § 1.1. Оно вводит квантовые наблюдаемые как проекторнозначные меры на *безразмерной* действительной прямой. Такое определение немедленно влечет (посредством функционального исчисления операторов) существование новых наблюдаемых, заданных алгебраическими выражениями [7], § 2-2, с. 63:

Because of Axiom III, expressions such as A^2 , $A^3 + A$, $1 - A$, and e^A all make sense whenever A is an observable.⁴

Однако, если A не является безразмерной величиной, то выражение $A^3 + A$ не может иметь никакую согласованную с этим размерность.

Конечно, физические дефекты этих (безупречных в математическом отношении) построений мешают физикам получать правильные ответы, которые прекрасно согласуются с экспериментом. Нет смысла обсуждать, какими способами это достигается. Более полезно попытаться обозначить математические основания, которые не будут страдать описанными недостатками.

3. Несущественная некоммутативность

Хотя мы можем складывать только наблюдаемые одной и той же размерности, нет никаких ограничений такого рода на умножение физических величин. Естественно, размерность произведения равна произведению размерностей сомножителей, поэтому коммутатор $[A, B] = AB - BA$ всегда определен для произвольных величин A и B . В частности, коммутатор (1) вполне определен. Но так ли он важен для построения квантовой механики?

Можно утверждать, что некоммутативность физических величин не является *необходимой предпосылкой* для оснований квантовой теории: хорошо известны схемы, обходящиеся без этого. Наиболее выдающийся пример — интеграл по путям, развитый Фейнманом (и предложенный, опять же, Дираком). Чтобы выявить действительно существенные элементы, обратимся вначале к популярным лекциям [9], которые представляют основу метода в очень доступной форме. Фейнман смог рассказать главные моменты квантовой электродинамики, не упомянув некоммутативность ни разу.

Может быть это просто следствие поверхностности изложения? Возьмем вполне академический учебник [10]. В нем некоммутативность упоминается лишь на страницах 132–133 (§ 5-3) и 194 (§ 7-3). В заключении, на странице 377 (§ 12-10) упоминается некоммутативность кватернионов, но это не относится к нашему обсуждению. Более того, на странице 194 подчеркивается, что некоммутативность квантовых величин является *следствием* техники интегрирования по путям, а не самоценной аксиомой.

Что же является математическим основанием квантовой теории, если некоммутативность не так важна? Наглядное повествование в [9] использует секундомер для исчисления квантовой амплитуды. Угол поворота стрелки секундомера представляет фазу для пути $x(t)$ между двумя точками конфигурационного пространства. Математическое выражение для этой фазы мы можем найти в [10], (§ 2-15):

$$\phi[x(t)] = \text{const} \cdot e^{(i/\hbar)S[x(t)]}, \quad (2)$$

где $S[x(t)]$ — *классическое действие* вдоль пути $x(t)$. Сложив все вклады вида (2) вдоль всех возможных путей⁵ между двумя точками a и b , мы получаем амплитуду перехода $K(a, b)$. Эта величина содержит в себе очень аккуратное описание многих квантовых эффектов. Поэтому выражение (2) также претендует на роль краеугольного камня квантовой теории.

Но есть ли хоть что-то общее между двумя *основополагающими* формулами (1) и (2)? На первый взгляд, нет. При более детальном рассмотрении можно заметить, что есть только два общих элемента. Перечисленные в порядке значимости (каковой она зачастую представляется) это:

1. Ненулевая постоянная Планка \hbar .
2. Мнимая единица i .

Действительно, постоянная Планка была исторически первой характеристикой квантового (дискретного) поведения и вне всякого сомнения принадлежит ядру всей теории. Более того, классическая

механика зачастую мыслится как переход от точной квантовой теории в полуклассическом пределе $\hbar \rightarrow 0$. Поэтому ненулевая постоянная Планка считается явным признаком квантового мира в его оппозиции к классической механике. К сожалению, широко распространена традиция «выбирать такую систему единиц, в которой $\hbar = 1$ ». В результате, постоянная Планка исчезает из многих формул, где ее присутствие было важно. Отметим также, что 1 в равенстве $\hbar = 1$ не является безразмерным скаляром, но физической величиной с размерностью действия. Следовательно, простая экономия на опускании этой постоянной нарушает размерность всех физических тождеств.

Мнимая единица также является неперенным участником любых формулировок квантовой теории. Достаточно указать, что популярные лекции [9] прекрасно обходятся без всякого упоминания некоммутативности, но содержат комплексные числа как явно, так и неявно — вращение стрелки секундомера наглядно изображает изменение унитарной комплексной фазы (2) вдоль пути. И это второе (неявное, но очень существенное) использование комплексных чисел даже важнее их краткого явного упоминания. Тем не менее, комплексные числа зачастую воспринимаются как полезный, но все же *чисто технический* элемент теории.

4. Квантовая механика и группа Гейзенберга

В поисках источника квантовой теории мы вновь возвращаемся к коммутационным соотношениям (1): или в роли необходимой аксиомы, или как важное следствие, но они являются обязательным элементом теории. Достаточно давно стало понятно, что эти соотношения есть структурные тождества для алгебры Ли группы Гейзенберга [8, 11, 12]. В простейшем случае одного измерения группа Гейзенберга \mathbb{H}^1 представляется евклидовым пространством \mathbb{R}^3 с групповой операцией:

$$\begin{aligned} (s, x, y) * (s', x', y') &= \\ &= (s + s' + \frac{1}{2}\omega(x, y; x', y'), x + x', y + y'), \end{aligned} \quad (3)$$

где ω является *симплектической формой* на \mathbb{R}^2 [13], § 37:

$$\omega(x, y; x', y') = xy' - x'y. \quad (4)$$

Здесь, как и с интегралами по траекториям, мы видим еще один пример квантового объекта определенного в терминах классического.

Группа Гейзенберга некоммутативна вследствие кососимметричности симплектической формы: $\omega(x, y; x', y') = -\omega(x', y'; x, y)$. Множество точек вида $(s, 0, 0)$ образует центр \mathbb{H}^1 . Нам потребуются унитарные неприводимые представления \mathbb{H}^1 в бесконечномерных пространствах. В таком представлении ρ центр группы должен действовать умножением на комплексное число с единичным модулем, т.е. $\rho(s, 0, 0) = e^{2\pi i \hbar s} I$ для некоторого $\hbar \neq 0$.

Далее, важная теорема Стоуна-фон Неймана [8], § 1.5 устанавливает, что все унитарные неприводимые представления группы \mathbb{H}^1 с общим значе-

⁵Мы здесь не касаемся вопроса, каким образом можно математически безупречно обосновать эту процедуру.

нием \hbar унитарно эквивалентны. Из этого следует, что любые реализации квантовой механики, представляющие соотношение (1) (к примеру, волновая механика Шредингера), унитарно эквивалентны матричной механике Гейзенберга.

В частности, любое унитарное неприводимое представление \mathbb{H}^1 эквивалентно подпредставлению следующего представления в пространстве $L_2(\mathbb{R}^2)$:

$$\rho_{\hbar}(s, x, y) : f(q, p) \mapsto e^{-2\pi i(\hbar s + qx + py)} f\left(q - \frac{\hbar}{2}y, p + \frac{\hbar}{2}x\right). \quad (5)$$

Здесь \mathbb{R}^2 может быть отождествлено с классическим фазовым пространством, где q обозначает координату в конфигурационном пространстве, а p — соответствующий импульс. Функция $f(q, p)$ в (5) представляет состояние физической системы как амплитуду на фазовом пространстве. Поэтому, по сравнению с более известным представлением Шредингера на действительной оси (конфигурационном пространстве), представление (5) более интуитивно и имеет много технических достоинств [8, 12, 14]. Хотя, как было отмечено выше, оба представления унитарно эквивалентны.

Инфинитезимальные порождающие однопараметрических подгрупп $\rho_{\hbar}(0, x, 0)$ и $\rho_{\hbar}(0, 0, y)$ в (5) — есть операторы $\frac{1}{2}\hbar\partial_p - 2\pi i q$ и $-\frac{1}{2}\hbar\partial_q - 2\pi i p$. Для них непосредственно проверяется тождество:

$$\left[-\frac{1}{2}\hbar\partial_q - 2\pi i p, \frac{1}{2}\hbar\partial_p - 2\pi i q\right] = i\hbar, \quad \hbar = 2\pi\hbar.$$

Так как мы имеем представление тождества (1), эти операторы могут использоваться как представители квантовых наблюдаемых координаты и импульса.

Имея классический гамильтониан $H(q, p)$, мы можем проинтегрировать его преобразование Фурье $\hat{H}(x, y)$ с представлением ρ_{\hbar} :

$$\tilde{H} = \int_{\mathbb{R}^2} \hat{H}(x, y) \rho_{\hbar}(0, x, y) dx dy$$

и получим (возможно неограниченный) оператор \tilde{H} на $L_2(\mathbb{R}^2)$. Такое соответствие оператора \tilde{H} (квантовой наблюдаемой) и функции $H(q, p)$ (классической наблюдаемой) известно как *квантование Вейля* или *исчисление Вейля* [8], § 2.1. Гамильтониан \tilde{H} определяет динамику квантовой наблюдаемой \tilde{k} через *уравнение Гейзенберга*:

$$i\hbar \frac{d\tilde{k}}{dt} = \tilde{H}\tilde{k} - \tilde{k}\tilde{H}. \quad (6)$$

Такое построение квантовой механики на основе унитарных неприводимых представлений группы Гейзенберга хорошо известно, см. например [8, 12, 15].

5. Классическая некоммутативность

Сейчас мы покажем, что в квантовой теории по-настоящему важным являются комплексные числа, а вовсе не ненулевая постоянная Планка, как принято думать. Конкретно, представим модель классической механики с ненулевой постоянной Планка, но с другими гиперкомплексными числами. Вместо мнимой единицы i со свойством $i^2 =$

-1 используем нильпотентную единицу ϵ такую, что $\epsilon^2 = 0$. Хорошо известно, что порожденные ею *дуальные числа* связаны с относительностью Галилея [16, 17] — важной симметрией классической механики — так что ее появление в нашем исследовании не такая уж и неожиданность. Скорее, мы должны удивляться, почему дуальные числа так мало известны и так редко используются в современной физике (да и математике).

Другой важной особенностью нашей модели классической механики является ее некоммутативность. Таким образом, она опровергает предположение Дирака о некоммутативности как важнейшем источнике всех квантовых построений. Более того, наша модель будет выведена из все той же группы Гейзенберга, что еще больше роднит квантовую и классическую теории.

Рассмотрим четырехмерную алгебру \mathcal{C} с базисом $1, i, \epsilon$ и $i\epsilon$. Можно определить следующее представление $\rho_{\epsilon\hbar}$ группы Гейзенберга в пространство \mathcal{C} -значных гладких функций [18, 19]:

$$\rho_{\epsilon\hbar}(s, x, y) : f(q, p) \mapsto e^{-2\pi i(xq + yp)} \left(f(q, p) + \epsilon\hbar \left(sf(q, p) + \frac{y}{4\pi i} f'_q(q, p) - \frac{x}{4\pi i} f'_p(q, p) \right) \right). \quad (7)$$

Непосредственно проверяется тождество

$$\rho_{\epsilon\hbar}(s, x, y) \rho_{\epsilon\hbar}(s', x', y') = \rho_{\epsilon\hbar}((s, x, y) * (s', x', y'))$$

для группового умножения (3) на \mathbb{H}^1 . Так как $\rho_{\epsilon\hbar}$ не является унитарным представлением в комплексном векторном пространстве, то оно не подпадает под действие теоремы Стоуна-фон Неймана. Оба представления (5) и (7) являются *некоммутативными* и действуют на функциях заданных на фазовом пространстве. Важное отличие между этими двумя представлениями таково:

- Представление (5) индуцировано (в смысле Макки [20], § 13.4) *комплекснозначным* характером $\rho_{\hbar}(s, 0, 0) = e^{2\pi i\hbar s}$ центра группы \mathbb{H}^1 .
- Представление (7) сходным образом индуцировано характером в *дуальных числах* $\rho_{\epsilon\hbar}(s, 0, 0) = e^{\epsilon\hbar s} = 1 + \epsilon\hbar s$ центра \mathbb{H}^1 , ср. [21]. (Дуальные числа образуют двумерную коммутативную ассоциативную алгебру с базисом $\{1, \epsilon\}$.)

Сходство представлений (5) и (7) будет еще более наглядным, если записать (7) в виде:

$$\rho_{\epsilon\hbar}(s, x, y) : f(q, p) \mapsto$$

$$e^{-2\pi(\epsilon\hbar s + i(qx + py))} f\left(q - \frac{i\hbar}{2}\epsilon y, p + \frac{i\hbar}{2}\epsilon x\right). \quad (8)$$

Здесь для дифференцируемой функции k действительной переменной t выражение $k(t + \epsilon a)$ понимается как $k(t) + \epsilon a k'(t)$ при произвольной константе $a \in \mathbb{C}$. Для аналитических функций действительной переменной это может быть обосновано через их разложение в ряд Тейлора [16], [22], § 1.2(10), [23]. Родственный источник этого выражения находится также в варианте нестандартного анализа использующего идемпотентную единицу ϵ [24].

Инфинитезимальные порождающие для одномерных подгрупп $\rho_{eh}(0, x, 0)$ и $\rho_{eh}(0, 0, y)$ в представлении (7) соответственно есть:

$$d\rho_{eh}^X = -2\pi i q - \frac{\epsilon h}{4\pi i} \partial_p, \quad d\rho_{eh}^Y = -2\pi i p + \frac{\epsilon h}{4\pi i} \partial_q.$$

Непосредственно вычисляется их коммутатор:

$$d\rho_{eh}^X \cdot d\rho_{eh}^Y - d\rho_{eh}^Y \cdot d\rho_{eh}^X = \epsilon h. \quad (9)$$

Это тождество похоже на коммутационные соотношения Гейзенберга (1): коммутатор отличен от нуля и пропорционален постоянной Планка. Единственное различие заключается в замене мнимой единицы на нильпотентную. Природа этого замещения проявится, когда мы проинтегрируем представление (7) с преобразованием Фурье $\hat{H}(x, y)$ гамильтониана $H(q, p)$:

$$\begin{aligned} \hat{H} &= \int_{R^{2n}} \hat{H}(x, y) \rho_{eh}(0, x, y) dx dy = \\ &= H + \frac{\epsilon h}{2} \left(\frac{\partial H}{\partial p} \frac{\partial}{\partial q} - \frac{\partial H}{\partial q} \frac{\partial}{\partial p} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Мы получили дифференциальный оператор первого порядка на фазовом пространстве. Такой оператор порождает динамику классической наблюдаемой k — гладкой вещественнозначной функции на фазовом пространстве — посредством уравнения сходного с уравнением Гейзенберга (6):

$$\epsilon h \frac{d\hat{k}}{dt} = \hat{H}\hat{k} - \hat{k}\hat{H}.$$

Подставляя (10) и используя тождество $\epsilon^2 = 0$, мы получаем:

$$\frac{dk}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p} \frac{\partial k}{\partial q} - \frac{\partial H}{\partial q} \frac{\partial k}{\partial p}. \quad (11)$$

Это, естественно, *уравнение Гамильтона* в классической механике, использующее *скобку Пуассона* двух функций H и k . Как отмечено в эпиграфе, Дирак предположил, что коммутатор должен *соответствовать* скобке Пуассона. Однако мы обнаружили, что коммутатор в представлении (7) *в точности является* скобкой Пуассона.

Отметим, что и постоянная Планка, и нильпотентная единица сокращаются из окончательного уравнения (11), но для этого преобразования было важно, что $h \neq 0$. Такое застенчивое исчезновение в самый последний момент может объяснить, почему величины h и ϵ обычно остаются незамеченными в классической теории.

6. Заключение

В данной работе мы пересматриваем математические основания квантовой и классической механики, а также роль гиперкомплексных единиц $i^2 = -1$ и $\epsilon^2 = 0$ в этих теориях. Для того, чтобы сделать рассмотрение полным, должно упомянуть третью логическую возможность: гиперболическую единицу j со свойством $j^2 = +1$, см. [19, 21, 25–29], однако ее обсуждение выходит за рамки данной статьи.

Сделанный анализ приводит к следующим заключениям:

1. Некоммутативность не обязательно включать в аксиоматизацию квантовой теории, она естественно получается как следствие других базовых предпосылок.
2. Некоммутативность не является отличительной чертой квантовой теории от классической, существуют некоммутативные модели классической механики.
3. Ненулевая постоянная Планка вполне совместима с классической механикой. Нет никакой необходимости рассматривать полуклассический предел $\hbar \rightarrow 0$, в котором *константа должна стремиться к нулю*.
4. Нет никакой необходимости рассматривать множество наблюдаемых как алгебру, что несовместимо с базовым физическим смыслом теории. Квантование можно производить по процедуре Вейля, которое требует от множества наблюдаемых с одной физической размерностью всего лишь структуры векторного пространства.
5. Решающую роль в построении любой квантово-механической модели играет комплексная мнимая единица, см. (1) и (2). Классическая механика может быть получена заменой мнимой единицы на нильпотентную $\epsilon^2 = 0$ в коммутационных соотношениях (9).

Заметим, что некоммутативность играла такую важную роль в построениях Дирака, потому что нетривиальный коммутатор требовался как замена классической скобки Пуассона. Мы показали, что умножение классических наблюдаемых тоже может быть некоммутативным и в этом случае коммутатор в точности совпадает со скобкой Пуассона. Таким образом, водораздел между двумя теориями *не* проходит по линии коммутативно/некоммутативно.

Возможно, Дирак все-таки прав, предполагая, что есть всего лишь одно допущение, которое отделяет квантовую теорию от классической, см. его первую цитату в начале статьи. Мы можем разделить его в такой форме:

Квантовая механика частицы основана на использовании мнимой единицы для индуцирования представления группы Гейзенберга с ее центра. При замене мнимой единицы на нильпотентную получаем классическую механику, причем все остальные компоненты теории (некоммутативность, ненулевая постоянная Планка, динамическое уравнение, основанное на коммутаторе) остаются неизменными.

Благодарности

Автор благодарен анонимному рецензенту журнала *Mathematical Intelligencer* за критический отзыв, который позволил немного улучшить изложение в данной статье и потребовал заметного увеличения числа дословных цитат. Еще более полезным отзыв оказался тем, что укрепил уверенность автора в необходимости этой статьи. Я также благодарен рецензенту журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН», который подсказал выражение (8) для классического представления группы Гейзенберга. Выражаю при-

знательность и Н.А. Громову за полезные обсуждения различных вопросов, связанных с нильпотентной единицей.

Литература

1. Dirac P.A.M. Quantum mechanics and a preliminary investigation of the hydrogen atom // Proc. Royal Soc. London A, 1926. Vol. 110. № 755. P. 561–579.
2. Dirac P.A.M. On the theory of quantum mechanics // Proc. Royal Soc. London A, 1926. Vol. 112. № 762. P. 661–677.
3. Дирак П. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979. 408 с.
4. Дирак П. Пути физики. М.: Энергоатомиздат, 1983. 88 с.
5. Cuntz J. Quantum spaces and their noncommutative topology // Notices Amer. Math. Soc., 2001. Vol. 48. № 8. P. 793–799.
6. Фаддеев Л.Д., Якубовский О.А. Лекции по квантовой механике для студентов-математиков. Л.: ЛГУ, 1980. 200 с.
7. Maskey G.W. Mathematical foundations of quantum mechanics. New York, Amsterdam: W.A. Benjamin Inc., 1963. 160 p.
8. Folland Gerald B. Harmonic analysis in phase space. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1989. (Annals of Mathematics Studies. Vol. 122).
9. Фейнман Р. КЭД — странная теория света и вещества. М.: Наука, 1988. 144 с. (Библиотечка "Квант". Вып. 66).
10. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968. 384 с.
11. Howe R. On the role of the Heisenberg group in harmonic analysis // Bull. Amer. Math. Soc. (N.S.), 1980. Vol. 3. № 2. P. 821–843.
12. Howe R. Quantum mechanics and partial differential equations // J. Funct. Anal., 1980. Vol. 38. № 2. P. 188–254.
13. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1989. 432 с.
14. Zachos C. Deformation quantization: quantum mechanics lives and works in phase-space // Int. J. Mod. Phys. A, 2002. Vol. 17. № 3. P. 297–316; arXiv:hep-th/0110114.
15. Kisil V.V. p -Mechanics as a physical theory: an introduction // J. Phys. A, 2004. Vol. 37. № 1. P. 183–204; arXiv:quant-ph/0212101.
16. Громов Н.А. Контракции и аналитические продолжения классических групп. Единый подход. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1990. 220 с.
17. Яглом И.М. Принцип относительности Галилея и неевклидова геометрия. М.: Наука, 1969. 303 с.
18. Kisil V.V. Erlangen programme at large: an Overview // Advances in applied analysis. Basel: Birkhäuser Verlag, 2012. P. 1–78; arXiv: 1106.1686.
19. Kisil V.V. Hypercomplex representations of the Heisenberg group and mechanics // Int. J. Theor. Phys., 2012. Vol. 51. № 3. P. 964–984; arXiv:1005.5057.
20. Кириллов А.А. Элементы теории представлений. М.: Наука, 1978. 344 с.
21. Кисиль В.В. Индуцированные представления группы $SL_2(\mathbb{R})$ и гиперкомплексные числа // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2011. № 1(5). С. 4–10; arXiv:0909.4464.
22. Зейлигер Д.Н. Комплексная линейчатая геометрия. Поверхности и конгруэнции. М.-Л.: ГТТИ, 1934. 196 с.
23. Catoni F., Cannata R., Nichelatti E. The parabolic analytic functions and the derivative of real functions // Adv. Appl. Clifford Algebras, 2004. Vol. 14. № 2. P. 185–190.
24. Bell John L. A primer of infinitesimal analysis. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 140 p.
25. Hudson R. Generalised translation-invariant mechanics. Oxford: Bodleian Library, 1966. (D. Phil. thesis).
26. Khrennikov A. Contextual approach to quantum formalism. New York: Springer, 2009. 356 p. (Fundamental Theories of Physics. Vol. 160).
27. Kisil V.V. Geometry of Möbius transformations: Elliptic, parabolic and hyperbolic actions of $SL_2(\mathbb{R})$. London: Imperial College Press, 2012. 180 p.
28. Pilipchuk V.N. Nonlinear dynamics. Between linear and impact limits. Berlin: Springer, 2010. 360 p. (Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics. Vol. 52).
29. Ulrych S. Considerations on the hyperbolic complex Klein-Gordon equation // J. Math. Phys., 2010. Vol. 51. № 6. P. 063510, 8.

Статья поступила в редакцию 23.05.2012.

УДК 548.732

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ НА ПОРИСТЫХ КРИСТАЛЛАХ. 1. КОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЙЯНИЕ

В.И. ПУНЕГОВ

*Отдел математики Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
_vpunegov@dm.komisc.ru*

В рамках статистической динамической теории дифракции рентгеновских лучей на пористых кристаллах проведено численное моделирование углового распределения интенсивности когерентного рассеяния вблизи узла обратной решетки. Показаны особенности формирования контуров равной интенсивности, а также вертикальных и латеральных сечений когерентного рассеяния в обратном пространстве от пористых пленок, многослойных структур и сверхрешеток в зависимости от величины статического фактора Дебая-Валлера и упругих деформаций в пористых слоях.

Ключевые слова: статистическая теория рентгеновской дифракции, когерентное рассеяние, пористые кристаллы, численное моделирование

V.I.PUNEGOV. MATHEMATICAL SIMULATION OF X-RAY DIFFRACTION ON POROUS CRYSTALS. 1. COHERENT SCATTERING

In the framework of the statistical dynamical theory of X-ray diffraction on porous crystals the numerical simulation of the angular distribution of coherent scattering near the reciprocal lattice node was carried out. The features of the equal intensity contours formation, the vertical and lateral scans of the coherent scattering from porous films, multilayer structures and superlattices in reciprocal space were shown as a function of the static Debye-Waller factor and elastic strains.

Key words: statistical theory of x-ray diffraction, coherent scattering, porous crystals, numerical somilation

1. Введение

Несмотря на то, что сообщение о получении пористого кремния электрохимическим травлением в растворах фтористого водорода было опубликовано в середине 50-х гг. прошлого столетия [1], в течение более 30 лет изучению механизма порообразования не уделялось достаточного внимания. В 1990 г. появилась информация о наблюдении фотолюминесценции кремния с пористостью более 70 % при комнатных температурах [2], а через год в пористых слоях кремния были обнаружены квантово-размерные эффекты, характерные для низкоразмерных систем (квантовых нитей) [3]. С этого момента число работ по пористым материалам достигло более тысяч статей в год [4].

Поскольку в настоящее время пористые материалы широко используются в изготовлении световых приборов, биохимических сенсоров, датчиков влажности, интерференционных фильтров, оптических волноводов, фотонных кристаллов и т.д. [5], исследование структурных и других физических свойств пористых кристаллов является весьма актуальной задачей.

Неразрушающие и чувствительные методы высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии оказались перспективными в задачах диагностики пористых кристаллов [6–10]. Для более глубокого анализа структурных особенностей пористых систем возникает потребность развития адекватной теории и численного моделирования рентгеновского рассеяния на таких объектах. Решению этой задачи посвящена данная работа.

2. Динамическая дифракция на пористом слое. Когерентное рассеяние

Формализм статистической динамической теории Като [11] позволяет с единых позиций рассматривать как когерентное, так и диффузное рассеяние рентгеновских лучей на кристаллах с локальными нарушениями трансляционного порядка кристаллической решетки. В рамках этого подхода сначала проведем детальное исследование когерентного рассеяния на пористых материалах.

Рассмотрим динамическую дифракцию рентгеновских лучей на однородном пористом слое толщиной l . Введем систему координат, согласно которой ось x направлена вдоль поверхности слоя,

а ось z – вглубь этого слоя. Обозначим структурные характеристики пористого кристалла: d – межплоскостное расстояние отражающих атомных плоскостей, f – фактор Дебая-Валлера, $P=1-v/v_0$ – пористость слоя, где v_0 и v – плотности слоев до и после электрохимического травления (анодирования). Фактор Дебая-Валлера f в общем случае может быть представлен в виде произведения $f = f_s f_p$, где f_s – вызван структурными нарушениями «скелета» пористой среды и f_p – пористостью кристаллического слоя, т.е. отсутствием объема рассеивающего материала в результате электрохимического травления. Если пористый слой лежит на подложке, а процесс электрохимического травления вызывает рассогласования параметров решетки $\Delta d = d - d_{hkl}$, где d_{hkl} – межплоскостное расстояние подложки ($h = 2\pi / d_{hkl}$ – величина вектора обратной решетки), в исследовании необходимо учитывать относительную деформацию $\varepsilon_z = \Delta d / d_{hkl}$.

Для простоты рассмотрим симметричную брэгговскую дифракцию. Пусть на пористый слой под углом $\theta = \theta_B + \omega$ падает плоская рентгеновская волна, где θ_B – угол Брэгга, ω – угловая переменная, задающая отклонение от точного условия брэгговской дифракции. Рассеяние рентгеновских лучей от кристаллов удобно рассматривать в обратном пространстве, поскольку дифракция происходит от атомных плоскостей, перпендикулярных вектору обратной решетки \mathbf{h} . Обозначим $\mathbf{k}_{0,h}$ – волновые векторы падающего и отраженного рентгеновского пучка. В обратном пространстве угловое распределение интенсивности рассеяния зависит от вектора $\mathbf{q} = \mathbf{Q} - \mathbf{h}$, задающего отклонение вектора рассеяния $\mathbf{Q} = \mathbf{k}_h - \mathbf{k}_0$ от узла обратной решетки \mathbf{h} . В трехкристалльной рентгеновской дифрактометрии проекции вектора \mathbf{q} в плоскости дифракции выражаются через угловые параметры вращения образца ω и анализатора ε как

$$q_x = (2\pi / \lambda)(2\omega - \varepsilon) \sin \theta_B,$$

$$q_z = -(2\pi / \lambda)\varepsilon \cos \theta_B,$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения в вакууме.

Запишем Фурье-компоненту рентгеновской поляризуемости идеальной кристаллической решетки как $\chi_h = -r_0 \lambda^2 F_h / (\pi V_c)$, где F_h – структурный фактор, V_c – объем элементарной ячейки, $r_0 = e^2 / (mc^2)$ – классический радиус электрона e , m – заряд и масса электрона.

Преобразование системы уравнений Такаги [12] для случая дифракции когерентных волн в геометрии Брэгга применительно к трехкристалльной дифрактометрии детально показано в [13]. Для пористых кристаллических систем уравнения дифракции для когерентной амплитуды, проходящей E_0 и дифракционной E_h волн, имеют вид

$$\begin{cases} \frac{\partial E_0(z, \eta)}{\partial z} = i\bar{a}_0 E_0(z, \eta) + ia_{-h} f E_h(z, \eta) \\ -\frac{\partial E_h(z, \eta)}{\partial z} = i[\bar{a}_0 + \eta + \varepsilon_z h] E_h(z, \eta) + ia_h f E_0(z, \eta) \end{cases} \quad (1)$$

Здесь учтено, что при наличии искажений кристаллической структуры функция атомных смещений $\mathbf{u}(\mathbf{r})$ и, следовательно, фазовая функция $\phi(\mathbf{r}) = \exp(i\mathbf{h}\mathbf{u}(\mathbf{r}))$ представимы в виде суммы усредненной и флуктуационной частей: $\mathbf{u}(\mathbf{r}) = \langle \mathbf{u}(\mathbf{r}) \rangle + \delta\mathbf{u}(\mathbf{r})$; $\phi(\mathbf{r}) = \langle \phi(\mathbf{r}) \rangle + \delta\phi(\mathbf{r})$. Усредненную часть фазовой функции запишем как произведение $\langle \phi(\mathbf{r}) \rangle = \bar{\phi}(\mathbf{r}) f(\mathbf{r})$, где $\bar{\phi}(\mathbf{r}) = \exp(i\mathbf{h}\langle \mathbf{u}(\mathbf{r}) \rangle) = \exp(ih\varepsilon_z z)$ – описывает неслучайные крупномасштабные деформации в объеме кристалла, $f(\mathbf{r}) = \langle \tilde{\phi}(\mathbf{r}) \rangle$ – статический фактор Дебая-Валлера. Случайная фазовая функция $\tilde{\phi}(\mathbf{r}) = \exp(i\mathbf{h}\delta\mathbf{u}(\mathbf{r}))$ обусловлена, как правило, стохастическими нарушениями структуры, например, распределением пор или структурных дефектов в кристаллической матрице. Угловое распределение когерентной составляющей в (1) зависит от параметра $\eta = (2\pi / \lambda \gamma_h) \sin 2\theta_B \omega$, который связан с проекциями вектора $\mathbf{q} = (q_x, q_y, q_z)$ соотношением $q_z = q_x \cot \theta_B - \eta$.

Решение (1) для рентгеновских полей внутри пористого слоя представим в виде

$$E_0(z, \eta) = (M_1 \exp(i\xi z) + M_2) \exp(i[\bar{a}_0 + \xi_2]z), \quad (2)$$

$$E_h(z, \eta) = (b_1 M_1 \exp(i\xi z) + b_2 M_2) \exp(i[\bar{a}_0 + \xi_2]z), \quad (3)$$

где $\xi_{1,2} = (-\bar{\eta} \pm \xi) / 2$ и $\xi = \sqrt{(\bar{\eta})^2 - 4a_h a_{-h} f^2}$, $b_{1,2} = \xi_{1,2} / [fa_{-h}]$. Амплитуды полей в пористой среде с учетом эффектов преломления и поглощения зависят от угловой переменной $\bar{\eta} = 2\bar{a}_0 + \varepsilon_z h + \eta$.

Более подробно остановимся на параметрах, характеризующих пористый кристалл в условиях рентгеновской дифракции. За преломление и по-

поглощение рентгеновских волн в среде отвечает коэффициент

$$\bar{a} = (1 - P)\pi\chi_0 / (\lambda\gamma_0) + ia_h a_{-h} (1 - f^2)\tau, \quad (4)$$

где τ – комплексная корреляционная длина, описывающая угловое распределение диффузного рассеяния в направлении, параллельном вектору обратной решетки \mathbf{h} [14]. Остальные коэффициенты имеют вид: $a_{h,-h} = C\pi\chi_{h,-h} / (\lambda\gamma_{h,0})$ (здесь и далее индекс $(-h)$ ставится в соответствии с направлением дифракционной или проходящей волны для вектора обратной решетки $(-\mathbf{h})$), $\gamma_{0,h} = |\sin\theta_B|$, C – поляризационный фактор. Первое слагаемое в правой части (4), пропорциональное $(1 - P)$, указывает на уменьшение зарядовой плотности вещества в результате электрохимического травления. Второе слагаемое отвечает за диффузное преломление и поглощение рентгеновских квантов из-за нарушений строгой трансляционной периодичности кристаллической решетки. Эти нарушения вызваны появлением пустот (статистически распределенных пор) в среде, а также искажениями самого «скелета» пористой системы. Отметим, что в дифракционной геометрии Брэгга это слагаемое не дает такого существенного вклада, как в случае Лауэ.

Коэффициенты $M_{1,2}$ в выражениях для амплитуд рентгеновских полей находятся из граничных условий. Для слоя в отсутствии подложки такими условиями являются: $E_0(\eta, z = 0) = 1$ на поверхности слоя и $E_h(\eta, z = l) = 0$ на нижней границе слоя. В результате решения для рентгеновских полей внутри пористого слоя запишутся как

$$E_0(z, \eta) = \exp(i[\bar{a}_0 + \xi_2]z) (\xi_1 \exp(i\xi_1 l) - \xi_2 \exp(i\xi_2 z)) / Q, \quad (5)$$

$$E_h(z, \eta) = a_h f \exp(i[\bar{a}_0 + \xi_2]z) (\exp(i\xi_1 l) - \exp(i\xi_2 z)) / Q, \quad (6)$$

где $Q = \xi_1 \exp(i\xi_1 l) - \xi_2$.

Выражения для амплитудных коэффициентов отражения (АКО) $r_h(\eta) = E_h(z = 0, \eta)$ и прохождения (АКП) $t_0(\eta) = E_0(z = l, \eta)$ рентгеновских лучей от пористого слоя непосредственно следуют из (5), (6):

$$r_h(\eta) = a_h f (\exp(i\xi_1 l) - 1) / Q \quad (7)$$

$$t_0(\eta) = \exp(i[\bar{a}_0 + \xi_1]l) (\xi_1 / Q). \quad (8)$$

В отличие от дифракции в идеальном кристалле динамические коэффициенты a_h и a_{-h} в случае пористого слоя всегда умножаются на статический фактор Дебая-Валлера f . Следует отметить, что пористость кристалла и статический фактор Дебая-Валлера связаны между собой, поскольку рост концентрации пор и (или) их размеров уве-

личивает степень нарушений трансляционного порядка кристаллической решетки. В случае, если рассматриваемый пористый слой лежит на подложке, то на границе между слоем и подложкой необходимо использовать граничное условие

$$E_h(z = l, \eta) = E_h^{sub}(\eta),$$

где $E_h^{sub}(\eta)$ – амплитуда отраженной волны от подложки.

Кинематическое приближение для АКО следует из (5) при условии $a_{-h} = 0$, при этом $\xi = \bar{\eta}$, $\xi_1 = 0$, $\xi_2 = -\bar{\eta}$, $Q = -\xi_2 = \bar{\eta}$ и $r_h(\eta) = a_h f (\exp(i\bar{\eta}l) - 1) / \bar{\eta}$

Интенсивность когерентно рассеянной волны находится из соотношения

$$I_h^c(\eta) = |r_h(\eta)|^2, \quad (7)$$

где параметр η в (7) связан с вертикальной проекцией вектора \mathbf{q} соотношением $q_z = -\eta$.

3. Когерентное рассеяние на многослойной пористой структуре. Рекуррентные соотношения

Амплитудные коэффициенты отражения и прохождения (5) и (6) описывают дифракцию в изолированном пористом слое. Однако изготовление таких слоев технологически весьма затруднительно, поскольку, как правило, слои формируются на подложках. Более того, существуют возможности изготовления многослойных пористых структур, а также пористых сверхрешеток. Поэтому следующим шагом будет получение решений, описывающих рентгеновскую дифракцию на более сложных пористых конфигурациях.

Рассмотрим пористую слоисто-неоднородную систему, состоящую из N слоев. Нумерацию слоев проведем снизу вверх (рис.1). Пусть на эту систему (на слой с номером N) падает сверху рентгеновская волна с амплитудой $E_0^{(N)}(z = z_N) = E_0^{(N)} = 1$.

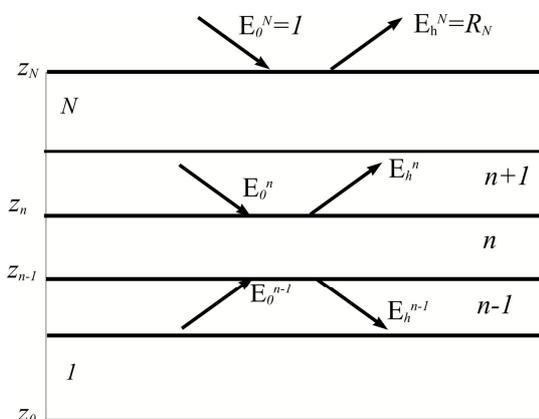


Рис.1. Схематическое изображение амплитуд проходящих и отраженных рентгеновских волн в многослойной структуре.

Следуя [14,15], решение для амплитуды проходящей $E_0^{(n)}$ и дифракционной $E_h^{(n)}$ волн внутри пористого слоя с номером n представим в виде (2), (3). Сопутствующие этим решениям коэффициенты зависят от номера слоя n и запишутся как:

$$\begin{aligned} \xi_{1,2}^{(n)} &= (-\bar{\eta}^{(n)} \pm \xi^{(n)}) / 2, \\ \bar{\eta}^{(n)} &= (1+b)\bar{a}_0^{(n)} + \varepsilon_n h + \eta, \\ \xi^{(n)} &= \sqrt{(\bar{\eta}^{(n)})^2 - 4a_h a_{-h} (f^{(n)})^2}, \end{aligned}$$

$b_{1,2}^{(n)} = \xi_{1,2}^{(n)} / [f^{(n)} a_{-h}]$, $\varepsilon_n = \Delta d_n / d_0$ – деформации решетки слоя с номером n . Коэффициенты $M_{1,2}$ находятся из граничных условий на интерфейсах сверху $E_0^{(n)}(z = z_n) = E_0^{(n)}$ и снизу $E_h^{(n)}(z = z_{n-1}) = E_h^{(n-1)}$ этого слоя:

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{E_0^{(n)}(R_{n-1} - b_2^{(n)}) \exp(-i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_1^{(n)}]z_n)}{(b_1^{(n)} - R_{n-1}) \exp(i\xi_1^{(n)}l_n) + (R_{n-1} - b_2^{(n)})} \\ M_2 &= \frac{E_0^{(n)}S_1^{(n)} \exp(-i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_2^{(n)}]z_n)}{S_1^{(n)} - S_2^{(n)}}. \end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned} R_{n-1} &= E_h^{(n-1)}(z = z_{n-1}) / E_0^{(n-1)}(z = z_{n-1}) = \\ &= E_h^{(n-1)} / E_0^{(n-1)} \end{aligned} \quad (8)$$

– амплитудный коэффициент отражения от $(n-1)$ нижних слоев, $S_1^{(n)} = (R_{n-1} - b_1^{(n)}) \exp(i\xi_1^{(n)}l_n)$ и $S_2^{(n)} = R_{n-1} - b_2^{(n)}$.

Подставим граничные коэффициенты $M_{1,2}$ в общее решение (2) и (3) для рентгеновских полей и получим выражения для когерентных амплитуд проходящей $E_0^{(n)}(z)$ и дифракционной $E_h^{(n)}(z)$ волны внутри слоя с номером n

$$\begin{aligned} E_0^{(n)}(z) &= \frac{E_0^{(n)}(S_1^{(n)} \exp[i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_2^{(n)}](z - z_n)] - \\ & - S_2^{(n)} \exp[i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_1^{(n)}](z - z_n)])}{S_1^{(n)} - S_2^{(n)}}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} E_h^{(n)}(z) &= \frac{E_0^{(n)}(S_1^{(n)} b_2^{(n)} \exp[i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_2^{(n)}](z - z_n)] - \\ & - S_2^{(n)} b_1^{(n)} \exp[i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_1^{(n)}](z - z_n)])}{S_1^{(n)} - S_2^{(n)}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для того, чтобы вычислить амплитуды рентгеновских волн в произвольной точке с координатой z

по формулам (9) и (10), необходимо предварительно рассчитать амплитудный коэффициент отражения R_{n-1} от $(n-1)$ нижних слоев и амплитуду рентгеновской волны $E_0^{(n)}$ на границе слоя с номером n .

Определим амплитудный коэффициент прохождения самого верхнего слоя N

$$t^{(N-1)} = E_0^{(N-1)} / E_0^{(N)} = E_0^{(N-1)}.$$

Обозначим амплитуду волны, выходящей с нижней границы слоя с номером $N-1$, как $E_0^{(N-2)}(z = z_{N-2}) = E_0^{(N-2)}$, тогда амплитудный коэффициент прохождения двух верхних слоев

$$T_{N-2} = E_0^{(N-2)} / E_0^{(N)} = E_0^{(N-2)}. \quad (11)$$

С другой стороны, АКП слоя с номером $N-1$

$$t^{(N-2)} = E_0^{(N-2)} / E_0^{(N-1)}.$$

Выражение для амплитудного коэффициента прохождения (11) можно представить как

$$T_{N-2} = (E_0^{(N-2)} / E_0^{(N-1)}) (E_0^{(N-1)} / E_0^{(N)}) = t^{(N-2)} t^{(N-1)}$$

Двигаясь сверху вниз, для слоя с номером n имеем

$$E_0^{(n)} = T_n = t^{(n)} t^{(n-1)} \dots t^{(N-2)} t^{(N-1)},$$

поэтому амплитуда проходящей волны на первом (самом нижнем) слое пористой системы является АКП всего многослойного кристалла и представляет собой произведение АКП отдельных слоев

$$E_0^{(1)} = T_1 = t^{(1)} t^{(2)} \dots t^{(N-2)} t^{(N-1)} = \prod_{n=1}^{N-1} t^{(n)}. \quad (12)$$

Найдем амплитудные коэффициенты прохождения для каждого элементарного слоя в структуре пористой системы. Выражения для этих коэффициентов непосредственно следуют из решения (9)

$$\begin{aligned} t^{(n-1)} &= E_0^{(n-1)} / E_0^{(n)} = \frac{S_1^{(n)} \exp[i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_2^{(n)}]l_n] - \\ & - S_2^{(n)} \exp[i[\bar{a}_0^{(n)} + \xi_1^{(n)}]l_n]}{S_1^{(n)} - S_2^{(n)}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Вычислив по формуле (13) все АКП $t^{(n)}$, можно найти распределение амплитуды проходящей волны по глубине всего многослойного пористого кристалла.

Амплитудный коэффициент отражения от n нижних слоев, согласно (10), запишется в виде

$$R_n = \frac{(S_1^{(n)} b_2^{(n)} - S_2^{(n)} b_1^{(n)})}{S_1^{(n)} - S_2^{(n)}}. \quad (14)$$

Распределение амплитуды дифракционной волны по глубине неоднородного слоя вычисляется по формуле

$$E_h^{(n)} = R_n E_0^{(n)} = R_n T_n. \quad (15)$$

Коэффициент отражения от всего многослойного пористого кристалла следует из (14) при $n=N$. Сравнительный анализ экспериментальных данных и результатов численного моделирования требует учета дифракционного отражения от подложки. Обычно в качестве подложки рассматривают полубесконечный совершенный кристалл, амплитудный коэффициент отражения от которого хорошо известен:

$$R_\infty = \begin{cases} \frac{a_h}{\xi_1^{(0)}}, & \text{if } \text{Im}(\xi^{(0)}) < 0, \\ \frac{a_h}{\xi_2^{(0)}}, & \text{if } \text{Im}(\xi^{(0)}) > 0, \end{cases} \quad (16)$$

где коэффициенты $\xi^{(0)}$ и $\xi_{1,2}^{(0)}$ зависят от характеристик рентгеновского излучения и материала подложки.

Когерентная интенсивность волны, отраженной от многослойной пористой структуры, вычисляется по формуле

$$I_h^c(\eta) = |R_N(\eta)|^2, \quad (17)$$

где $R_N(\eta)$ – амплитудный коэффициент отражения от системы, состоящей из N пористых слоев и идеальной полубесконечной подложки.

Численное моделирование

Поскольку в пористых кристаллах, как правило, отсутствуют крупномасштабные непрерывные деформации или периодические модуляции кристаллической решетки в латеральном направлении, то когерентное рассеяние формируется в узком интервале обратного пространства параллельно вектору обратной решетки отражающих атомных плоскостей. При рассмотрении дифракции в идеальном кристалле в геометрии Брэгга теоретическая кривая отражения в отсутствии каких-либо поправок на латеральную расходящуюся и без учета инструментальных искажений представляет собой бесконечно узкую (δ -образную) полосу, проходящую через узел обратной решетки.

Однако в реальном эксперименте падающий рентгеновский пучок пространственно ограничен и, в отличие от идеальной плоской волны, имеет угловую расходящуюся. Кроме того, необходимо учитывать аппаратные искажения, возникающие при отражении рентгеновских лучей от монохроматора и анализатора. Поэтому ширина углового распределения когерентного рассеяния в обратном пространстве определяется вышеуказанными факторами и описывается некоторой функцией $\Phi(q_x)$, которая может иметь, например, войтовский или псевдо-войтовский профиль [16].

Карты распределения интенсивности когерентного рассеяния в обратном пространстве в геометрии Брэгга вычисляются с помощью выражения

$$I_h^c(q_x, q_z) = I_h^c(q_z) \Phi(q_x). \quad (18)$$

Кривые дифракционного отражения (КДО) $I_h^c(q_z)$, в зависимости от рассматриваемой модели, вычисляются на основе формул (7) или (17) заменой параметра η на q_z ($q_z = -\eta$).

Численное моделирование выполнено для случая рентгеновской дифракции на пористых кристаллах InP. Необходимые для расчетов коэффициенты соответствуют (004) отражению σ -поляризованного CuK_α -излучения (длина волны $\lambda = 0.154$ nm). Угол Брэгга для выбранного отражения составлял 31.67 угл. град., межплоскостное расстояние

$d_{004} = 1.467 \text{ \AA}$, Фурье-компоненты рентгеновской поляризуемости $\chi_0 = (-2.682 + i 0.2394) \times 10^{-5}$,

$$\chi_h = (-1.4594 + i 0.2040) \times 10^{-5} \quad [17].$$

В процедуре всех расчетов латеральная функция $\Phi(q_x)$ имеет псевдо-войтовский профиль с одинаковыми весами зависимостей Лоренца и Гаусса, при этом полуширина q_x -сечения составляет $0.2 \mu\text{m}^{-1}$.

Влияние пористости кристалла P на когерентное рассеяние учитывается значением статического фактора Дебая-Валлера $f_p = \exp(-c_p V_p) = \exp(-P)$,

где c_p – концентрации пор и V_p – объем поры, а произведение концентрации пор c_p на их объем V_p равно объемной доле пор в кристалле, т.е. пористости кристалла P .

4.1. Рентгеновская дифракция на пористом слое

Сначала рассмотрим когерентное рассеяние на изолированном пористом слое в отсутствие подложки. Кривые дифракционного отражения от слоя толщиной l вычисляются на основе соотношения (7), коэффициенты прохождения рассчитываются по формуле

$$I_0^c(q_z) = |t_0(q_z)|^2 = \left| \exp[i(l \bar{a}_0 + \xi_1) l] (\xi / Q) \right|^2.$$

На рис. 2 показаны кривые дифракционного отражения (а) и прохождения (б) от слоя InP толщиной $4 \mu\text{m}$ в зависимости от величины пористости кристалла. Кривая 1 на рис.2а соответствует КДО от идеального кристаллического слоя конечной толщины, на что указывают периодические осцилляции с обеих сторон дифракционного максимума. Для этого слоя под тем же номером представлен коэффициент прохождения на рис. 2б. Пошаговое увеличение пористости кристалла от $P=0.2$ до $P=0.6$ уменьшает максимумы КДО (рис.2а) и сглаживает провалы на профиле коэффициента прохождения (рис. 2б). Рис. 2с показывает, что для кристалла с достаточно большой пористостью ($P=0.6$, $f_p=0.55$) при условии, что «скелет» кристалла остается совершенным (отсутствие трещин или других

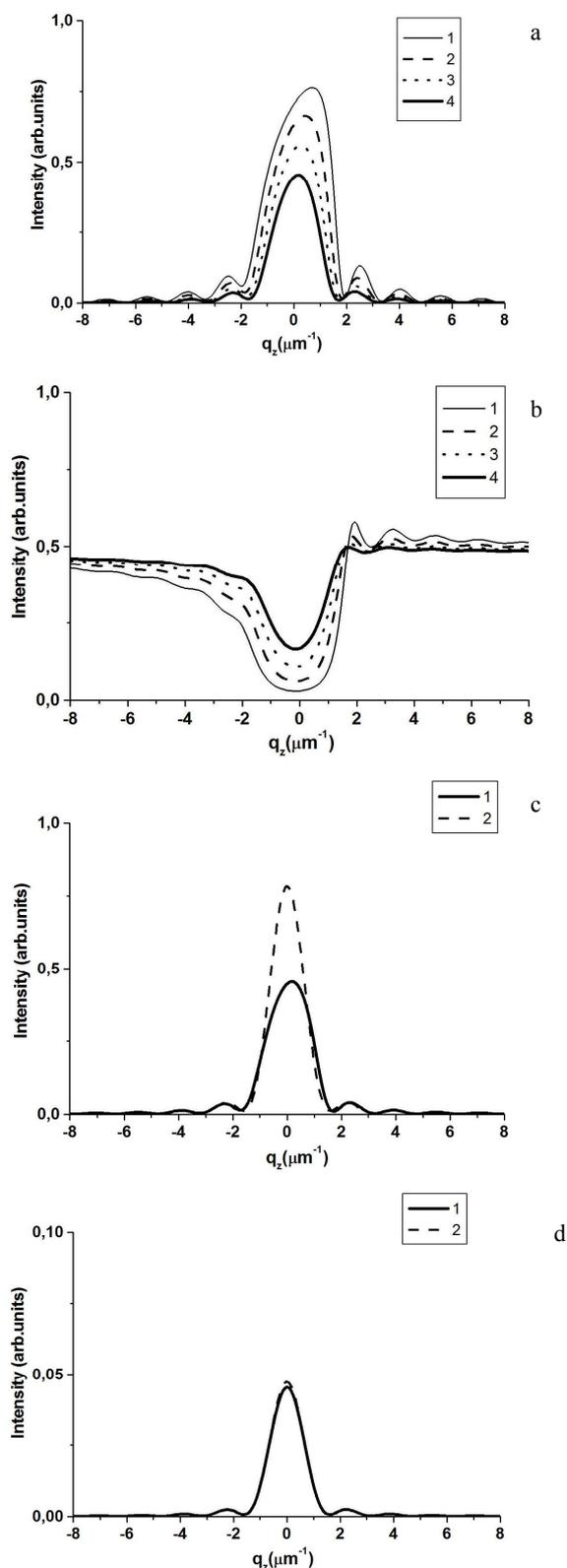


Рис. 2. Кривые дифракционного отражения (а) и прохождения (б) от слоя InP толщиной $4\mu\text{m}$ в зависимости от величины пористости кристалла: 1 – идеальный кристалл; 2 – $P=0.2$; 3 – $P=0.4$; 4 – $P=0.6$. Расчетные КДО на основе динамической (1) и кинематической (2) теории дифракции от пористого кристалла: (с) – статический фактор $f_p=0.55$ и (д) – $f=f_p f_s=0.14$.

дефектов) для расчетов, следует использовать формулы динамической теории рассеяния, поскольку результаты вычислений на их основе существенно отличаются от результатов кинематического приближения. Только для сильно искаженных кристаллов (общий статический фактор Дебая-Валлера $f=f_p f_s=0.14$) динамическая теория и кинематическое приближение дают близкие по профилю и интенсивности КДО (рис.2д).

На рис. 3 представлены карты распределения интенсивности когерентного рассеяния вблизи узла обратной решетки (004) пористого кристалла InP толщиной $4\mu\text{m}$, рассчитанные в рамках динамической теории дифракции (рис. 3а) и кинематического приближения (рис. 3б). На этом рисунке и приведенных ниже картах контуры равной интенсивности представлены в логарифмическом масштабе, отношение между соседними линиями составляет 0.273. Хотя период осцилляционной структуры, связанный с толщиной кристалла, для обоих случаев совпадает, контуры равной интенсивности, вычисленные на основе разных подходов, заметно отличаются.

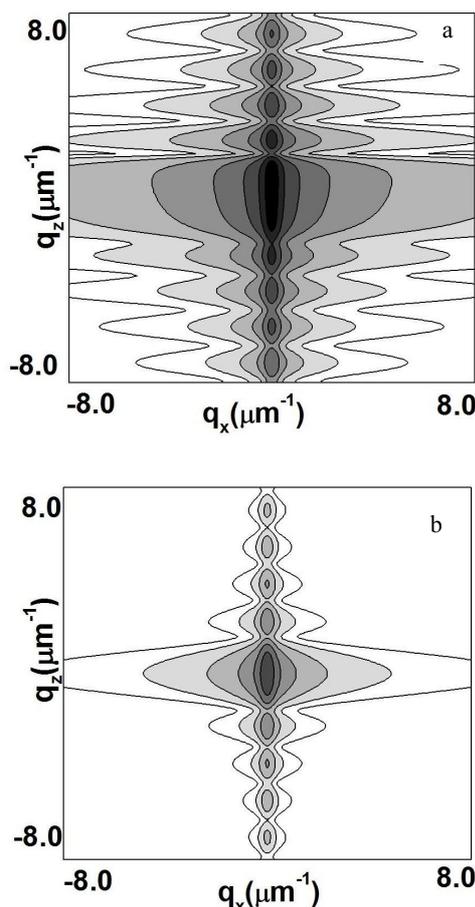


Рис. 3. Карты распределения интенсивности когерентного рассеяния вблизи узла обратной решетки (004) пористого кристалла InP толщиной $4\mu\text{m}$: а) – динамическая дифракция, статический фактор $f=0.8$; б) – кинематическая дифракция, статический фактор $f=0.14$.

4.2. Рассеяние рентгеновских лучей многослойной пористой структурой

Как правило, пористые кристаллы формируются на относительно толстых подложках. Методом электрохимического анодирования можно создавать как одиночные пористые слои, так и многослойные системы с вариацией толщины, пористости и структурного совершенства. Поэтому следующим нашим шагом является исследование когерентного рассеяния от пористых структур, находящихся на толстых (полубесконечных) подложках. В данном случае расчеты проводятся по рекуррентным формулам (12)-(14), (17), дифракция от подложки вычисляется на основе решения (16).

На рис. 4 показаны КДО от разных пористых слоев на полубесконечной кристаллической подложке InP. Следует отметить, что при исследовании рентгеновской дифракции в пористых слоях InP, из-

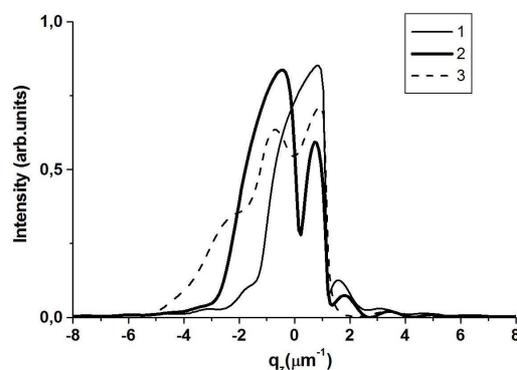


Рис. 4. Кривые дифракционного отражения от пористых слоев на полубесконечной кристаллической подложке InP. 1 – пористый слой толщиной $4\mu\text{m}$, пористость $P=0.2$; статический фактор $f=0.82$, деформация относительно подложки $\varepsilon=0$; 2 – пористый слой толщиной $4\mu\text{m}$, $P=0.4$; $f=0.67$, $\varepsilon = 3 \times 10^{-5}$; 3 – два пористых слоя на подложке толщиной по $2\mu\text{m}$, нижний слой: $P=0.2$; $f=0.82$, $\varepsilon=0$; верхний слой: $P=0.6$, $f=0.55$, $\varepsilon = 6 \times 10^{-5}$.

готовленных по технологии [18], не наблюдались какие-либо деформации на интерфейсах между слоями [6–10]. Однако КДО от пористых кристаллов, созданных с использованием других технологических параметров, выявляли небольшие деформации [19]. В последующих численных расчетах для пористости, не превышающей величину 0.2, рассогласование решеток слоя и подложки не учитывалось. В остальных случаях деформации в алгоритме расчетов присутствовали, их величины варьировались пропорционально величине пористости материала. Для кристаллов с малой концентрацией пор (кривая 1 на рис. 4) КДО напоминает кривую Дарвина [20], осцилляции на профиле КДО возникают из-за различия плотности верхнего пористого слоя и материала подложки. При пористости слоя $P=0.4$ учитывалась относительная деформация параметра решетки слоя и подложки $\varepsilon_z = 3 \times 10^{-5}$. На профиле КДО (кривая 2 на рис.4)

это проявилось в виде смещения максимума дифракционного отражения от пористого слоя относительно пика подложки. Форма профиля КДО существенно меняется, если на подложке два слоя с разной пористостью (кривая 3 на рис.4). Хотя на профиль КДО влияет интерференция рентгеновских волн, отраженных разными слоями пористой системы, тем не менее, можно выделить три максимума на кривой отражения. Дифракционный вклад от верхнего слоя с большей пористостью проявляется в виде «наплыва» слева на участке профиля КДО, при этом положение этого «наплыва» на угловой шкале распределения интенсивности рассеяния определяется значением деформации $\varepsilon_z = 6 \times 10^{-5}$.

На рис.5 представлены карты распределения интенсивности рассеяния вблизи узла обратной решетки (004) от пористых слоев на полубесконечной подложке InP. В отсутствие пористого слоя дифракционная картина симметрично отображает поведение дарвиновской кривой (рис.5а). Угловые распределения интенсивности рассеяния в обратном пространстве (рис. 5b –5d) соответствуют КДО на рис. 4.

4.3. Рентгеновская дифракция на пористой сверхрешетке

Пористые сверхрешетки (СР) создаются методом электрохимического травления в режиме временной модуляции плотности тока. В результате формируется структура с периодическим изменением плотности материала (пористости) по глубине образца.

Если эпитаксиальные модулированные структуры характеризуются атомарно гладкими интерфейсами, отсутствием флуктуаций в толщинах слоев и стабильным композиционным составом, то пористые сверхрешетки не обладают таким кристаллическим совершенством [21]. Как правило, интерфейсы пористых СР размыты, неоднородны и рельефны. Толщины периодов этих сверхрешеток не строго выдержаны, пористость слоев нестабильна и, как следствие, степень кристаллического совершенства далека от идеальности. Кроме того, возможны проявления градиента пористости и увеличения шероховатости межслойных границ с увеличением толщины периодической пористой структуры.

Методом высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии экспериментально исследованы пористые сверхрешетки на основе кристаллического кремния [22–24]. Информация о структурных характеристиках была получена численным моделированием в рамках динамической теории дифракции [22–23]. Анализ пористости и дефектов структуры кремниевых СР проведен с использованием карт диффузного рассеяния в работе [24].

В данной части статьи приведем результаты численного моделирования когерентного рассеяния от идеальных пористых сверхрешеток на основе полупроводника InP.

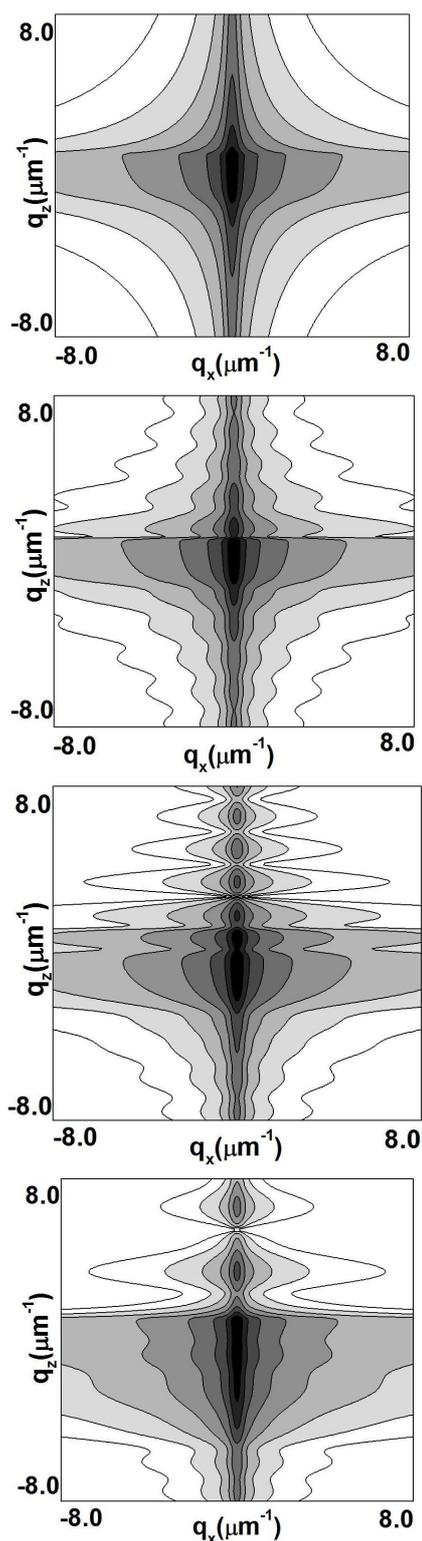


Рис. 5. Карты распределения интенсивности когерентного рассеяния вблизи узла обратной решетки (004) от пористых слоев на полубесконечной подложке InP.

а) – пористый слой отсутствует, дифракция от совершенной подложки; б) – д) – карты, q_z -сечения которых соответствуют КДО 1–3 на рис.4.

Карты распределения интенсивности рассеяния и соответствующие КДО представлены для двух сверхрешеток с одинаковым по толщине, но отличающимся по структуре периодом СР (рис.6,7). Число периодов в каждой сверхрешетке равно 10, общая толщина модулированной структуры составляет $4\mu\text{m}$. В первом случае (А) период СР состоит из слоя толщиной 300 nm пористостью 0.8 и слоя толщиной 100 nm и пористостью 0.2 . Во втором случае (В), наоборот, толстый (300 nm) слой имел пористость 0.2 , а относительно тонкий (100 nm) слой – 0.8 . Кроме того, в слоях периода с пористостью 0.8 учитывалась деформация кристаллической решетки $\varepsilon = 9 \times 10^{-5}$. Профили пористости для сверхрешеток (А) и (В) показаны в верхней части рисунков 6 и 7. Поскольку для СР (А) большую

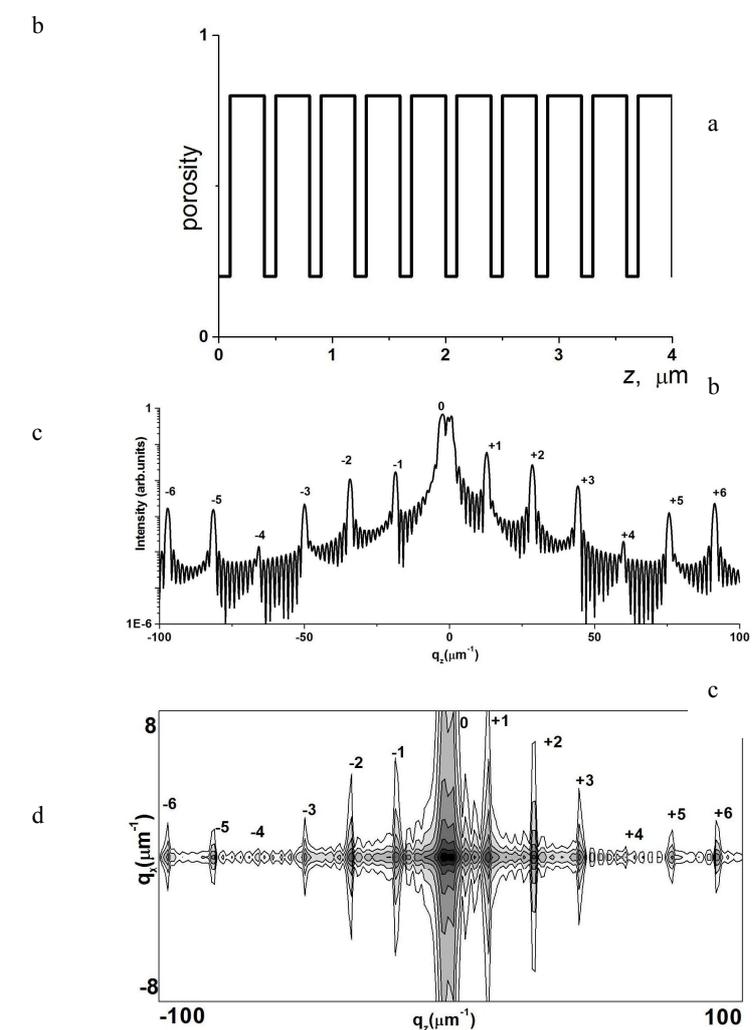


Рис. 6. Профиль пористости (а), КДО (б) и карта распределения интенсивности когерентного рассеяния (с) от идеальной пористой сверхрешетки, в периоде которой более толстый слой имеет большую пористость.

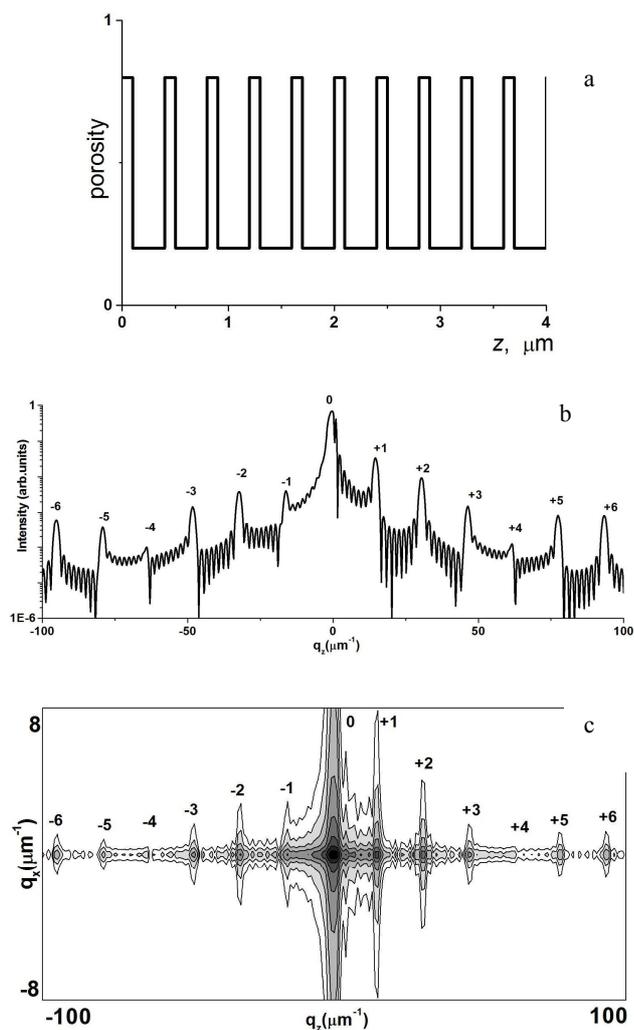


Рис. 7. Профиль пористости (а), КДО (б) и карта распределения интенсивности когерентного рассеяния (с) от идеальной пористой сверхрешетки, в периоде которой более толстый слой имеет меньшую пористость.

пористость, а следовательно, и большую деформацию имеет толстый слой, то средняя деформация СР относительно подложки InP составляет $\varepsilon_{SL}^{(A)} = (\varepsilon_1 l_1 + \varepsilon_2 l_2) / (l_1 + l_2) = 6.75 \times 10^{-5}$, что приводит к заметному сдвигу нулевого пика СР относительно подложки (рис. 6b). Для случая СР (В) $\varepsilon_{SL}^{(B)} = 2.25 \times 10^{-5}$ нулевой дифракционный максимум сверхрешетки находится вблизи пика подложки (рис.7b). Отметим также, что как на профиле КДО, так и на картах распределения интенсивности рассеяния рассматриваемых сверхрешеток, четвертые дифракционные порядки слева и справа от основного максимума существенно меньше других сателлитов (рис.6,7).

5. Заключение

До сих пор в литературе не предпринималось попыток численного моделирования когерентной рентгеновской дифракции на различных пористых

системах. Между тем, интерес к пористым кристаллам в силу их уникальных физических свойств неуклонно растет, а это в свою очередь, требует разрушающих методов контроля качества создаваемых материалов. В перспективе рентгенодифракционные исследования, особенно с использованием источников синхротронного излучения, займут достойное место в изучении сложных периодических и стохастических пористых структур. Такие исследования будут весьма плодотворны, если наряду с дифракционными исследованиями будут параллельно развиваться другие направления, например, электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, фотолюминесцентные методы и т.д.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-02-00445-а), Программы Президиума РАН 12-П-1-1014, Программы фундаментальных исследований УрО РАН 12-У-1-1010 и Программы развития вычислительных, телекоммуникационных и информационных ресурсов УрО РАН (проект РЦП-2012-П2).

Литература

1. Uhler A. Electrolytic shaping of germanium and silicon // Bell System Tech. J. 1956. Vol. 35. P. 333–347.
2. Canham L.T. Si Quantum Wire Array Fabrication by Electrochemical and Chemical Dissolution // Appl. Phys. Lett. 1990. Vol. 57. P.1046–1048.
3. Lehmann V., Gösele U. Porous Silicon Formation: A Quantum Wire Effect // Appl. Phys. Lett. 1991. Vol. 58. P. 856–858.
4. Cullis G., Canham L.T, Calcott P. D. J. The structural and luminescence properties of porous silicon J. Appl. Phys., 1997. Vol. 82, P. 909–965.
5. Kochergin V., Föll H. Porous Semiconductors. Optical Properties and Applications. Springer-Verlag, London, 2009. 207p.
6. Lomov A.A. Bellet D., Dolino G. X-ray Diffraction Study of Thin Porous Silicon Layers. // Phys. Stat. Sol. (b). 1995. Vol.190. P. 219–226.
7. Pунегов В.И., Ломов А.А., Шчербачев К.Д. Characterization of InP porous layer by high-resolution x-ray diffraction // Phys. Stat. Sol. (a). 2007. Vol. 204. P. 2620–2625.
8. Пунегов В.И., Ломов А.А. Теория дифракции рентгеновских лучей в нанопористых кристаллах с латеральной квазипериодичностью // Письма в ЖТФ. 2008. Т.34, № 6. С.30–35.
9. Рентгенодифракционные исследования многослойной пористой структуры InP(001) / А.А.Ломов, В.И.Пунегов, А.Л.Васильев, Д.Нохавица, П.Гладков, А.А.Карцев, Д.В.Новиков // Кристаллография. 2010. Т.55. № 2. С. 196–204.
10. Пунегов В.И., Ломов А.А. О рассеянии рентгеновских лучей на многослойных пористых структурах // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. № 3. С.47–60.

11. *Kato N.* Statistical Dynamical Theory of Crystal Diffraction. I. General Formulation // *Acta Cryst. A.* 1980. Vol.36. P. 763–769.
12. *Takagi S.* A Dynamical Theory of Diffraction for a Distorted Crystal // *J. Phys. Soc. Japan* 1969. Vol. 26. P.1239–1253.
13. *Punegov V.I., Nesterets Ya.I., Roshchupkin D.V.* Coherent and diffuse X-ray scattering in crystals modulated by surface acoustic wave // *J. Appl. Cryst.* 2010. Vol. 43. N.3. P. 520–530.
14. *Punegov V.I.* X-ray diffraction from multilayer structures with statistically distributed microdefects.// *Phys.Stat.Sol. (a).* 1993. Vol. 136. P. 9–19.
15. *Пунегов В.И.* Динамическая дифракция на слоисто-неоднородных системах с дефектами// *Письма в ЖТФ.* 1994. Т.20. №.2. С.25–29.
16. *Ida T., Ando M., Toraya H.* Extended pseudo-Voigt function for approximating the Voigt profile.// *J. Appl. Cryst.* 2000. Vol. 33. P. 1311–1316.
17. *Stepanov S.A.* // <http://sergey.gmca.aps.anl.gov>
18. *Nohavica D., Gladkov P., Zelinka J., Dvořák M., Pirov J.* “Micro-and Nanopores Formation in A III B V Semiconductors”// *Proc. of the Conf., NANO.* 2004, Brno, Czech Republic. P.176–182.
19. *Arsentyev I.N., Bobyl A.B., Konnikov S.G. et al.* Porous nanostructured InP: technology, properties, application // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2005. Vol. 8, N 4. P. 95–104.
20. *Authier A.* Dynamical Theory of X-Ray Diffraction. Oxford University Press, New York. 2001. 661p.
21. *Berger M.G., Dieker C., Thonissen M. et al.* Porosity superlattice: a new class of Si heterostructures // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1994. Vol. 27. 1333–1336.
22. *Buttard D., Bellet D., Baumbach T.* X-ray diffraction investigation of porous silicon superlattices // *Thin Solid Films.* 1996. Vol. 276. P. 69–72.
23. *Buttard D., Bellet D., Dolino G., Baumbach T.* Thin layers and multilayers of porous silicon: X-ray diffraction investigation // *J. Appl. Phys.* 1998. Vol. 83. P. 5814–5822.
24. *Buttard D., Bellet D., Dolino G., Baumbach T.* X-ray diffuse scattering of p-type porous silicon // *J. Appl. Phys.* 2002. Vol. 91. P. 2742–2752.

Статья поступила в редакцию 3.04.2012.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 547.022

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИГНИНОВ РОДИОЛЫ РОЗОВОЙ (*RHODIOLA ROSEA* L.) И СЕРПУХИ ВЕНЦЕНОСНОЙ (*SERRATULA CORONATA* L.) МЕТОДОМ 2D ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

В.А. БЕЛЫЙ, И.Н. АЛЕКСЕЕВ, Р.А. САДЫКОВ

Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
skeyling@yandex.ru

Впервые выделены лигнины растений родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) и серпухи венценосной (*Serratula coronata* L.). Методом двумерной ЯМР-спектроскопии определены общие закономерности химического строения. Показано, что изучаемые лигнины построены из гваяцильных, сиригильных и *para*-кумаровых фрагментов, соединенных, преимущественно, β -O-4-связью. Установлены структурные различия лигнинов. В частности, выявлено, что ацетатные группы и кумаратные фрагменты в лигнине родиолы розовой присутствуют только в γ -положении фенилпропановых единиц. Предшественниками лигнина родиолы розовой могут быть кумараты и ацетаты кониферилового и синапового спиртов.

Ключевые слова: лигнин, фенилпропановая единица, двумерная ЯМР-спектроскопия, HSQC, COSY, HMBC

V.A.BELY, I.N.ALEKSEEV, R.A.SADYKOV. STUDYING OF CHEMICAL STRUCTURE OF LIGNINS OF RHODIOLA ROSEA L. AND SERRATULA CORONATA L. BY 2D NMR-SPECTROSCOPY

Lignins of plants *Rhodiola rosea* L. and *Serratula coronata* L. are extracted for the first time. By the method of two-dimensional NMR-spectroscopy the general regularities of chemical structure are defined, it is shown that studied lignins are built of quaiacic, syringic and *p*-coumaric fragments connected, mainly, by β -O-4 binding. Structural distinctions of lignins are established, in particular, it is shown that acetated groups and coumaric fragments in lignin of *Rhodiola rosea* L. are present only at γ -position of phenyl-propane units. It is established that coumarates and acetates of coniferyl and sinapic spirits can be predecessors of lignin of *Rhodiola rosea* L.

Key words: lignin, phenyl-propane unit, two-dimensional NMR-spectroscopy, HSQC, COSY, HMBC

Лигнин – это структурный компонент травянистых и древесных растений, образующийся путем полимеризации кониферилового, синапового и *p*-кумарового спиртов, придающий жесткость клеточным стенкам, а также стойкость к воздействию микроорганизмов [1]. Особенность лигнинов как особой группы биополимеров состоит в неупорядоченности их химической структуры, проявляющейся в большом разнообразии ди- и тримерных фрагментов, составляющих структуру. Однако лигнины растений различных видов характеризуются определенными особенностями строения, точнее, структура лигнина на каждом уровне структурной организации (как на молекулярном, так и на топологическом) определяется его ботаническим происхождением [2]. Особенности химического строения и физико-химическим свойствам лигнинов травянистых рас-

тений до настоящего времени уделялось мало внимания, а данные по лигнинам лекарственных растений отсутствуют вообще.

Родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.) – многолетнее травянистое растение семейства толстянковых, произрастающее на Алтае, Урале, заполярных районах Якутии, в горных районах Восточной Сибири и Дальнего Востока. В медицине используют ее экстракты, обладающие стимулирующим и адаптогенным действием, применение которых направлено на улучшение физической выносливости, внимания, памяти, а также резистентности организма [3].

Серпуха венценосная (*Serratula coronata* L.) – многолетнее травянистое растение семейства Asteraceae, встречающееся в европейской части России, на Кавказе, в Западной Сибири, Дальнем

Востоке и Средней Азии. Серпуха венценосная является источником фитостероидов – растительных гормонов, обладающих целым рядом ценных фармакологических свойств [4]. Исследования низкомолекулярной, экстрактивной составляющей родиолы розовой и серпухи венценосной представлены в работах [5, 6].

Поиск путей рационального использования лекарственного растительного сырья, в частности, родиолы розовой и серпухи венценосной, требует детального изучения структуры их лигнинов.

Спектроскопические методики, и особенно 1D и 2D ЯМР, дают исчерпывающую информацию о структуре макромолекул и являются мощными инструментами для исследования лигнинов различного ботанического происхождения. В этой статье представлены результаты исследования химической структуры лигнинов родиолы розовой и серпухи венценосной с использованием 2D ЯМР-спектроскопии.

Материалы и методы

Образцы. Сырьем для извлечения лигнина в данной работе являлись корневища родиолы розовой, которые заготавливали с конца цветения до конца вегетации растения, и стебли серпухи венценосной. Растения выращены и собраны в Ботаническом саду Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Республика Коми).

В исходных образцах растений по общепринятым методикам [7] предварительно было определено содержание лигнина, целлюлозы и других компонентов (табл. 1).

Таблица 1

Компонентный состав родиолы розовой и серпухи венценосной

Растение	Целлюлоза, %	Лигнин, %	Зольность, %	Легкогидролизуемые вещества, %	Экстрактивные вещества, %
<i>Rhodiola rosea</i> L.	9,0±0,2	21,1±0,4	1,9±0,1	36,2±0,6	31,8±0,5
<i>Serratula coronata</i> L.	44,9±0,7	16,3±0,4	7,1±0,1	25,1±0,4	6,6±0,1

Предварительная подготовка растительного сырья заключалась в экстракции водой и спирто-бензольной смесью. Образцы лигнинов серпухи венценосной (ДЛС) и родиолы розовой (ДЛР) получали экстрагируя растительное сырье смесью диоксан-вода 9:1 в присутствии HCl_2 (0,7 %) при температуре кипения в течение 2 ч. Полученный раствор лигнина упаривали в вакууме и высаживали в 1 %-ный раствор сульфата натрия. Лигнин отмывали от соли, подсушивали на воздухе, затем переосаждали из диоксанового раствора в диэтиловый эфир и сушили в вакууме. Выход лигнина серпухи венценосной составил 22 %, родиолы ро-

зовой – 30 % от содержания в исходном растительном сырье.

Двумерные спектры ЯМР регистрировали при 25°C в 5 мм ампулах на спектрометре Bruker AVANCE II 300, рабочая частота 300 МГц (^1H) и 75 МГц (^{13}C). Около 80 мг лигнина растворяли в 0,6 мл дейтерированного диметилсульфоксида, затем 2D ЯМР спектры записывались в HSQC (Heteronuclear Single Quantum Correlation), COSY (Correlation Spectroscopy) и HMBC (Heteronuclear Multiple Quantum Coherence) экспериментах. Ширина спектров составила 5 тыс. и 20 тыс. Гц в ^1H и ^{13}C измерениях соответственно. Число накоплений составляло 20 тыс. с задержкой 5 с. В качестве внутреннего стандарта использовался сигнал растворителя (δ_{C} 40.1; δ_{H} 2.5). Кросс-сигналы спектров HSQC интерпретировались по литературным данным [8, 9]. При регистрации ^{13}C -спектров время релаксации искусственно уменьшалось добавлением трис-ацетил-ацетоната хрома (0.02 моль/л).

Результаты и обсуждение

Лигнины, выделенные диоксаном по описанной выше методике, часто используются для структурных исследований, поскольку они являются наиболее представительной частью всего лигнина в растении [10]. Поэтому в данной работе для исследования структуры лигнинов лекарственных растений применяли именно диоксановый метод выделения образцов. Однако необходимо иметь в виду, что выводы, сделанные по выделенным препаратам, могут иметь лишь предположительный характер в отношении всего лигнина, находящегося в растении.

Строение лигнина характеризуется наличием ароматических ядер, замещенных метоксильными, гидроксильными функциональными группами и алкильными цепочками. Описание характеристик лигнина как вещества нерегулярного строения возможно через определение его фрагментного состава, демонстрирующего статистические параметры химической структуры лигнина.

Ароматические фрагменты. Наиболее интенсивные корреляционные сигналы в ароматическом регионе HSQC-спектров ($\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$ 5.5-8.5/96-150 м.д.), представленных на рис. 1, соответствуют ароматическим кольцам различных структурных единиц лигнина. В HSQC-спектрах шкала химических сдвигов атомов ^1H отложена по оси абсцисс, атомов ^{13}C – по ординат. Сигнал 6.68/103.8 м.д. на рис. 1, согласно [9], соответствует атомам во втором и шестом положениях сиригильного кольца (рис. 2 S), для сиригильных структурных единиц, имеющих карбонильную группу в α -положении, характерен сигнал 7.36/104.0 м.д. [9], присутствующий на спектрах ДЛР (рис. 1 а) и ДЛС (рис. 1 б). Присутствие в образцах *l*-кумаровых звеньев (рис. 2 H) подтверждается корреляционным сигналом $\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$ 7.28/127.5 м.д [9].

Хорошо разрешенные сигналы *l*-кумаратых фрагментов (рис. 2 Y) наблюдаются в спектрах лигнина родиолы розовой (рис. 1 а). Кросс-сигналы $\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$ 7.5/145.0 м.д и 6.5/115.0 м.д. (рис. 1 а) соот-

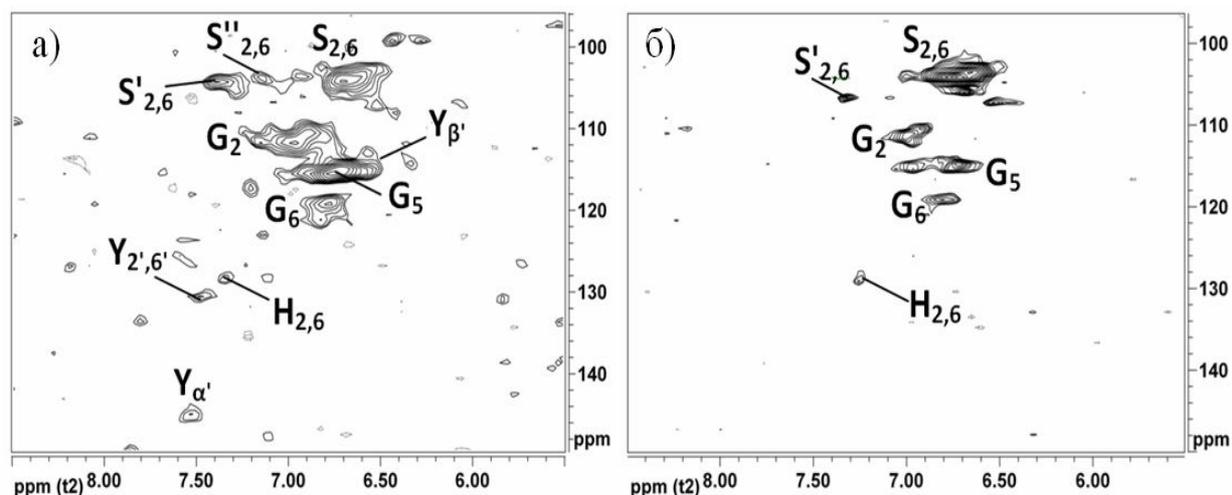


Рис. 1. Область сигналов ароматических атомов на HSQC-спектрах ДЛР (а) и ДЛС (б).

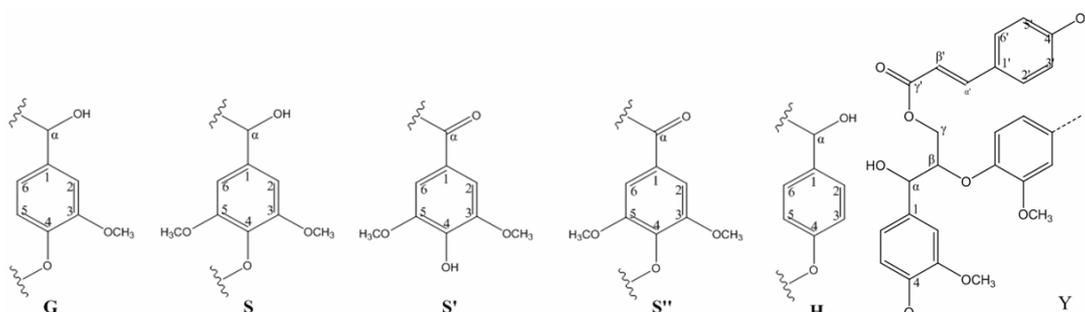


Рис. 2. Мономерные структурные единицы лигнинов: G – гваяцильные, S – сиригильные, H – *p*-кумаровые, Y – ацилированные *p*-кумаровой кислотой.

ветствуют α (рис. 2 Y_{α}) и β (рис. 2 Y_{β}) атомам боковой цепочки *p*-кумаратов [9], а сигналы при δ_H/δ_C 7.40/130.5 м.д. и 6.77/116.2 м.д. относятся к ароматическому кольцу *p*-кумаратов (рис. 2 $Y_{2',6'}$) и (рис. 2 $Y_{3',5'}$) соответственно [9].

Во многих исследованиях лигнинов травянистых растений указывалось на присутствие в структуре остатков *p*-кумаровой кислоты, соединенной с фенилпропановыми единицами сложноэфирной связью [11–14]. В этих работах предполагались два различных пути вовлечения *p*-кумаровой кислоты в процесс биосинтеза – либо этерификация *p*-кумаровой кислотой спиртовых групп уже собранной макромолекулы лигнина, либо ацилирование монолигнолов с образованием *p*-кумаратов синапового и кониферилового спиртов. Для решения этого вопроса требовалось определение вариантов присоединения *p*-кумаратов к фенилпропановым единицам. ЯМР исследования лигнина, выделенного из кукурузы [15], пшеницы [16] и некоторых других трав [8, 17], показали, что *p*-кумараты присутствуют только в γ -положениях звеньев лигнина. Эти результаты однозначно указывали на то, что этерификация происходила до образования макромолекулы лигнина. Теперь широко признано, что предшественниками лигнинов могут быть сложные эфиры гидроксокоричных спиртов и *p*-кумаровой или бензойной кислот, а также ацетаты конифери-

лового и синапового спиртов [18–21]. Ацилированные в γ -положении фрагменты были определены в лигнинах многих растений [18, 19].

Идентификация *p*-кумаратов в ДЛР представлена на рис. 3. Спектр ЯМР ^{13}C (рис. 3 а) демонстрирует сигналы четвертичных атомов углерода, на наличие *p*-кумаратов указывает сигнал γ' -атома 167.4 м.д [9]. HSQC- и COSY-спектры (рис. 3 б) также подтверждают наличие *p*-кумаратов в ДЛР, в представленной на них области отмечены сигналы α' и β' атомов. Для выяснения точки присоединения *p*-кумаратов к структурным единицам лигнина на спектре (рис. 3 в) были выделены области сигналов, характерные для структурных единиц с присоединенными в α -положении *p*-кумаратовыми фрагментами (α -*p*CA), а также в γ -положении во фрагментах Y (рис. 2). По результатам анализа спектров на рис. 3 определено, что фрагменты *p*-кумарата присоединены в ДЛР только в γ -положении фенилпропановых единиц (δ_H/δ_C 4.1/64.5 м.д.) в структурах, подобных Y, поскольку не обнаружено сигналов α -атома, образующего связь с *p*-кумаратом (δ_H/δ_C 6.1/75.0 м.д. [9]). Для лигнина серпухи венценосной (образец ДЛС) наличие *p*-кумаратов не характерно.

В спектрах ДЛР выявлены сигналы ацетатных групп (δ_H/δ_C 1.7/20.7 и δ_C 170.7 м.д. [9]). На рис. 3 в отмечены сигналы атомов боковой цепочки фенилпропановых единиц, связанных с ацетатными

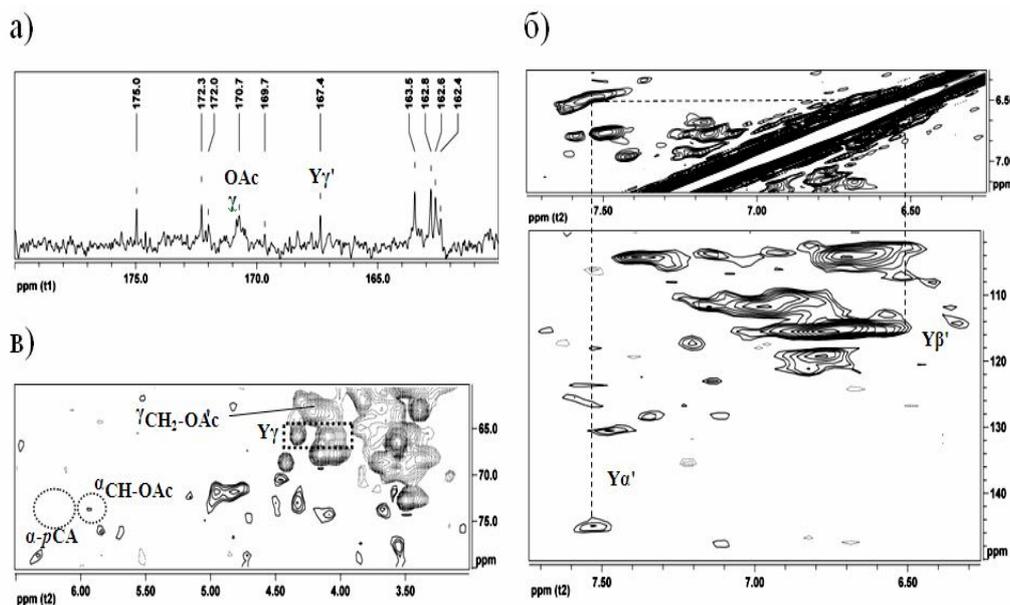


Рис. 3. Определение *p*-кумаратов в ДЛП по HSQC- и COSY-спектрам.

группами: в γ -положении (δ_H/δ_C 4.2/63.0 м.д. [9]), а также в α -положении (δ_H/δ_C 5.9/74.7 м.д. [9]). Связь с ацетатами в α -положении выявляется в лигнинах травянистых растений сравнительно редко, чаще встречается исключительно в γ -положении [17]. И, согласно предположению, выдвинутому Ральфом [10], может существовать миграция ацетатных групп от γ – к α -атому.

Простые эфирные связи между фенилпропановыми единицами. Область сигналов атомов боковых цепочек на HSQC-спектре (δ_H/δ_C 2.5-5.5/50-90 м.д.), представленная на рис. 4 и в табл. 2, дает информацию о связях между звеньями макромолекулы лигнина. Также в этой области спектра находятся сигналы метоксильных групп при δ_H/δ_C 3.7/55.7 м.д., которые характерны для всех известных лигнинов. Содержание метоксильных групп в разных лигнинах варьирует от 15 до 20 % в зависи-

мости от соотношения гваяцильных, сиригильных и *p*-кумаровых структурных единиц [22]. Лигнин серпухи венценосной содержит еще и этоксильные группы. Это предположение основано на корреляционных сигналах CH_3 -фрагмента (δ_H/δ_C 1.10/15.0 м.д.) и CH_2 (δ_H/δ_C 3.4/62.5 м.д. см. рис. 4 а). Подтверждением является кросс-сигнал на COSY спектре δ_H/δ_H 1.10/3.4 м.д.

Характерными для структуры β -арилового эфира (рис. 5 А) корреляционными сигналами, в соответствии с [9], являются δ_H/δ_C 3.5/60.1 м.д. (рис. 4 А γ) и 4.7/71.1 м.д. (рис. 4 А α). Необходимо отметить, что сигнал β -атома гваяцильной или сиригильной единицы, соединенной с гваяцильной, имеет корреляцию при δ_H/δ_C 4.4/84.0 м.д (рис. 4 А $\beta_{S/G-O-G}$) [9]. Этот корреляционный сигнал обычно четко разделен с корреляционными сигналами δ_H/δ_C 4.0/87.7 м.д. β -атома сиригильных единиц,

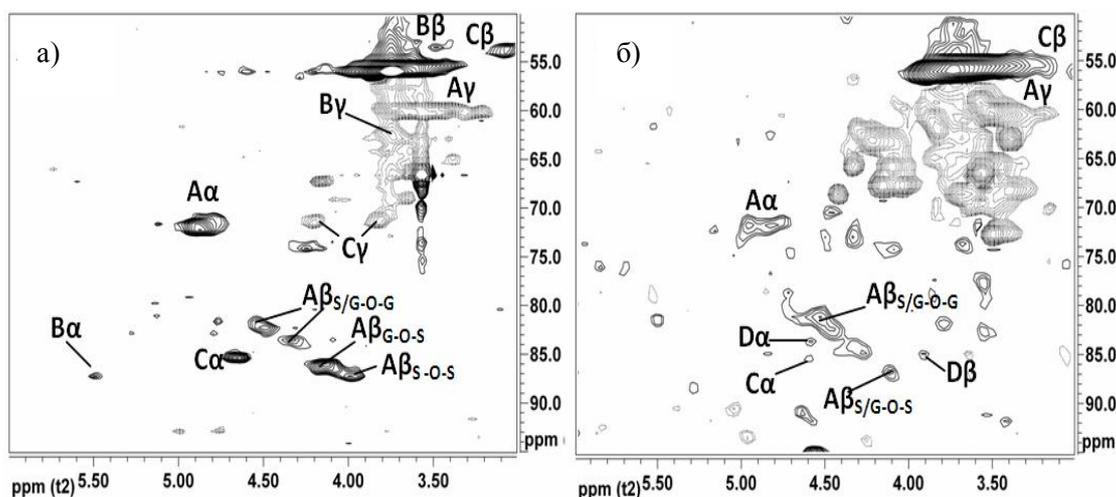
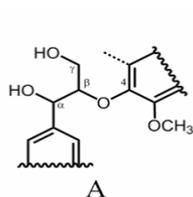
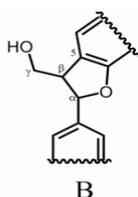


Рис. 4. Области HSQC-спектров лигнинов серпухи венценосной (а) и родиолы розовой (б).

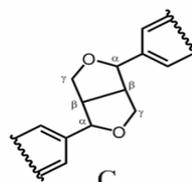
Таблица 2

Отнесение кросс-сигналов ^1H - ^{13}C в HSQC-спектрах лигнинов ДЛС и ДЛР [8, 9]

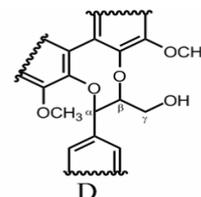
$\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$ м.д.	Отнесение
3.7/55.7	CH_3 в метоксильных группах
3.0/53.9	CH β в пинорезинольных фрагментах (С)
3.5/53.2	CH β в фенилкумарановых фрагментах (В)
3.7/62.6	CH_2 γ в фенилкумарановых фрагментах (В)
4.17/71.5	CH_2 γ в пинорезинольных фрагментах (С)
4.60/83.5	CH α в дибензодиоксициновых фрагм. (D)
3.80/85.6	CH β в дибензодиоксициновых фрагм. (D)
4.6/85.3	CH α в пинорезинольных фрагментах (С)
5.5/86.9	CH α в фенилкумарановых фрагментах (В)
3.5/60.1	CH_2 γ в β -O-4 фрагментах (А)
4.7/71.1	CH α в β -O-4 фрагментах (А)
4.2/86.3	CH β в β -O-4 фрагментах (А)
3.4/62.5	CH_2 в этоксильных группах
6.68/103.8	2 и 6 в сирингильных фрагментах (S)
7.15/104.0	2 и 6 в сирингильных фрагментах (S')
7.36/104.0	2 и 6 в сирингильных фрагментах (S'')
6.99/111.1	2 в гваяцильных фрагментах (G)
6.5/115.0	β во фрагментах с <i>l</i> -кумаратом (Y)
6.71/115.2	5 в гваяцильных фрагментах (G)
6.77/116.2	3 и 5 в <i>l</i> -кумаровых (H); 3' и 5' в Y
6.83/119.5	6 в гваяцильных фрагментах (G)
7.20/129.5	2 и 6 в <i>l</i> -кумаровых фрагментах (H)
7.40/130.5	2' и 6' в <i>l</i> -кумаратах (Y)
7.5/145.0	α' в <i>l</i> -кумаратах (Y)

 β -ариловый эфир (β -O-4)

фенилкумаран



пинорезинол



дибензодиоксицин

Рис. 5. Структурные фрагменты лигнинов.

имеющих в β -положении аналогичную связь с сирингильными (рис. 4 А $\beta_{\text{S-O-S}}$), а также со структурами с сигналом при $\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$ 4.2/86.3 м.д. (рис. 4 А $\beta_{\text{G-O-S}}$) [9]. Структуры β -арилового эфира считаются преобладающими во всех лигнинах [2], и спектры лигнинов родиолы и серпухи (рис. 4 а и б) демонстрируют четкие и интенсивные характерные сигналы.

Фенилкумарановые фрагменты (рис. 5 В) распространены в гваяцилсирингильных лигнинах (лигнины лиственных) реже, чем в гваяцильных (лигнины хвойных), где их количество составляет 8-10 на 100 фенилпропановых единиц [11]. Наличие большого количества сирингильных звеньев, с метоксилированным пятым поло-

жением бензольного кольца, препятствует образованию таких структур, как фенилкумаран, а также дибензодиоксицин (рис. 5 D) с 5-5-связью. Лигнин серпухи венценосной содержит фенилкумарановые фрагменты наряду с распространенными сирингильными структурными единицами, о чем свидетельствуют корреляционные сигналы на HSQC-спектре (рис. 4 а) $\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$: 5.5/86.9 м.д., 3.5/53.2 м.д. и 3.7/62.6 м.д., относимые к α -, β - и γ -положению структуры В соответственно (рис. 5) [9]. Однако спектр (рис. 4 б) не подтверждает присутствие фенилкумарановых структур в лигнине родиолы розовой. Корреляционными сигналами пинорезинольных фрагментов (рис. 5 С) являются сигналы $\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$: 4.6/85.3 м.д., 3.0/53.9 м.д. и 4.2/71.5 м.д., относимые к α -, β - и γ -положению этих фрагментов соответственно [9]. Сигналы пинорезинольных фрагментов выявлены на спектрах как родиолы розовой (рис. 4 б), так и серпухи венценосной (рис. 4 а). Структуры дибензодиоксицина (рис. 5 D) имеют корреляционные сигналы при $\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$ 4.60/83.5 м.д. (α) и 3.80/85.6 м.д. (β) [8, 9]. Интенсивность этих сигналов в спектре образца ДЛР (рис. 4 б) отмечена весьма слабая. По-видимому, этот тип связи встречается крайне редко.

Алифатические фрагменты. В диапазоне $\delta_{\text{H}}/\delta_{\text{C}}$ 3.0-1.1/50-10 м.д. на HSQC-спектре (рис. 6 нижний) присутствуют сигналы алифатических углеводородных фрагментов, не связанных с атомом кислорода, в основном групп CH_2 . Эти сигналы не

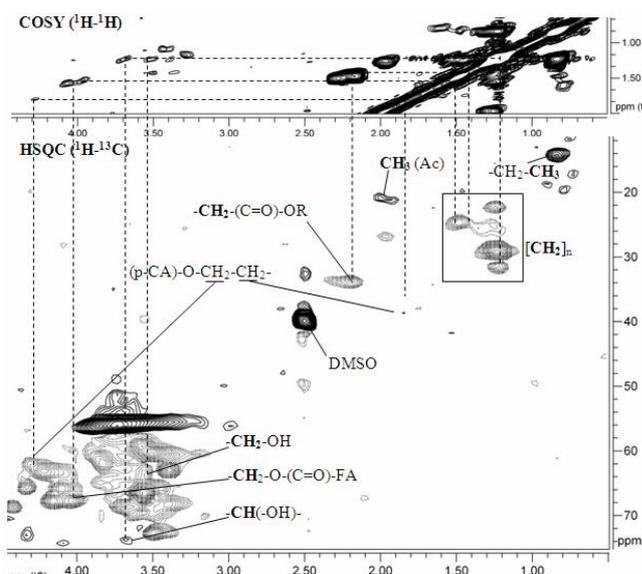


Рис. 6. COSY- и HSQC-спектры ДЛР.

принадлежат боковым цепочкам фенилпропановой единицы, они характерны для атомов углерода насыщенных ациклических структур с длиной цепи 7 и более атомов углерода [11]. Структурообразующими компонентами клеточных стенок растений, построенными из остатков жирных кислот и высших спиртов, являются кутин и суберин [23]. Эти компоненты обычно извлекаются из растения экстракцией нейтральными растворителями в ходе предварительной подготовки сырья для извлечения лигнина, поэтому присутствие жирных кислот и высших спиртов в препарате лигнина может быть либо в виде примеси, либо в виде фрагментов структуры, ковалентно связанных с фенилпропановыми единицами.

В работе [23] по исследованию состава жирных кислот корневищ ряда растений было выявлено, что для родиолы (*Rhodiola pamiroalaica*), как и для остальных, свойственно преобладание жирных кислот с цепочками C₁₆ и C₁₈. На основе данной работы проведено соотнесение сигналов в спектрах лигнинов с фрагментами на примере фрагмента FA (от англ. fatty acids), представленного на рис. 7. Отнесение сигналов показано в табл. 3.

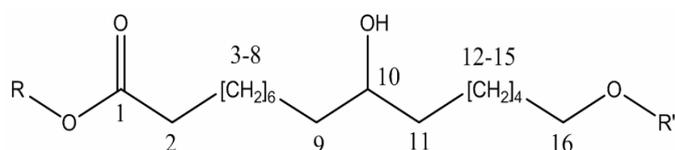


Рис. 7. Фрагмент 10, 16-дигидроксигексадекановой кислоты в составе лигнина (усл. обозн. – FA).

Возможно, что концевые спиртовые группы FA (положение 16 на рис. 7) этерифицированы *l*-кумаровой кислотой (δ_H/δ_C 4.30/1.80 м.д.; δ_H/δ_C 4.30/62.0 м.д.) и аналогичными фрагментами FA (δ_H/δ_C 4.05/1.50 м.д.; δ_H/δ_C 4.05/67.5 м.д.). Дополнительным подтверждением является сигнал δ_H/δ_C 4.30/167.4 на НМВС-спектре образца ДЛР (рис. 8), регистрирующий дальние протон-углеродные взаимодействия четвертичного углерода *l*-кумарового фрагмента с протонами в 16-й позиции FA (рис. 7). Также на этом НМВС-спектре выявлены корреляционные сигналы, подтверждающие наличие сложноэфирных связей между цепочками FA (δ_H/δ_C 4.05/172.5 м.д.). Тип связи фрагментов FA с фенилпропановыми звеньями лигнина родиолы розовой по полученным спектрам, установить не удалось. Причинами могут служить как наложение сигналов, так и сравнительно низкая распространенность связей между FA и лигнином. Однако высока вероятность того, что FA являются фрагментами индивидуального компонента клеточной стенки, оказавшегося связанным с лигнином в ходе выделения препарата, поскольку даже процедура переосаждения лигнина из диоксана в диэтиловый эфир не привела к отделению этого компонента.

R=FA или ФПЕ

R'=FA или H

Особенностью лигнина серпухи венценосной является наличие в его структуре этоксильных групп. Это предположение основано на корреляционных сигналах на HSQC-спектре

ДЛС: δ_H/δ_C 1.10/15.0 м.д. (CH₃; эта область спектра не представлена), δ_H/δ_C 3.4/62.5 м.д. (CH₂; рис. 4 а), COSY(не представлен): δ_H/δ_H 1.1/3.4 м.д. Согласно [9], химический сдвиг протонов CH₂-фрагмента этоксильной группы 3.4 м.д. характерен для этоксильной группы в алифатической цепочке фенилпропановых единиц.

Таблица 3

Отнесение сигналов ¹H и ¹³C жирных кислот [23]

Положение	Фрагмент	¹³ C δ, м.д.	¹ H δ, м.д.
1	RO-(C=O)-CH ₂ -	172-175	-
2	RO-(C=O)-CH ₂ -	34.08	2.20
3-8, 12-15	-CH ₂ -	25-32	1.2-1.5
9, 11	-CH ₂ -CH(OH)-	37.40	1.24
10	-CH(-OH)-	73.85	3.69
16	-CH ₂ -OH	62.80	3.63

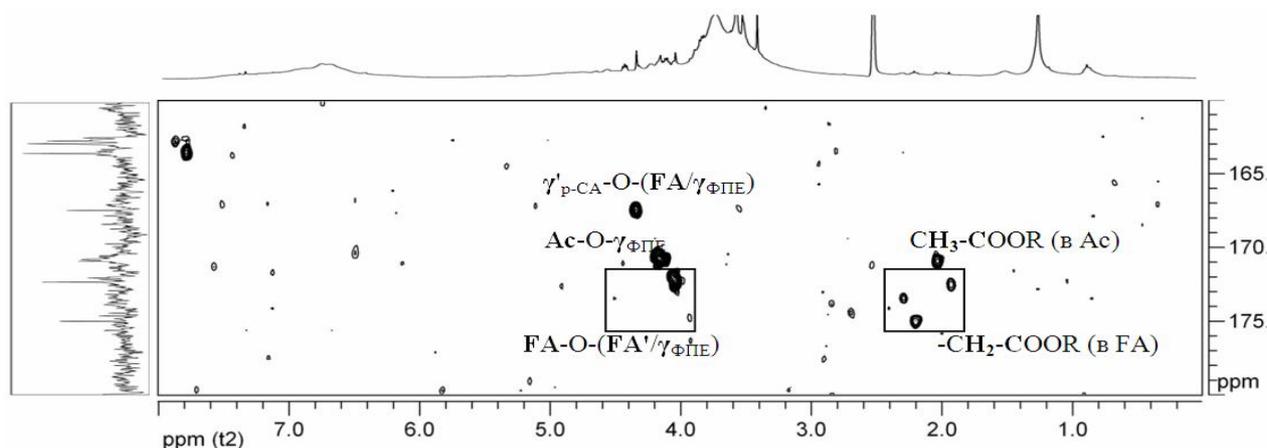


Рис. 8. НМВС-спектр ДЛР область корреляции сигналов атомов сложноэфирных связей.

Закключение

Лигнины, образовавшись в растительной ткани, выполняют разнообразные функции. В зависимости от роли растительной ткани, типа растения и его филогенетического происхождения, эти вещества могут различаться по химическому составу и структуре, но неизменно одно – все они построены из фенилпропановых структурных звеньев, соединенных простыми эфирными и углерод-углеродными связями [24]. Весьма необычно, по сравнению с известными на сегодняшний день лигнинами, выглядит лигнин, выделенный из родиолы розовой. В этом образце не выявлены фенилкумарановые фрагменты, считающиеся характерными для всех лигнинов. В составе этого образца значительную долю занимают длинные насыщенные алифатические цепочки. Предшественниками этого лигнина, помимо трех классических монолигнолов, могут быть кумараты кониферилового и синапового спиртов и, возможно, ацетаты этих спиртов. Лигнин серпухи венценозной не содержит сложноэфирных связей и структур дибензодиоксоцина, но его особенность в том, что в его структуре имеются этоксильные группы в боковой цепочке фенилпропановых единиц.

Работа выполнена в рамках Программы Президиума РАН «Создание и совершенствование методов химического анализа и исследования структуры веществ и материалов» (проект № 12-П-3-1024).

Литература

1. *Лигнины* (структура, свойства и реакции) / Под ред. К. Сарканена, К. Людвиг. М.: Лесная пром-сть, 1975. 632 с.
2. Карманов А.П. Самоорганизация и структурная организация лигнина. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 270 с.
3. Wiegant F., Surinova S., Ytsma E. et al. Plant adaptogens increase lifespan and stress resistance in *C. Elegans* // *Biogerontology*. 2009. Vol. 10. № 1. P. 27–42.
4. Уфимцев К.Г., Ширшова Т.И., Якимчук А.П., Володин В.В. Гормональное, токсическое и адаптогенное влияние экидистероидов *Serratula coronata* L. на личинок *Ephestia Kihniella*. *Zell.* // Растительные ресурсы. 2002. Т. 38. №2. С. 29–39.
5. Avula B., Wang Y. H., Ali Z., Smillie T. J. et al. RP-HPLC determination of phenylalkanoids and monoterpenoids in *Rhodiola rosea* and identification by LC-ESI-TOF // *Biomed Chromatogr.* 2009. Vol.23. № 8. P. 865–872.
6. Ангаскиева А.С., Андреева В.Ю., Калинин Г.И. и др. Исследование химического состава серпухи венценозной, культивируемой в Сибири // *Химия растительного сырья*. 2003. № 4. С. 47–50.
7. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 256 с.
8. Ralph J., Marita J. M., Ralph S. A. et al. Solution-state NMR of lignin // *Advances in Lignocellulosics Characterization*. 1999. P. 55–108.
9. Ralph S.A., Ralph J., Landucci L. NMR database of lignin and cell wall model compounds. Madison, WI, U.S.: Forest Products Laboratory, 2004. (<http://ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid>). 498 p.
10. Ralph J. An unusual lignin from kenaf // *J. Nat. Prod.* 1996. № 59. P. 341–342.
11. Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов их переработки. М.: Химия, 2000. 408 с.
12. Smith D. C. C. Ester groups in lignin // *Nature*. 1955. Vol. 176. P. 267–268.
13. Nakamura Y., Higuchi T. Ester linkage of *p*-coumaric acid in bamboo lignin. III. Dehydrogenative polymerization of coniferyl *p*-hydroxybenzoate and coniferyl *p*-coumarate // *Cellul. Chem. Technol.* 1978. Vol. 12. P. 209–221.
14. Ralph J., Helm, R. F. Lignin/hydroxycinnamic acid/polysaccharide complexes: Synthetic models for regiochemical characterization. In *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*, International Symposium. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, 1993. P. 201–246.
15. Ralph J., Hatfield R. D., Quideau S. et al. Pathway of *p*-coumaric acid incorporation into maize lignin as revealed by NMR // *J. Am. Chem. Soc.* 1994. Vol. 116. P. 9448–9456.
16. Crestini C., Argyropoulos D. S. Structural analysis of wheat straw lignin by quantitative ³¹P and 2D NMR spectroscopy. The occurrence of ester bonds and R-O-4 substructures // *J. Agric. Food Chem.* 1997. Vol. 45. P. 1212–1219.
17. Rio J., Rencoret J., Marques G. et al. Highly acylated (acetylated and/or *p*-coumaroylated) native lignins from diverse herbaceous plants // *J. Agric. Food Chem.* 2008. Vol. 56. No. 20. P. 9525–9534.
18. Ralph J., Lundquist K., Brunow G. et al. Lignins: natural polymers from oxidative coupling of 4-hydroxyphenylpropanoids // *Phytochem.* 2004. No 3. P. 29–60.
19. Landucci L. L., Deka G. C., Roy D. N. A. ¹³C NMR study of milled wood lignins from hybrid *Salix* clones // *Holzforschung*. 1992. Vol. 46. P. 505–511.
20. Sun R. C., Fang J. M., Goodwin A. et al. Fractionation and characterization of ball-milled and enzyme lignins from abaca fibre // *J. Sci. Food Agric.* 1999. Vol. 79. P. 1091–1098.
21. Lu F., Ralph J. Detection and determination of *p*-coumaraloylated units in lignin // *J. Agric. Food Chem.* 1999. Vol. 47. P. 1985–1992.
22. Далимова Г.Н., Абдуазимов Х.А. Лигнины травянистых растений // *Химия природных соединений*. 1994. № 2. С. 160–177.
23. Tsydendambaev V.D., Christie W.W., Brechanu E.Y., Vereshchagin A.G. Identification of unusual fatty acids of four alpine plant species from the Pamirs // *Phytochemistry*. 2004. Vol. 65. P. 2695–2703.
24. Резников В.М., Михасева М.Ф. О филогении лигнина // *Химия древесины*. 1982. № 6. С. 77–87.

Статья поступила в редакцию 28.05.2012.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 612.111: 577.25: 581.198:547.918

АНТИАГРЕГАЦИОННОЕ И СТРЕСС-ЛИМИТИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКДИСТЕРОИДСОДЕРЖАЩЕЙ СУБСТАНЦИИ СЕРПИСТЕН

Н.Б. ПЕТРОВА*, В.В. ВОЛОДИН**

*ФГБОУ ВПО Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар

**Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
nbp1959@yandex.ru

Приведены данные изучения антиагрегационного и стресс-лимитирующего действия экдистероидсодержащей субстанции Серпистен. Показано, что субстанция при длительном применении снижает агглютинабельность эритроцитов крыс и человека, улучшает гемореологию и оказывает гемостимулирующее действие в норме и при стрессорных воздействиях. Эффект реализуется через снижение чрезмерной активности симпато-адреналовой системы.

Ключевые слова: симпато-адреналовая система, адренореактивность, реакция агглютинации эритроцитов, фитоэкдистероиды, Серпистен

N.B. PETROVA, V.V. VOLODIN. ANTI-AGREGATIVE AND STRESS-LIMITIVE ACTION OF ECDYSTEROID-CONTAINING PREPARATION SERPIS-TEN

Data on anti-agregative and stress-limitive action of ecdysteroid-containing Serpisten substance is given. It is shown that at long application Serpisten decreases erythrocytes agglutinability in rats and man, improves hemoreology and has hemostimulating effect in norm and at stress. The effect is realized through suppressing the excessive sympatho-adrenal system activity.

Key words: sympatho-adrenal system, adrenoreactivity, erythrocyte agglutina-bility reaction, phytoecdysteroids, Serpisten

С медико-биологической точки зрения на Севере имеется целый ряд факторов (низкие температуры, жесткий аэродинамический режим, контрастная фотопериодика, повышенная напряженность электромагнитного поля и др.), способных оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека [1]. Жизнь в суровых условиях Севера сопровождается увеличением функциональных нагрузок на организм, определяя тем самым большой риск нарушения или утраты здоровья. Повышение адаптивных возможностей человека к различным повреждающим факторам среды способствует его выживанию и сохранению работоспособности в трудных климатических и профессиональных условиях. Новой стратегией коррекции функциональных расстройств, профилактики заболеваний и сохранения здоровья человека на Севере может быть активное применение препаратов природного происхождения – адаптогенов, которые повышают неспецифическую сопротивляемость организма к неблагоприятным факторам среды и нормализуют нарушенные стрессом функ-

ции. В этом плане перспективными рассматриваются фитоэкдистероиды (ФЭС) и экдистероидсодержащие (ЭС) препараты.

В Институте биологии Коми НЦ УрО РАН разработана технология получения из надземной части серпухи венценосной (*Serratula coronata* L.) ЭС субстанции Серпистен [2], которая представляет собой смесь экдистероидов: 20-гидроксиэкдизона (80%), 25S-инокостерона (11%), экдизона (5%) и некоторых других минорных компонентов. Ранее проведенные испытания физиологической активности субстанции Серпистен показали высокое эрготропное и ЦНС-тонизирующее действие на фоне незначительного анаболического эффекта [3]. Отмечено [4], что экдистероидсодержащие растения, в том числе и серпуха венценосная, в силу мембраностабилизирующего действия ФЭС, могут служить перспективными источниками для разработки эффективных гемореологических средств.

К сожалению, систематических исследований механизма действия ФЭС как участников стрессорного ответа не проводилось. Имеются некоторые

данные о системных ответах, в том числе и крови, а также об изменении внутриклеточных маркеров стресса под действием ФЭС [5, 6]. Строятся гипотетические схемы, как эти изменения могут реализовываться на уровне организма [7]. Предполагается, что многие из позитивных эффектов адаптогенов проявляются через гормоны симпат-адреналовой (САС) и адренкортикальной систем [7]. Однако работ, посвященных изучению действия ФЭС на системы неспецифической адаптации и, в частности, на САС – запускающую и ведущую в первый период стресса – чрезвычайно мало. Хотя актуальность таких исследований очевидна.

Цель настоящей работы – изучение действия ЭС субстанции Серпистен на агрегационные показатели крови, гемореологию и состояние симпат-адреналовой системы у крыс и человека в покое и в условиях стрессорных воздействий.

Материал и методы исследования

Для оценки антиагрегационного действия препарата Серпистен эксперименты выполнены на 3–4-месячных белых беспородных крысах обоего пола (количество животных – 60, масса 166 ± 10 г). ЭС Серпистен вводили внутримышечно в виде 0.3%-ного раствора в 0,9%-ный NaCl. В качестве контроля использовали 0.9 % NaCl (плацебо). Эксперименты по оценке стресс-лимитирующего действия Серпистена проводили на белых беспородных крысах самцах 3–4- и 12-месячного возраста (количество – 35, масса 230 ± 18 г). Имобилизационный стресс вызывали жесткой фиксацией крысы в положении лежа на спине на 15 и 30 мин. Серпистен в дозе 20 мг/кг массы животного вводился внутримышечно за 24 ч. до имобилизационного стресса. Кровь брали методом тотального обескровливания путем декапитации животных после легкого хлороформного наркоза. Все эксперименты проводились с соблюдением биоэтических правил. Кровь стабилизировали гепарином. Крыс делили на группы: интактные, четыре опытные группы (вводили Серпистен однократно на 2 ч. (опыт 1), многократно – 5 дней по 5 мг/кг массы крысы (опыт 2), суммарная доза 25 мг/кг), имобилизационный стресс (опыт 3), Серпистен за 24 ч. до стресса Серпистен+стресс – (опыт 4), контрольные крысы (вводили соответствующий объем 0.9 %-ного раствора NaCl в те же сроки контроль 1 (2 ч.), контроль 2 (5 дней). Кроме этого, в тестировании препарата Серпистен принимали участие добровольцы – юноши и девушки 18–22 лет ($n=15$), которые принимали Серпистен *per os* утром в течение двух недель в дозе 5 мг/сут (период исследования – лето 2008 г). Анализировали венозную кровь (2 мл), взятую до и после двухнедельного приема препарата, в покое и после физической нагрузки. В качестве стрессирующего агента использовали физическую нагрузку – проб Летунова, предназначенную для оценки адаптации организма к работе на выносливость. Показатели периферической крови определяли общепринятыми в лабораторной и клинической практике методами. Агрегационную способность эритроцитов (Эр) оценивали с помощью метода фитогемагглю-

тинации с использованием лектинов – фитогемагглютининов (ФГА). Количественное измерение реакции агглютинации проводили в камере Горяева на 10-, 20-, 30- и 40-й мин. наблюдения [8]. ФГА обладают свойством избирательно связываться с олигосахаридными участками интегральных гликопротеидов мембраны Эр. Результатом развивающегося взаимодействия является склеивание Эр друг с другом – реакция агглютинации Эр (РАЭ). Оценку состояния САС и адренореактивности организма осуществляли с помощью метода фитогемагглютинации в сочетании с пропранололовым (ПП) тестом [9]. У человека состояние САС и адренореактивности организма оценивали с помощью метода фитогемагглютинации в сочетании с ПП-тестом [9] и осмотического гемолиза с добавлением β -адреноблокатора и использованием набора реактивов « β – АРМ» [10].

Статистическую обработку проводили параметрическими и непараметрическими методами. Достоверность различий оценивали по *t*-критерию Стьюдента. Для расчетов и графической обработки данных применяли приложение Microsoft Office 97 Microsoft Excel 8.0.

Результаты исследований и обсуждение

Показатели агрегационной способности эритроцитов и состояние САС крыс при действии Серпистена и физиологического респонса. Об агрегационной способности эритроцитов судили по ФГА-индуцированной РАЭ. У интактных крыс доля агглютинировавших Эр на 10- и 40-й мин. наблюдения составляла 32.2 ± 0.9 и 66.8 ± 1.1 % соответственно. Эр самок более подвержены агглютинации, чем Эр самцов (табл. 1). Достоверные различия ($p < 0.05$) по полу в РАЭ обнаружены на 10- и 30- мин. наблюдения. Очевидно, это связано с различиями в мембранных структурах. Известно, что эритроцитарная мембрана самок крыс более насыщена жирными кислотами, поэтому жесткость ее выше. Кроме того, различия по полу могут быть связаны с окружением Эр, обусловленные гормональным фоном животных, а также содержанием эндогенных агонистов и сенсibilизаторов адренорецепторов [11]. Вероятно, различия в структуре мембраны и гормональном фоне могут определять и особенности реагирования на стресс и введение Серпистена. Под действием ПП у всех крыс РАЭ снижалась независимо от половозрастных различий и гормонального фона. Выраженность и дозозависимость эффекта ПП определяют как состоянием эффекторного звена – β -адренорецепторов на мембранах клеток-мишеней, так и активностью центральных адренергических стрессреализующих структур [12].

Выраженность эффекта ПП на РАЭ у интактных крыс была высокая и составляла на 10- и 40-й мин. наблюдения 36–38 и 14–21 % соответственно. Значительный эффект на ПП свидетельствовал о неактивированном состоянии САС у интактных животных. Выявлена линейная зависимость эффекта ПП от времени его действия: с увеличением

времени действия эффект адreno-блокатора снижался. Полагаем, что подобная зависимость отражает высокую адренореактивность Эр и сохранение нормального функционального состояния адренорецепторов на мембране Эр.

Поскольку Серпистен вводили животным в 0.9%-ном растворе NaCl, необходимо было оценить влияние самих инъекций физиологического раствора на изучаемые параметры. Введенный за 2 ч до забоя раствор 0.9 %-ного NaCl (контроль 1) изменял физико-химические свойства мембраны Эр и состояние САС беспородных крыс. Наблюдалось повышение ФГА-индуцированной агрегации Эр. В ответ на введение физиологического раствора у самок РАЭ повышалась значительно, чем у самок (табл. 1). Такие изменения, очевидно, были вызваны стресс-реакцией, активацией катоксических (стресс-реализующих) механизмов адаптации, повышением уровня катехоламинов крови и выбросом в циркулирующее русло депонированных Эр с нарушенными физико-химическими и сниженными ферментативными свойствами. Очевидно, самцы на стрессорное воздействие реагируют более интенсивно. На активированную САС при введении 0.9 %-ного раствора NaCl указывал значительно сниженный (7–10 %) ответ Эр на ПП. Кроме того, отмечено нарушение линейной зависимости эффекта ПП от времени его действия.

(табл. 1). Ответ Эр на ПП на 10- и 40-й мин. наблюдения колебался в пределах 35–39 и 16–20 % соответственно. Эти данные свидетельствуют в пользу неактивированного состояния САС у животных при однократной инъекции Серпистена за 2 ч. до забоя. Очевидно, что на мембранах Эр этих крыс имеется большое количество адренорецепторов, свободных от катехоламинов, с ними и взаимодействовал ПП. Это означает, что в циркулирующей крови уровень гормонов мозгового слоя надпочечников снижен. На 10- и 20-й мин. наблюдения у самцов, получавших Серпистен, а также на 30- и 40-й мин. у самок эффект ПП на Эр превышал таковой даже для интактных крыс, что может быть обусловлено появлением в сосудистом русле молодых Эр. На быструю стимуляцию эритропоэза (2 ч.) у крыс имеются указания в литературе [13]. Кроме того, известно, что ретикулоциты крыс содержат больше β - адренорецепторов, чем зрелые Эр. Кроме того, у самок, но не у самцов, сохранялась линейная зависимость ПП от времени его действия, что свидетельствовало о сохранении исходных адренореактивных свойств Эр, а следовательно, и адренореактивности других органов и тканей.

Так как эффект Серпистена развивался достаточно быстро (в течение 1–2 ч.), то наиболее вероятным представляется механизм прямого мембранотропного действия препарата. Поскольку

Таблица 1

Влияние Серпистена и 0.9 %-ного раствора NaCl на агрегативность и адренореактивность эритроцитов крыс самцов (верхняя строка) и самок (нижняя строка) в контроле и под действием пропранолола, $X \pm m_x$

Тест	Время, мин.	Интактная группа	Опытная 1 Серпистен 2 ч.	Опытная 2 Серпистен 5 дней	Контроль 1 0.9%-ный NaCl 2 ч.	Контроль 2 0.9%-ный NaCl 5 дней
Контроль (Эр+ФГА)	10	30.3±0.9 34.1±0.9	30.7±1.2 31.1±1.5	25.1±2.0** 29.2±2.8	43.2±2.0** 39.6±1.7*	40.2±1.1** 41.1±1.6**
	20	47.2±0.7 50.2±1.2	43.3±1.1* 44.2±1.2*	39.2±1.2** 43.3±0.9*	54.3±1.2** 56.1±0.9*	51.1±2.0* 53.3±1.6
	30	54.0±0.9 59.0±0.7	52.4±1.0 54.2±1.1*	51.1±1.3 52.1±1.8**	60.0±2.0* 62.0±2.3	66.2±2.2** 57.2±1.1
	40	66.3±1.2 67.4±0.9	67.1±2.1 68.2±2.0	62.5±1.3 60.3±1.1**	71.1±2.2 74.5±1.1**	72.3±1.9 69.3±2.2
Опыт (Эр+ФГА+ПП)	10	19.3±1.1 21.1±1.8	18.8±1.1 20.2±1.1	15.1±2.0 18.2±1.2	40.2±1.1** 35.7±1.2**	36.2±0.9** 38.2±1.1**
	20	31.2±0.9 39.9±1.1	23.5±1.1** 30.4±1.1**	21.3±1.8 30.1±1.1**	49.6±1.1** 51.1±1.1**	48.4±1.1** 46.8±1.1**
	30	41.1±1.4 49.7±2.4	46.2±1.2* 43.3±1.2	34.1±1.1** 34.6±1.1**	57.4±2.0** 58.0±2.1*	59.1±1.2** 46.8±1.1**
	40	52.3±1.1 58.2±1.6	56.1±2.2 54.2±1.3	48.4±2.2* 42.2±1.2**	64.2±1.3** 68.2±1.1**	64.7±1.3** 59.3±1.4

Примечание: разница статистически значима между реакцией агрегации эритроцитов крыс интактной и экспериментальных групп при $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**).

Серпистен, введенный за 2 ч. до забоя (опыт 1), в отличие от NaCl снижал ФГА-индуцированную агрегацию Эр. РАЭ у крыс, получавших Серпистен, вне зависимости от пола, на 10- и 40-й мин. составляла 30.9±1.3 и 67.4±2.0% соответственно

зрелые Эр – безъядерные клетки, очевидно, это влияние осуществляется внегеномно на структуры липидно-белкового комплекса мембраны, сопрягающие факторы β-адренорецепторов и внутриклеточные механизмы трансдукции гормонального сигнала. В опытах *in vitro* на клетках крови, нейрочитах, миоцитах животных и человека было показано прямое влияние ФЭС на функциональное состояние клеточной и внутриклеточных мембран, механизмы взаимодействия с рецепторами и ионный транспорт [4, 13, 14]. По нашему мнению, изменение физико-химических параметров Эр может быть не столько следствием мембранотропного действия Серпистена, сколько опосредованным его действием через центральную нервную систему, в том числе и через структуры управления стресс-реакцией с вовлечением в процесс синтаксических механизмов. Так, А.В. Коцюруба с соавт. [14] показали, что максимум накопления ФЭС в тканях го-

лового мозга наступает через 2 ч. после его введения крысам.

При длительном (в течение 5 дней) введении 0.9 %-ного NaCl (контроль 2) у самцов РАЭ оставалась повышенной на 10–30 мин. наблюдения, у самок – лишь на 30 мин. по сравнению с интактными крысами (табл. 1). Судя по реакции на ПП, состояние САС оставалось активированным, а адренореактивность – нарушенной. Последнее, вероятно, связано с повторяющейся ежедневной процедурой введения NaCl путем инъекции. Таким образом, действие NaCl сходно с действием стрессирующих факторов, таких как, например, кровопотеря, физическая нагрузка, приводящих к сильным «возмущениям» как в системе крови, так и во всем организме.

Серпистен при многократном введении не только устранял негативное влияние NaCl, но и препятствовал активации САС, вероятно, активируя холинергические структуры гипоталамуса и запуская синтоксические (сдерживающие стресс) системы адаптации. РАЭ опытных групп оставалась сниженной у самцов на 10–20, у самок – на 20–40 мин. наблюдения по сравнению с интактными и на всех минутах по сравнению с контрольными крысами (табл. 1). Ответ на ПП колебался в пределах на 10- и 40-й мин. наблюдения 38–40 и 23–30 % соответственно. Эффект на ПП Эр крыс опытной группы 2 превышал таковой у интактных животных.

Показатели агрегационной способности эритроцитов и состояние САС крыс при действии Серпистена в условиях иммобилизационного стресса. Показано, что стресс значительно дестабилизировал мембрану Эр. Агглютинабельность Эр увеличивалась на 39 – 134 % на 10-й мин. наблюдения (в зависимости от продолжительности стрессирования). Кратковременный 15-минутный стресс оказывал на РАЭ большее влияние, чем 30-минутный. Серпистен, введенный за 24 ч. до стресса, оказывал защитный эффект на мембрану Эр. Агглютинабельность Эр у серпистеновых крыс не отличалась после стресса от этого показателя у интактных животных (табл. 2).

Таблица 2

Влияние стресса и Серпистена на агрегатабельность и адренореактивность эритроцитов крыс в контроле (верхняя строка) и под действием пропранолола (нижняя строка), $X \pm \sigma$

Время, мин	Группа животных		
	Интактные	Стресс	Серпистен+стресс
10-я	27.4 ± 3.9	49.1 ± 6.5*	28.5 ± 8.5**
	21.8 ± 6.8	41.5 ± 4.4	19.4 ± 8.5
20-я	32.1 ± 5.0	57.2 ± 6.5*	40.0 ± 4.6**
	26.9 ± 4.4	52.0 ± 4.1	30.5 ± 7.6
30-я	41.8 ± 5.3	61.7 ± 6.6*	53.1 ± 4.5**
	33.8 ± 3.6	54.7 ± 5.1	41.9 ± 7.2
40-я	56.0 ± 3.0	68.1 ± 6.8*	58.9 ± 1.2**
	43.9 ± 2.4	60.2 ± 6.3	48.4 ± 4.3

Примечание: разница статистически значима между реакцией агглютинации эритроцитов крыс интактной и стрессовой групп при $p < 0.001$ (*), стрессовой и группы Серпистен + стресс при $p < 0.01$ (**).

При любых видах стресса резко меняется соотношение синтоксических и катоксических механизмов в сторону преобладания последних. Показано, что активность САС – системы быстрого реагирования – при иммобилизационном стрессе у крыс значительно возрастает. Выраженность реакции Эр на ПП в пределах 2–4 % у 3–4-месячных и 9–11 % – у 12-месячных крыс, что свидетельствует о значительной активации катоксических механизмов, в первую очередь, у молодых животных. Серпистен, введенный за 24 ч. до стресса, снижал активность САС в основном у более зрелых крыс. Так, выраженность реакции Эр на ПП у 12-месячных крыс опытной группы 3 возрастала на 10- и 40-й мин. наблюдения до 32 и 18 % соответственно. У молодых животных Серпистен незначительно снижал активность САС. Выраженность эффекта ПП была в пределах 10–12%. Очевидно, однократное введение препарата у молодых животных не устраняло чрезмерной активации САС, однако факт снижения агглютинабельности Эр в условиях стресса подтверждает позитивное гемореологическое влияние Серпистена.

Влияние Серпистена на показатели периферической крови и активность САС человека. Количественные и качественные показатели периферической крови отличались в контроле у юношей и девушек и соответствовали общепринятым клиническим нормам для здоровых людей. Параметры фитоагглютинации Эр по полу не различались и составляли у юношей на 10-й мин. наблюдения 29.0±4.7 %, у девушек – 37.0±3,2 %; на 40-й мин. 59.0±4.4 % и 64.0±3.1 % соответственно. Адренореактивность организма (β -АРМ) в группе исследуемых лиц в покое была выше нормальных величин, характерных для неактивированной САС (2–20 усл. ед.) и составляла 30.5±3.4 усл.ед. (13–46 усл. ед.). Показатели выше нормы отмечены у 75 % испытуемых. Очевидно, это связано с более высокой частотой встречаемости гиперadrenergического состояния у северян.

Физическая нагрузка, независимо от пола, достоверно увеличивала количество Эр, гематокрит, вязкость крови, но при этом наблюдалось снижение средноклеточного объема Эр и средноклеточного содержания в них гемоглобина. Указанные изменения отражают выброс депонированной крови в ответ на физическую нагрузку. Агглютинабельность Эр при физической нагрузке увеличивалась в среднем в 1.5 раза. Активность САС повышалась, β -АРМ увеличивалась в среднем на 34 % и составляла 41.0±3.4 усл. ед. (19–49 усл. ед.).

Показатели периферической крови испытуемых после двухнедельного приема препарата Серпистен изменялись. В покое отмечалось снижение количества Эр у 86 % испытуемых. Однако гематокрит и гемоглобин достоверно не изменились по сравнению с исходными данными до приема препарата. У всех испытуемых имела место интенсификация эритропоэза, на что указывало увеличение абсолютного количества ретикулоцитов и относительного количества (‰) ретикулоцитов III и IV степеней зрелости. Ранее на крысах был выявлен

гемостимулирующий эффект Серпистена [13]. У человека нами это показано впервые. Не обнаружено однонаправленного действия препарата на агрегационные свойства Эр. Агглютинабельность Эр под действием препарата снижалась лишь у половины обследованных лиц. Показатели β -АРМ после приема Серпистена уменьшались у 73 % испытуемых и приближались к нормальным величинам, что отражало снижение общей десентизации клеточных мембран.

После приема препарата Серпистен изменилась реакция показателей крови на физическую нагрузку. Она стала менее выраженной, чем до приема препарата. Эритроцитоз, увеличение гематокрита, вязкости крови, уменьшение среднеклеточного объема Эр были незначительными. Показатели фитоагглютинации в ответ на нагрузку оставались относительно стабильными и даже снижались у 62 % испытуемых. В целом по группам (юноши, девушки) наблюдали уменьшение стресс-индуцированной агрегации Эр (рисунок). Снижалась также выраженность активации САС в ответ на физическую нагрузку.

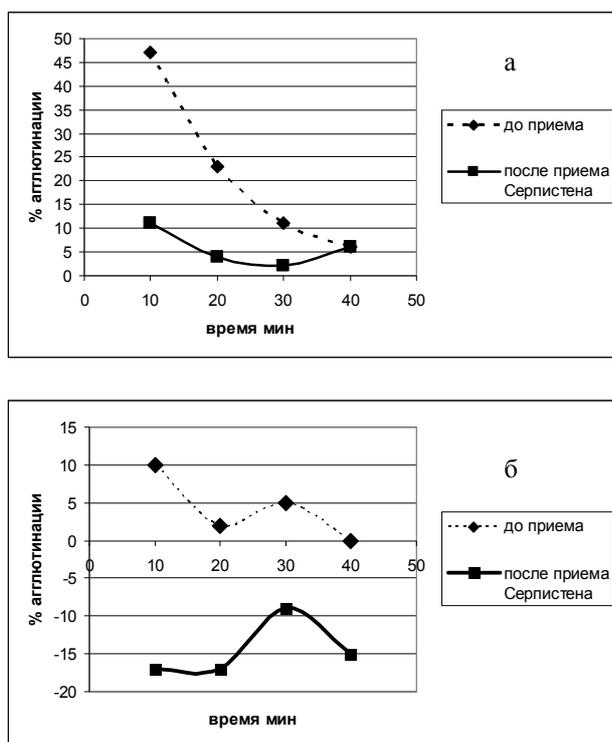


Рис. Влияние физической нагрузки на РАЭ у юношей (а) и девушек (б) до и после приема препарата Серпистен. За нулевой уровень принята реакция агглютинации эритроцитов человека в покое.

Таким образом, действие субстанции Серпистен на параметры периферической крови человека было неоднозначно и, очевидно, зависело от состояния центральных механизмов регуляции стресс-реакции. Проявлялась общая направленность эффекта Серпистена – снижение ответа на стрессорное воздействие. По-видимому, в условиях стресса основное влияние Серпистен оказывает на

центральные структуры реализации стресс-реакции, в результате чего уменьшается уровень медиаторов стресса (в том числе и катехоламинов), выброс депонированной крови с Эр, обладающими нарушенными морфофизиологическими характеристиками. Из литературы известно, что введение фитоэкдистерона крысам активизировало холинергические структуры мозга, в результате чего в подбугорье снижалась концентрация ацетилхолина и reciprocally увеличивалась концентрация норадреналина [15]. Одновременно в гипоталамусе возрастала концентрация ГАМК, которая играет роль неспецифического тормозного механизма, ограничивающего стрессовую реакцию и предупреждающую стрессорные повреждения. Кроме того, в циркулирующей крови уменьшался уровень медиаторов стресса: адреналина и норадреналина, и наблюдалось повышение ацетилхолина и серотонина [15]. S. Tsujiyama с соавторами [16] указывал, что ФЭС обладают способностью балансировать процессы возбуждения и торможения за счет потенциации возбуждения ГАМК – рецепторов, с одной стороны, и облегчения синаптического проведения, с другой. Кроме того, 20-Е ограничивает повреждающее действие на адренергические нейроны возбуждающего нейромедиатора глутамата [15]. При экспериментальном испытании ЭС субстанции Серпистен также был отмечен ее тонизирующий эффект на центральную нервную систему, который проявлялся в ускорении ориентировочно-исследовательской реакции и стимуляции памяти у животных, получавших субстанцию в течение 10 дней [3].

Сопоставляя полученные результаты и анализируя имеющиеся в литературе данные, приходим к выводу, что действие ФЭС, в том числе и Серпистена, реализуется через центральные механизмы формирования стресс-реакции и стресс-устойчивости. По нашему мнению, перестройка регуляторных механизмов связана с активацией синтоксических механизмов с переключением энергетической компоненты на белковый синтез (как в центральных, так и в эффекторных органах) с последующим формированием систем с более мощной энергетической емкостью и высокими функциональными резервами.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» (проект № 12-П-4-1023: «Научные основы создания адаптогенных и геропротекторных средств растительного происхождения»).

Литература

1. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
2. Патент РФ № 2153346, Россия, МКИ³ А61К 35/78. Способ получения экдистероидов / В.В. Володин, С.О.Володина; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. № 99106351/14; заявл. 29.03.99; опубл. 27.07.2000. Бюл. №21.

3. *Алексеева Л.И., Ануфриева Э.Н., Володин В.В. и др.* Фитоэкдистероиды. СПб.: Наука, 2003. 293 с.
4. *Васильев А.С., Плотников М.Б., Алиев О.И. и др.* Гемореологическая активность экстракта из надземной части *Serratula coronata* (Asteraceae) // Раст. ресурсы. 2008. №1. С. 104–109.
5. *Панасян А., Албарцумян М., Ованиссян А., Викман Г.* Адаптогены модифицируют ответ на стресс в результате угнетения увеличения протеинкиназы (P-SARK), оксида азота и кортизона в крови кроликов // Фитофарм 2006: Матер. X Междунар. съезда. СПб., 2006. С. 505–506.
6. *Andreeva L.I., Boykova A.A., Volodin V.V.* Physiological and cellular effects of phytoecdysteroid preparation *Serpisten* under heat stress in rats // Proceedings of the XIV International Congress PHYTOPHARM. 2010. St.-Petersburg, 2010. P.13.
7. *Panosian A., Wikman G., Wagner H.* Plant adaptogens III. Earlier and more recent aspects and concepts on their mode of action // *Phytomed.* 1999. Vol. 6 (4). P. 287–300.
8. *Мойсеенко Н.А., Иржак Л.И.* Агглютинация эритроцитов кролика при напряженном эритропоэзе // Журн. общей биологии. 1972. Т. 33. № 6. С.779–786.
9. *Патент № 2310196, Россия, МПК G01N33/48(20006/01 RU 2310196 С2.* Способ определения функциональной активности симпатoadrenalовой системы / Н.Б.Петрова, Н.А.Мойсеенко, В.В. Володин; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; № 2005141125/15.28. 122005; заявл. 10.07.2007; опубл. 10.11.2007. Бюл. № 31.
10. *Длусская И.С., Стрюк Р.И.* Новый метод прогнозирования и оценки эффективности β -адреноблокаторов у больных гипертонической болезнью // Кардиология. 1997. № 8. С. 110–130.
11. *Циркин В.И., Ноздрачев А.Д., Дворянский С.А. и др.* Эндогенный сенсibilизатор β -адренорецепторов // Вестник СПбГУ. 1997. Сер.3. Вып. 1. С.74–84.
12. *Шишкина Г.Т., Дыгало Н.Н.* Молекулярная физиология адренергических рецепторов // Успехи физиол. наук. 1997. Т. 28. № 1. С. 61–70.
13. *Мойсеенко Н.А., Петрова Н.Б., Иванкова Ж.Е., Репина Е.Н.* Действие фитоэкдистероидов на количественные и качественные показатели крови млекопитающих в норме и при экспериментальных воздействиях // Вестник СГУ. Сер. Физика. Химия. Биология. 2006. Вып. 1. С.122–137.
14. *Коцюруба А.В., Буханевич О.М., Мегедь О.Ф. и др.* C_{27} -стероїдні гормони екдистерон та кальцитріол активують фосфоїнозитольний цикл у мембранній фазі дії // Укр. біохім. журн. 1999. № 1. С. 27–32.
15. *Карасева Ю.В., Морозов В.Н., Хадарцев А.А. и др.* Фитоэкдистерон и синтоксические программы адаптации // Эколого-физиологические проблемы адаптации: Матер. XI Международного симпозиума. М., 2003. С. 229–231.
16. *Tsujiyama S, Ujihara H, Ishihara K, Sasa M.* Potentiation of GABA-induced inhibition by 20-hydroxyecdysone, a neurosteroid, in cultured rat cortical neurons // *Jap. J. Pharmacol.* 1995. Vol. 68. P. 133–136.

Статья поступила в редакцию 27.02.2012.

УДК 579.66

ИМПУЛЬСНЫЕ АППАРАТЫ И ПЕРСПЕКТИВА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИИ*

А.Е. СЫЧЁВ, В.А. СЫЧЁВ, Г.И. ВОРОБЬЁВА, А.И. ЗАЙКИНА, Р.А. РОГАЧЕВА

ОАО «ГосНИИ Синтезбелок», г. Москва
gvorobieva@yandex.ru

Биореакторы (ферментёры) составляют основу микробиологического производства различных продуктов. Разработана и предлагается к использованию конструкция импульсного аппарата, характеризующегося интенсивным массообменом и невысоким расходом электроэнергии.

Ключевые слова: ферментёр, импульсный аппарат, массообмен, энергозатраты, кормовые дрожжи

A.E.SYCHEV, V.A.SYCHEV, G.I.VOROBYOVA, A.I.ZAIKINA, R.A.ROGACHEVA. PULSE DEVICES AND PROSPECTS OF THEIR USE IN BIOTECHNOLOGY

Bioreactors (fermenters) form the basis of microbiological production of various products. The design of the pulse device characterized by intensive mass transfer and low power consumption is developed and proposed for use.

Key words: fermenter, switching apparatus, mass transfer, power consumption, feed yeast

Интенсификация и эффективность производственных процессов в значительной степени определяются уровнем оснащения современным оборудованием. В областях биотехнологии, химии, экологии первостепенное значение имеет ферментационное оборудование, в частности аппараты. Правильный выбор или разработка конструкции новых аппаратов приобретает большое значение, поскольку они определяют мощность всего производства и себестоимость готового продукта.

В конструкциях ферментёров важными элементами являются: хорошее диспергирование воздуха, равномерная и эффективная циркуляция (распределение) диспергированной массы внутри аппарата, а также отвод тепла. Известны следующие основные типы аппаратов отечественного производства: барботажный (трубчатый и коробчатый), эрлифтный (типовой), эрлифтно-периферийный, эрлифтно-многозонный, многозонной конструкции, колонный, горизонтальный с самовсасывающими мешалками, эжекционный, дрожжерастильный АДР-1250, АДР-900-76, АДР-200, Б-50 и другие [1, с. 9, 35]. Из зарубежных моделей известны аппараты фирм «Леф-

рансуа» (Франция), «Хепос» (Чехия) и «Уде-Хекс» (ФРГ), аппараты конструкции «УкрНИИСП» (Украина), концернов «IC» и «БП» (Великобритания), колонный аппарат фирм «Мицубиси» (Япония) и «Ликвихимик биосинтез» (Италия), струйный аппарат «ИЦ» (Германия), аппарат системы «Фогельбуша» (Австрия), шаровой аппарат фирмы «Хемап» (Швейцария) и другие [1–3].

Несмотря на большое разнообразие промышленных биореакторов, создаваемых различными фирмами, их можно подразделить на три основные группы в зависимости от системы перемешивания: аппараты с механическим, барботажным и эрлифтным перемешиванием. Биореакторы с механическим перемешиванием характеризуются тем, что воздух подают под давлением через распределитель, представляющий собой кольцо с множеством маленьких отверстий. При этом образуются мелкие пузырьки воздуха и за счёт механического перемешивания обеспечивается их равномерное распределение внутри аппарата. Для этой же цели используются мешалки, которые, разбивая крупные пузырьки воздуха, разносят их по всему реактору.

*Журнал «Известия Коми научного центра УрО РАН» не нацелен на публикацию статей по разработке новой техники и аппаратуры. В статье А.Е. Сычёва с соавторами редколлегия обратила внимание не столько на новизну технического решения, сколько на тот революционный прорыв, который эти аппараты могут сделать в развитии отечественной биотехнологической промышленности. В связи с имеющимся большим потенциалом и перспективами развития биотехнологии в Республике Коми публикация данной статьи представляется актуальной и своевременной. В последующих номерах журнала будут опубликованы результаты научных исследований с использованием описанного в статье импульсного аппарата.

Эффективность распределения воздуха зависит от типа мешалки, числа её оборотов и физико-химических свойств используемой среды. При интенсивном перемешивании часто имеет место вспенивание, поэтому рабочий объём биореакторов такого типа не превышает 55%.

Биореакторы с барботажной системой воздухо-распределения отличаются тем, что перемешивание в них осуществляется восходящими потоками воздуха, который подают под высоким давлением в нижнюю часть биореактора через барботёры, которые представляют собой воздушные трубы с отверстиями диаметром 0,1–0,2 мм. Подача воздуха под большим давлением приводит к сильному пенообразованию, поэтому рабочий объём биореакторов такого типа также не превышает 55%.

Биореакторы с эрлифтной системой воздухо-распределения характеризуются тем, что воздух подают через центральную трубу, которая обеспечивает внутреннюю циркуляцию жидкости за счёт внешней системы циркуляции, которая осуществляется также с помощью труб, установленных снаружи аппарата.

Перечисленные типы аппаратов являются дорогостоящими, энергоёмкими и имеют недостаточную производительность. Исключение составляют аппараты АДР-1250, АДР-900-76, АДР-200, Б-50 с высоким массообменом и удельной производительностью 2–2,5 кг/м³/час. Конструкция этих аппаратов была специально разработана для организации крупнотоннажного производства кормового белка на основе очищенных жидких углеводов. Например, аппарат Б-50 представляет собой цилиндрическую ёмкость объёмом 900 м³, разделённую на 12 секций. В каждой секции установлено перемешивающее и аэрирующее устройство, работающее по принципу эжекционной турбины, всасывающей воздух из атмосферы и при движении (вращении) её происходит перемешивание воздуха с жидкостью. При вращении турбины жидкость на выходе, обладая большой энергией, создаёт разрежение. В разрежённую зону подсасывается воздух из атмосферы по трубопроводу, соединённому с ёмкостью аппарата. В этой зоне происходит интенсивное смешение и насыщение кислородом. Мощность электродвигателя, установленного для привода каждой турбины, составляла 315 кВт.

Внедрение этих аппаратов в промышленное производство позволило получать на восьми действовавших в СССР крупнотоннажных заводах БВК (белково-витаминный концентрат) более 1 млн. т в год кормовых дрожжей для животноводства.

Однако в современных условиях при переходе на свободные цены на энергоносители, конструкция данных аппаратов оказалась неконкурентоспособной из-за большого потребления электроэнергии: затраты электроэнергии составили 10 кВт на 1 м³ жидкости или в пересчёте на 1 т белкового продукта 2800–3000 кВт. Таким образом, микробиологические производства на сегодняшний день не обеспечены экономически целесообразными промышленными аппаратами.

В связи с изложенным, большое практическое значение приобретают импульсные аппараты, имеющие принципиально иное конструирование,

обеспечивающее низкие энергозатраты при сохранении технологических показателей. Первые работы по импульсным аппаратам были выполнены А.А. Долинским с соавторами [1], которые сконструировали ферментёр, работавший на импульсной подаче воздуха в аппарат. Существенное отличие импульсного аппарата от всех известных заключается в резкой интенсификации взаимодействия поверхности контакта фаз (вода–воздух), что позволило существенно увеличить перенос газа в жидкую фазу. Это достигается периодической подачей из импульсатора в массообменный аппарат газо-жидкостной эмульсии. Управление интенсивностью массообмена осуществляется изменением частоты впуска и выпуска воздуха (цикличности) и его давлением. Частота пульсаций составляет 40–200 мин⁻¹, скорость движения газо-жидкостной эмульсии – 3–7 м/с.

Результаты и обсуждение

В основе настоящих разработок была использована идея импульсного перемешивания, однако в отличие от описанного выше аппарата, взаимодействие газо-жидкостных фаз (вода – воздух) было обратным. То есть, известные импульсные ферментёры использовали движение жидкой фазы под давлением воздуха. В наших разработках, наоборот, процесс перемешивания протекает за счёт передвижения самой жидкой фазы. Импульсный аппарат предлагаемой конструкции включает две одинаковые по объёму горизонтально расположенные герметические ёмкости, снабжённые патрубками для подачи и отвода жидкой фазы, а также барботёрами для постоянной подачи сжатого воздуха. Перемешивание жидкой фазы из одной ёмкости в другую по переливным трубам осуществляется посредством устройства для поочередного отвода отработанного воздуха. Устройство содержит электромагнитные клапаны, управляемые посредством реле времени или другим устройством, например, датчиком уровня жидкости в аппарате. Через заданное время реле подаёт сигнал на открытие электромагнитного клапана и отработанный воздух отводится в атмосферу из одной ёмкости аппарата, в котором давление выше. При этом давление в этой ёмкости аппарата снижается и жидкая фаза перетекает из неё в другую ёмкость, после чего электромагнитный клапан закрывается. Далее этот же процесс протекает в другой ёмкости, и таким образом за счёт движения (перетекания) жидкостной фазы из одной ёмкости в другую происходит перемешивание.

В качестве примера на рис. 1–4 представлена принципиальная схема наиболее совершенной конструкции импульсного аппарата для выращивания микроорганизмов:

- рис. 1 – фронтальный вид аппарата;
- рис. 2 – вид аппарата сверху по А-А (см. рис. 1);
- рис. 3 – разрез аппарата по Б-Б (см. рис. 1);
- рис. 4 – разрез аппарата по В-В (см. рис. 1).

Аппарат работает следующим образом. Через патрубок (5) в ёмкости (1) и (2) подаются питательная среда и засевная культура, через барботёры (16) и (17) – воздух. Ёмкости (1) и (2) разделены

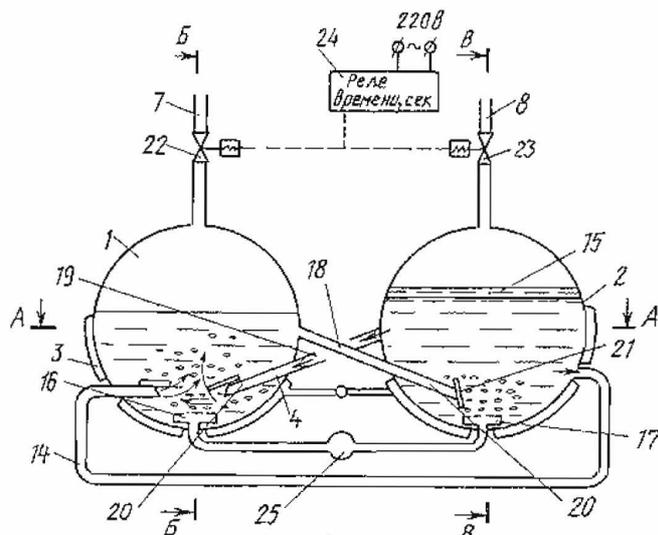


Рис. 1. Фронтальный вид аппарата.

на зоны (секции в количестве 4 и более в зависимости от конкретной задачи) для обеспечения оптимального массообмена. Переток культуральной жидкости осуществляется через переливные трубы (18) и (19) в виде струй из ёмкости в ёмкость при переменном изменении давления воздуха в них.

С помощью электромагнитного клапана (22) на выпускном патрубке (7) ёмкости (1), который посредством реле времени (23) через определённый интервал открывается, отработанный воздух выводится из неё. За счёт снижения давления в ёмкости (1) культуральная жидкость перетекает из ёмкости (2), в которой давление воздуха выше, в ёмкость (1) по трубе (19).

Затем клапан (22) закрывается и в ёмкости (1) давление воздуха повышается. Через заданное время от реле (24) поступает сигнал на открытие электромагнитного клапана (23) на выпускном патрубке (8) ёмкости (2), и отработанный воздух удаляется в атмосферу, в результате чего давление внутри ёмкости (2) снижается и происходит переток культуральной жидкости из ёмкости (1) в ёмкость (2). Такое перетекание культуральной жидкости из ёмкости в ёмкость осуществляется в течение всего процесса выращивания. Температурный режим в ёмкостях поддерживается при помощи теплообменной рубашки (3). Кроме того, из ёмкости (2) по циркуляционному трубопроводу (14) культуральная жидкость непрерывно поступает в зону (11) подачи питательной среды ёмкости (1), что обеспечивает постоянное инокулирование микроорганизмов в питательную среду (см. рис. 2). Культуральная жидкость после окончания процесса выращивания отводится из зоны (13) через патрубков (6). Переливная перегородка (15) позволяет поддерживать в ёмкостях стабильный заданный уровень жидкости.

Интенсификация импульсного перемешивания и, следовательно, увеличение массообмена аппарата зависят от частоты цикличности взаимного вертикального перемещения суспензии сверху вниз аппарата. В процессе разработок импульсных аппаратов нами применён ряд конструкций новой

системы, отличающийся меньшим количеством циклов, задаваемых реле времени. Были испытаны различные количества циклов перекачки жидкостной фазы от 3 до 0,1 мин⁻¹. В результате установлено, что наиболее оптимальным является интервал времени от 2 до 0,5 мин⁻¹, который обеспечивает наилучшие условия перемешивания. Оптимизация цикличности перемешивания позволила интенсифицировать процесс массообмена за счёт постоянного обновления поверхности контакта фаз. Объёмный коэффициент массообмена при этом увеличился в три-пять раз при одновременном уменьшении расхода воздуха в два раза [4].

Дальнейшее совершенствование конструкций импульсных ап-

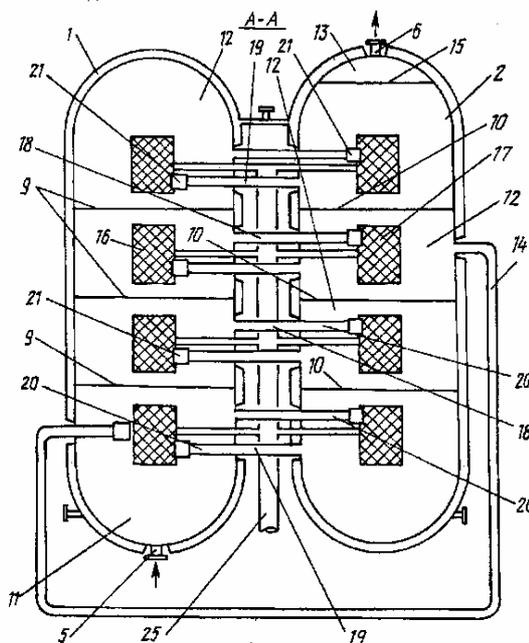


Рис. 2. Вид аппарата сверху по А-А (см. рис. 1).

паратов было направлено на достижение идеального смешения и идеального вытеснения суспензии, что позволило осуществлять процессы выращивания в непрерывном режиме [5].

В соответствии с разработанными конструкциями были изготовлены аппараты различной ёмкости и геометрической формы (см. рис. 1) для лабораторных (объёмом 7 л), камеральных (0,06; 0,2; 2,0 м³) и промышленных условий (60–100 м³).

Ниже приведены примеры испытаний и промышленного применения импульсных аппаратов в различных процессах стерильного и нестерильного выращивания микроорганизмов при различных условиях аэрации (окисления или брожения), а также для очистки стоков и в химической промышленности.

В импульсном аппарате объёмом 60 л (по рис. 1) в камеральных условиях проведен процесс

выращивания дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* ВСБ-193 на ферментализате муки пшеничной, подвешенной к размалыванию до размера частиц 20–60 мкм. Непрерывный процесс выращивания осуществляли отъемно-доливным способом. Концентрация сухих веществ в аппарате составляла 2,0–3,5%, содержание редуцирующих веществ (pB) – 2,5–3,0%. Процесс вели в течение трех суток. Расходный коэффициент (весовое отношение использованного субстрата к количеству полученного готового продукта) варьировал 1,1–1,2. Культуральную суспензию в конце процесса выращивания отделяли на центрифуге. Осадок лиофилизировали. Содержание сырого протеина в готовом продукте составило 42,8%.

На Кстовском ОПЗ БВК в разные годы были проведены испытания импульсных аппаратов различных объемов, начиная от лабораторных, камерных моделей и кончая промышленными аппаратами. Дрожжи рода *Candida* выращивали на минеральной среде с *n*-парафинами (2%) на импульсных аппаратах объемами 0,2 м³ и 2,0 м³ (по рис. 1). Контролем служил стандартный, ранее применяемый в микробиологической промышленности, ферментер с механическим перемешиванием объемом 6,3 м³, снабженный циркуляционным насосом для обеспечения перемешивания по типу эрлифтного барботажа. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели процессов выращивания дрожжей на экспериментальных образцах импульсного аппарата и в промышленном ферментёре

Параметры	Контрольный аппарат (аппарат с мешалкой), V 6,3 м ³	Импульсный аппарат, V 0,2 м ³	Импульсный аппарат, V 2,0 м ³
Начальная концентрация сухих веществ, г/л	4,2	4,2	4,2
Конечная концентрация сухих веществ, г/л	7,8	8,0	12,0
Удельный расход воздуха на аэрацию среды	1 м ³ /м ³ /мин.	1 м ³ /м ³ /мин.	1 м ³ /м ³ /мин.
Время выращивания, ч.	14	2,5	4

Согласно полученным результатам, время удвоения концентрации биомассы в контрольном аппарате составило 14 ч., в импульсных аппаратах объемом 0,2 м³ – 2,5 ч.; объемом 2,0 м³ концентрация биомассы практически была удвоена за 4 ч.

Промышленный образец импульсного аппарата объемом 12 м³ и рабочем объеме 6,3 м³ (по рис. 1) был испытан в периодическом режиме выращивания дрожжей *Candida guilliermondii* ВСБ-569. Амплитуда колебаний уровня культуральной жидкости составляла 1,2 м, частота колебаний – 1,5 в минуту, расход воздуха 1000 м³/час, давление в

аппарате (избыточное) – 0,3–0,15 кг/см² (0,03–0,015 МПа). Для подачи воздуха использовали воздушодувку ТВ- 80х1,4 производительностью 5000 м³/час при мощности 55 кВт. Для сравнения по потребляемой мощности и времени накопления биомассы был принят промышленный аппарат объемом 10 м³ с эжекционным распределением воздуха (ферментер Б-50). В результате проведенных испытаний выявлено, что затратная мощность промышленного аппарата достигла 40 кВт, импульсного – 10. Время накопления биомассы до 25 г/л в промышленном аппарате составило 11 ч., в импульсном – 5.

На Кстовском ОПЗ БВК в течение трёх лет также были проведены сравнительные испытания и промышленная эксплуатация импульсного аппарата объемом 100 м³ (рабочий объем 50 м³) (по рис. 1). При работе в непрерывном режиме выращивания дрожжей на *n*-парафинах (2 % объёмн.) получена часовая производительность 150 кг прессованных дрожжей, удельный съём 2,6 кг/ч/м³. Расход воздуха при этом составил 5000 м³/час при давлении 0,6 кгс/см². Контрольный аппарат Б-50 эжекционного типа объемом 250 м³ (рабочий объем 110 м³) имел часовую производительность 130 кг прессованных дрожжей, удельный съём 1,4 кг/ч/м³. При этом расход воздуха при том же давлении достигал 17000 м³/час, т.е. практически в три раза больше. Расход электроэнергии на 1 кг биомассы составил 0,5 кВт при работе на импульсном аппарате и 45 кВт при работе аппарата Б-50, т.е. расход электроэнергии в промышленном аппарате был в девять раз больше.

На Ливанском (Латвия) опытном биохимическом заводе были проведены камеральные испытания импульсного ферментёра объемом 2,0 м³ (по рис. 1) при объеме культуральной среды 1,2 м³ для получения лизина. Ферментацию осуществляли с использованием штамма бактерий *Brevibacterium* sp. E-531. Процесс протекал в течение 72 ч. на мелассной среде при исходной концентрации сахара 9,2% и в конце процесса 3,2%. Концентрация лизина составила 31,7 г/л, скорость биосинтеза – 0,44 г/л/час, коэффициент конверсии сахара в лизин – 50% (0,5). По данным У.Э. Виестура [1], в аппаратах с механическим перемешиванием на том же заводе эти показатели составили 80 ч., скорость биосинтеза лизина – 0,32 г/л/час и коэффициент конверсии сахара в лизин – 45% (0,45).

Импульсный промышленный аппарат, представляющий собой два спаренных промышленных ферментёра единичной ёмкостью 30 м³ (по рис. 1), был испытан в течение семи месяцев на Ливанском биохимическом заводе (ОБХЗ) при удельном расходе воздуха 0,9 м³/м³ питательной среды для производства лизина. В качестве контрольных аппаратов использовали два промышленных ферментёра с механическим перемешиванием ёмкостью по 30 м³ при том же расходе воздуха. Результаты испытаний представлены в табл. 2. Согласно полученным данным, по всем трём показателям импульсный аппарат имел преимущества: продолжительность ферментации сокращена на 20%, концентрация лизина повышена на 12,96%, скорость накопле-

Таблица 2

Сравнительные показатели процессов производства лизина на Ливанском ОБХЗ

Аппарат	Продолжительность (усреднённый показатель), ч.	Концентрация лизина (усреднённый показатель), г/л	Скорость накопления лизина (усреднённый показатель), г/л/ч.
Промышленный	80	35,5	0,45
Импульсный	64,5	40,1	0,63

ния лизина увеличена на 40%. При этом эксплуатационная надежность импульсного аппарата была равнозначна надёжности промышленным ферментёрам.

Импульсный аппарат (см. рис. 1–4) был испытан при производстве антибиотиков кормогризина и стрептомицина. При этом достигнуто снижение подачи воздуха в аппарат в два раза, увеличение коэффициента заполнения ферментёра на 20-30%. В результате повышалось качество готового продукта: активность препаратов увеличилась на 20-25% по сравнению с продуктом, полученным при работе действовавшего аппарата с механическим перемешиванием.

На импульсном аппарате объёмом 12,6 м³, модифицированном для анаэробных процессов, проведено брожение бактерий рода *Clostridium* на ферментолизате размолотых древесных опилок для получения бутанола (г. Тулун Иркутской обл.). В периодическом режиме процесс брожения прошёл за 36 ч., тогда как в традиционном используемом ферментёре этот процесс занял 72 ч.

Опытный образец переносного импульсного аппарата облегченной конструкции был использован для выращивания дрожжей на стоках со свинокомплексов и птицефабрик. Содержание аммонийных солей в них составляло до 700 мг/л, фосфатов – до 250. После проведения процесса выращивания содержание аммонийных солей снизилось до 15–20 мг/л при полном отсутствии фосфатов. Полученная биомасса кормовых дрожжей содержала сырой протеин 42,0–49,0% по сухому весу, истинный белок 35,0–41,0%, полный набор незаменимых аминокислот, в том числе лизина 5,2–5,5% по сухому веществу протеина. Дрожжевая биомасса была испытана на свинокомплексах: Ильиногорском Нижегородской области, в Словении (г. Птуй), Гер-

мании (в районе г. Нойстерлиц), на птицефабрике г. Курска. Привес живой массы свиней составил 6–8% по сравнению с контролем.

Использование импульсного аппарата в качестве аэротенка с организованным выбросом отработанного воздуха на очистных сооружениях или на свинокомплексах и птицефабриках позволит установить предварительную очистку промышленных стоков непосредственно на предприятиях, не требуя для этого специальных территорий и санитарно-защитных зон, и обеспечить надлежащие показатели поступающих на основную очистку стоков.

Импульсный аппарат (рис. 1–4), помимо испытаний и применения в микробиологической отрасли, был использован в 1990-е гг. на предприятии П/Я А-7593 и Волгоградском ПО «Каустик» в процессе глубокой дегазации суспензии полимера поливинилхлорида (ПВХ) от мономера винилхлорида с целью получения ПВХ для применения в

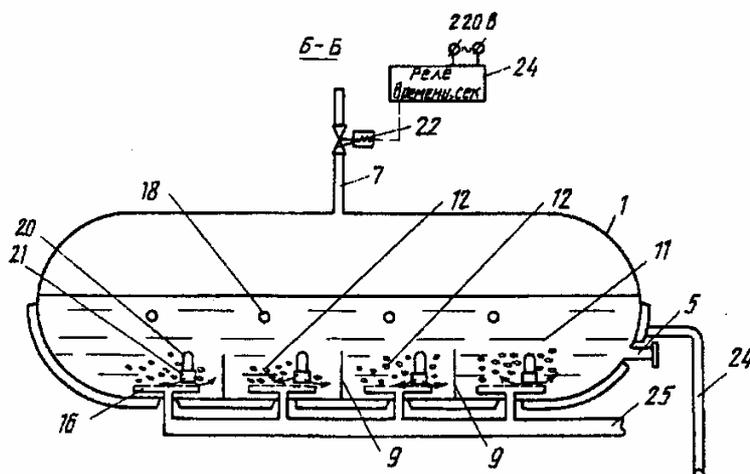


Рис. 3. Разрез аппарата по Б-Б (см. рис. 1).

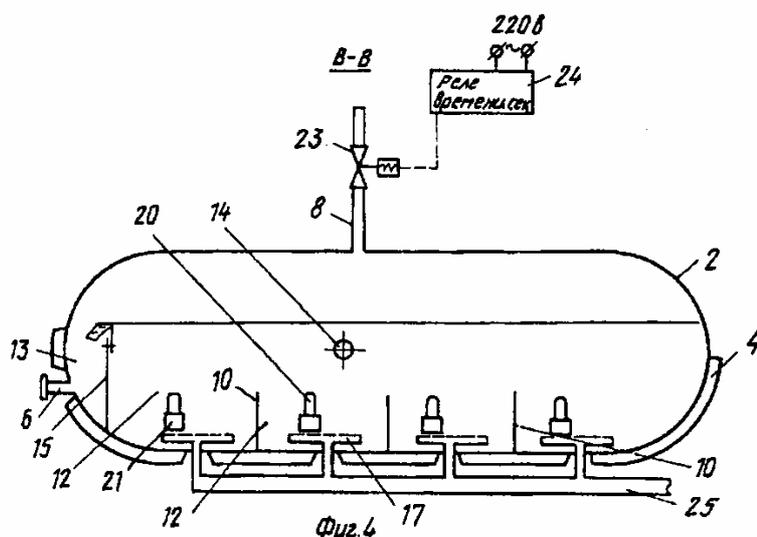


Рис. 4. Разрез аппарата по В-В (см. рис. 1).

пищевой промышленности. Испытания проводили в импульсном аппарате объемом 0,2 м³ в сравнении с колонными тарельчатыми аппаратами. На импульсном аппарате было получено более 17 т ПВХ марки «С» с содержанием остаточного винилхлорида не более 10 ppm. При этом процесс был более устойчивым по сравнению с аппаратами колонного типа, что также подтверждает лучшие массообменные характеристики импульсного аппарата в сравнении с аппаратами колонного типа.

На основании проведенных исследований и результатов длительных промышленных испытаний, можно заключить, что различные по объёму импульсные аппараты данной конструкции являются пригодными прежде всего для осуществления процессов выращивания микроорганизмов как в аэробных, так и в анаэробных условиях с целью получения различных продуктов, в частности кормового белка, аминокислот, спиртов.

Таким образом, ферментёры с импульсным перемешиванием позволяют рассматривать их как экономичные и интенсивные массообменные аппараты, характеризующиеся малой энергоёмкостью. Импульсные аппараты по своим технологическим показателям превосходят аппараты с барботажной, эрлифтной, механической и другими системами воздухораспределения, которые более пригодны для работы с субстратами, характеризующимися низким содержанием сухих веществ не более 2 – 2,5%, такими как меласса, гидролизаты, послеспиртовая барда и т.д.

Импульсные аппараты позволяют сократить расходы на электроэнергию при сохранении или улучшении техникоэкономических показателей микробиологических и химических процессов. Например, в настоящее время на действующем заводе БВК (Новополоцкий завод в Республике Беларусь), использующих реконструированный аппарат Б-50, при производительности до 100 т в сутки кормовых дрожжей на ферментализате отрубей затраты электроэнергии на 1 т составляют 450–500 кВт. На импульсном аппарате (см. рис. 1) на том же сырье при мощности завода 8 тыс. т в год затраты электроэнергии на 1 т готового продукта – 55–60 кВт, т.е. практически в девять раз меньше. Более низкое потребление электроэнергии на импульсных аппаратах объясняется тем, что в их конструкции отсутствуют электродвигатели, и интенсивность перемешивания среды определяется не мощностью электродвигателя, установленного на мешалке, а перемешиванием определённого количества жидкости в единицу времени, например, м³/час. Скорость движения жидкости в аппарате обычно закладывается при расчёте каждого аппарата с импульсной системой массообмена с учетом поправки на возможность пенообразования.

Импульсные аппараты дают возможность вести процессы культивирования микроорганизмов с высоким содержанием сухих веществ (10–15%), что является определяющим при производстве кормовых дрожжей на основе отходов зернового сырья, обеспечивая рентабельность завода.

По анализу результатов всех выполненных на импульсных аппаратах работ налицо заключение о том, что импульсные аппараты малых и больших объёмов дают аналогичные результаты (см. табл. 1). Это означает, что он легко масштабируется при расчёте аппаратов любого объёма. И может быть изготовлен не только любой величины (от нескольких литров до тысячи и более м³), но и любой конфигурации, что позволяет использовать его в различных областях биотехнологии при производстве аминокислот, антибиотиков, спиртов и других продуктов, а также в химической промышленности и в фермерских хозяйствах для очистки стоков.

Таким образом, импульсные аппараты можно рекомендовать как наиболее перспективный и универсальный тип ферментационного оборудования как для крупнотоннажных биотехнологических предприятий, так и для установок малой мощности, используемых для получения белковых кормов, а также в различных отраслях промышленности.

Литература

1. Виестур У.Э., Кузнецов А.М., Савенков В.В. Системы ферментации. Рига: Зинатне, 1986. 174 с.
2. Андреев А.А., Брызгалов Л.И. Производство кормовых дрожжей. М.: Лесная промышленность, 1986. 109 с.
3. Кафаров В.В., Винаров А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование биохимических реакторов. М.: Лесная промышленность, 1979. 344 с.
4. Патент 1049535 РФ. Аппарат для выращивания микроорганизмов / Г.В.Антипин, С.Н.Горлов, Р.В.Катруш и др. Заявл. 25.12.81; Оpubл. 23.10.83; Бюл. №39.
5. Патент 2144952 РФ. Аппарат для выращивания микроорганизмов / А.Е.Сычёв, В.А.Сычёв, Р.Я.Мевлюдов; Заявл. 10.06.99; Оpubл. 27.01.2000; Бюл. №3.

Статья поступила в редакцию 27.02.2012.

УДК 504.05:57.044:(470.342)

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ВБЛИЗИ КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

С.Г. СКУГОРЕВА*, Т.Я. АШИХМИНА *

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

**Вятский государственный гуманитарный университет, г. Киров
skugoreva@mail.ru

В статье представлены данные о содержании ртути в компонентах природной среды (вода, донные отложения, почва, растения) вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината (Кировская область), на котором ртуть используется в технологическом процессе. В ходе исследования выявлены наиболее загрязненные соединениями ртути водные объекты. Показано, что участки с высоким содержанием ртути в почве и растениях приурочены к берегам загрязненных водных объектов. Впервые для исследуемой территории отмечены виды растений – аккумуляторы ртути.

Ключевые слова: ртуть, загрязнение, водные объекты, донные отложения, почва, растения, биоаккумуляция, Кирово-Чепецкий химический комбинат

S.G. SKUGOREVA, T.YA. ASHIKHMINA. MERCURY LEVELS IN ENVIRONMENTAL COMPONENTS IN TERRITORY NEAR THE KIROVO-CHEPETSCK CHEMICAL INDUSTRIAL COMPLEX

Data on mercury content in the components of the environment (water, sediments, soil, plants) near the Kirovo-Chepetsk chemical industrial complex (Kirov Region), where mercury is used in the technological process, is presented. The study revealed water bodies most polluted with mercury compounds. It is shown that areas with high mercury content in soil and plants are associated with the shores of polluted water bodies. Kinds of plants – mercury accumulators are identified for the first time for the territory under study.

Key words: mercury, pollution, water objects, sediments, soil, plants, bioaccumulation, coefficient of accumulation, Kirovo-Chepetsk chemical industrial complex

Ртуть и ее соединения относятся к одним из наиболее опасных токсичных веществ. Несмотря на то, что ртуть и ее соединения издавна используются в различных отраслях деятельности человека и токсичность их известна с древних веков, только в последние десятилетия появились новые сведения о глобальном ртутном загрязнении окружающей среды [1]. За последние 25 лет объемы производства металлической ртути в мире колебались от 3,5 до 7,5 тыс. т в год, из которых значительная часть в итоге оказывалась в окружающей природной среде. В результате антропогенное поступление соединений ртути существенно сказывается на биогеохимическом цикле ртути [2].

Источником загрязнения природной среды и селитебных территорий соединениями ртути служат промышленные предприятия, в технологических циклах которых используется ртуть. В Кировской области одним из таких предприятий является ОАО «Кирово-Чепецкий химический комбинат им. Б. П. Константинова» (КЧХК). В его составе действуют Завод минеральных удобрений (ЗМУ) и Завод

полимеров, которые относятся к химически опасным предприятиям. Степень опасности производства обусловлена близостью расположения промышленных площадок комбината к основному источнику водоснабжения областного центра – р. Вятка (1,5–3 км).

На Заводе полимеров с 1955 г. производят каустическую соду и хлор электролитическим способом с применением ртутного электрода. В технологическом процессе предприятия используется около 120 т ртути. В шламах, складированных за полувековой период существования производства, на контролируемых полигонах содержится от 300 до 700 т ртути, главным образом в форме сульфида ртути [3]. Загрязнение водных объектов HgS произошло в основном при сбросе сточных вод до внедрения технологии их глубокой очистки на КЧХК. В водоемах элемент может аккумулироваться в донных отложениях. Кроме того, существует вероятность «проникновения» соединений ртути из шламохранилищ комбината в грунтовые воды и попадание их в хозяйственные и питьевые воды при водозаборе.

В настоящее время производится более глубокая очистка сточных вод комбината. Очищенные стоки, содержащие остаточные количества ртути, сбрасываются в р. Елховку, затем через оз. Просное и р. Просница поступают в р. Вятка. Источниками загрязнения почв являются выбросы предприятия, а также загрязненные воды, выходящие из берегов во время половодья. По материалам исследований [4, 5], валовое содержание ртути в донных отложениях и почвах составляет от 2,6 до 100 мг/кг. Высшие растения, произрастающая на загрязненных ртутью почвах, способны аккумулировать элемент в своих органах и тканях [6].

Цель работы – дать оценку содержания ртути в компонентах природной среды (вода, донные отложения, почва, растения) на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината [7].

Материалы и методы

В июле 2011 г. проводили химический анализ воды из р. Елховка на всем ее протяжении (в точках № 1, 3, 4, 6, 10, 18, 19, 20), оз. Просное (№ 24), карьера ЗМУ (№ 9), измерительного лотка (№ 26), р. Просница (№ 27), оз. Березовое (№ 11) и карьера вблизи озера (№ 12), Бобровых озер и карьера (№ 13, 14, 15, 16), дренажной канавы в старицу р. Вятка (№ 17), выхода грунтовых вод у Завода полимеров (№ 2), дренажной канавы у хранилища радиоактивных отходов (№ 5), болота у третьей секции храни-

лища отходов КЧХК (№ 7, 8) (рис. 1). В качестве условно фоновой для воды и донных отложений была выбрана точка 1, расположенная выше по течению р. Елховка до вхождения ее в зону влияния химического комбината. Пробы воды отбирали точно, не фильтровали, консервировали азотной кислотой и хранили не более месяца в холодильнике. Кроме того, анализировали содержание ртути в донных отложениях некоторых водных объектов (рис. 1).

Для характеристики содержания ртути в почвах и растениях на исследуемой территории нами было выбрано 14 участков (рис. 1). Следует отметить, что данные участки располагались по берегам водных объектов, из которых отбирали пробы воды и донных отложений, исключение составили пять участков. Участок № 8 располагался у водоема на южном углу 4-й секции, № 22 представляет собой заболоченную пойму р. Елховка со стороны Глухого бора, № 21 – берег р. Елховка ниже по течению от № 18, № 23 – межгрядное понижение в пойме р. Елховка, № 25 – берег оз. Просное рядом с измерительным лотком.

Смешанные образцы почвы отбирали в корнеобитаемом слое на глубине 0–15(20) см, образец растений составляли из 20–60 индивидуальных растительных проб. У травянистых растений отбирали надземную часть: тмин – *Carum*, тростник обыкновенный – *Phragmites communis* Trin., полынь обыкновенная – *Artemisia vulgaris* L. крапива дву-

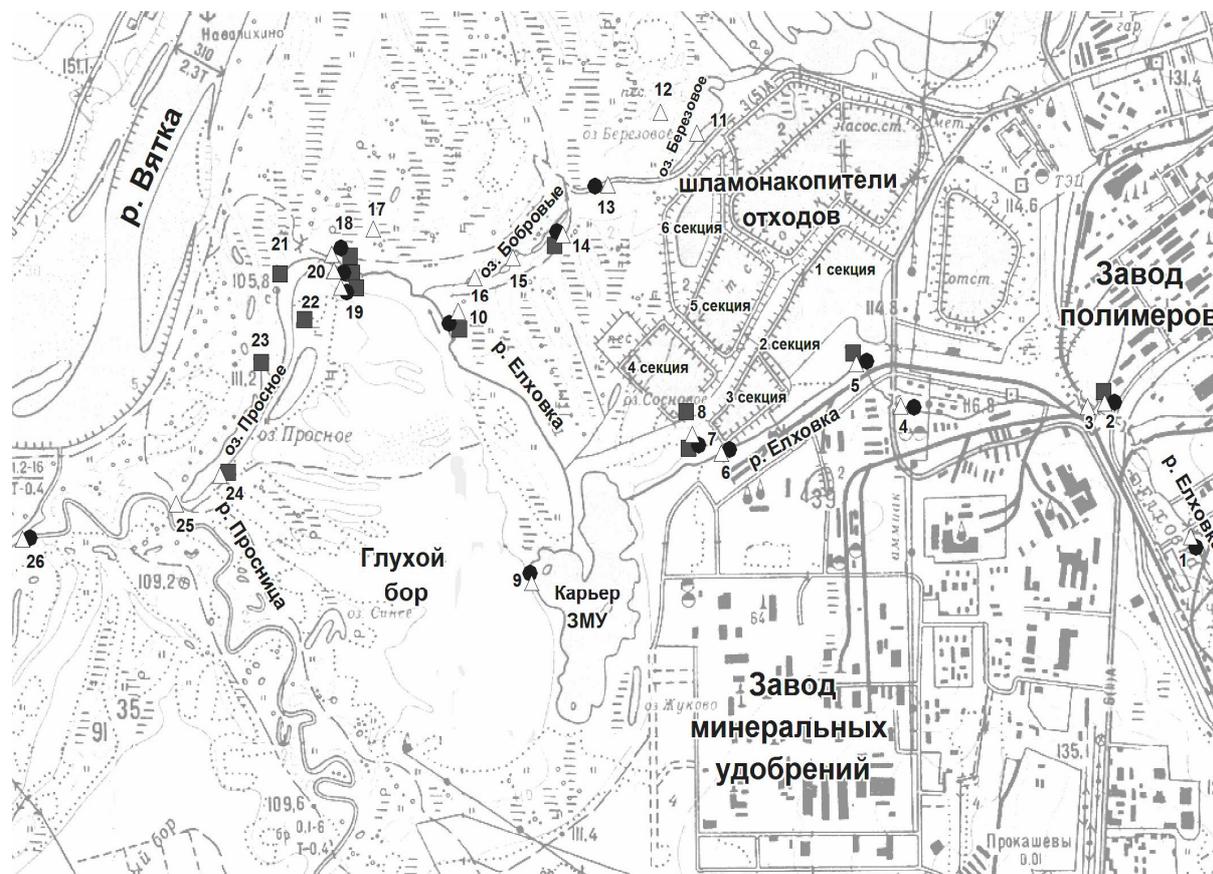


Рис. 1. Карта-схема отбора проб. Примечание: треугольниками обозначены точки отбора проб воды, кружками – донных отложений, квадратами – почв и растений.

домная – *Urtica dioica* L., бодяк полевой – *Cirsium arvense* L., вейник седеющий – *Calamagrostis canescens* (Web.) Roth., хвощ полевой – *Equisetum arvense* L., конский щавель – *Rumex confertus* Willd.; у деревьев и кустарников – листья: черемуха обыкновенная – *Padus avium* Mill., вяз – *Ulmus*, шиповник – *Rosa* и смородина черная – *Ribes nigrum* L. – листья. В лаборатории образцы почвы, донных отложений и растений высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния.

Содержание ртути в отобранных пробах анализировали в экоаналитической лаборатории «ЭКОАНАЛИТ» Института биологии Коми НЦ УрО РАН методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути РА-915+ (Люмекс, Россия). Определение массовой доли общей ртути в пробах донных отложений, почв и растений проводили без предварительного разложения образца с использованием пиролитической приставки РП-91С [9], в пробах воды – пиролитической приставки РП-91 с коррекцией неселективного поглощения по Зеemannу [10].

Для построения и контроля стабильности градуировочных характеристик при определении массовой доли ртути в твердых объектах использовали стандартные и референтные материалы: набор СОРТ (ГСО 7183-95, $\omega_{\text{атт.1}}=101$ мкг/кг, $\omega_{\text{атт.2}}=301$ мкг/кг, $\omega_{\text{атт.3}}=1000$ мкг/кг, $\omega_{\text{изм.1}}=96$ мкг/кг, $\omega_{\text{изм.2}}=303$ мкг/кг, $\omega_{\text{изм.3}}=995$ мкг/кг) и соответственно ГСО 2499-83 (СДПС–2, $\omega_{\text{атт.}}=130$ мкг/кг, $\omega_{\text{изм.}}=121$ мкг/кг), СОС 39804 (САЗП-98, $\omega_{\text{атт.}}=25$ мкг/кг, $\omega_{\text{изм.}}=32$ мкг/кг), Dogfish Muscle and liver Certified Reference Material for Trace Metals Dorm – 2 ($\omega_{\text{атт.}}=4470$ мкг/кг, $\omega_{\text{изм.}}=4510$ мкг/кг), Fish Protein Certified Reference Material for Trace Metals Dorm – 3 ($\omega_{\text{атт.}}=409$ мкг/кг, $\omega_{\text{изм.}}=420$ мкг/кг).

Результаты и обсуждение

Содержание ртути в воде. По результатам химического анализа, ее максимальное содержание отмечено в месте выхода грунтовых вод у Завода полимеров (№ 2) (табл. 1). Концентрация ионов ртути в данной пробе составила 1740 нг/л, что в 3,5 раза выше ПДК. Обращает на себя внимание тот факт, что, начиная от Завода полимеров до впадения в карьер ЗМУ, р. Елховка загрязнена соединениями ртути (№ 3, 4, 6). Содержание ртути в воде на данном участке реки превышало ПДК в 1,7–3 раза. Далее, после карьера ЗМУ река становится достаточно чистой. Так, в среднем (№ 10) и в ее нижнем (№ 20) течении р. Елховка концентрация ртути в воде составила 227 и 254 нг/л, что ниже ПДК примерно в два раза. В пробе воды из оз. Просное (№ 24) содержание ртути вновь превышает ПДК (в 2,3 раза), что может быть связано с переходом в растворимое состояние соединений ртути из донных отложений. Ранее нами было показано [8], что в 2009 г. в донных отложениях в данной точке содержание ртути составляло 5,8 мг/кг, т.е. выше фонового значения в 19 раз.

Несколько повышенные относительно ПДК количества ртути определены в воде карьера у оз. Бобровое (№ 13), оз. Бобровое-1 на глубине 2,5 м

Таблица 1

Содержание ртути в пробах воды в зоне влияния КЧХК (2011 г.)

Точка отбора проб	Месторасположение	Hg, нг/л
2	Выход грунтовых вод у Завода полимеров	1740±435
3	Р. Елховка у Завода полимеров	830±207
4	Р. Елховка у нефтебазы	905±226
5	Отводная канава у хранилища радиоактивных отходов	297±74
6	Р. Елховка у ЗМУ	1540±385
7	Дренажная канава у 3-й секции шламо-накопителя	123±31
9	Карьер Завода минеральных удобрений со стороны Глухого бора	41±14
10	Р. Елховка, в среднем течении	227±57
11/1	Оз. Березовое, глубина 0,3 м	189±47
11/2	Оз. Березовое, глубина 2,5 м	63±22
11/3	Оз. Березовое, глубина 5,5 м	116±10
12	Карьер у оз. Березовое	100±25
13	Карьер у оз. Бобровое	567±142
14/1	Оз. Бобровое-1, глубина 0,3 м	138±34
14/2	Оз. Бобровое-1, глубина 2,5 м	605±151
14/3	Оз. Бобровое-1, глубина 4,5 м	47±16
15	Оз. Бобровое-2	38±13
16	Оз. Бобровое-3	90±31
17	Дренажная канава в старицу р. Вятка	162±40
18	Р. Елховка старица, заболоченный рукав	630±157
19	Р. Елховка в нижнем течении (старое русло)	61±21
20	Р. Елховка современное русло	256±64
24	Оз. Просное со стороны Глухого бора	1140±285
26	Измерительный лоток	274±69
27	Р. Просница	506±126
1 (фон)	Р. Елховка (фон)	127±32
	ПДК [ГН]	500

Примечание: здесь и далее в табл. 2–3 приведены средние арифметические значения и относительные погрешности измерений; жирным шрифтом обозначены показатели, максимально превышающие ПДК или фон.

(№ 14/2) и заболоченного рукава старицы р. Елховка (№ 18). Немаловажным моментом является то, что лишь в шести пробах воды, отобранных из поверхностных водных объектов в зоне влияния комбината, содержание ртути не превышало фонового значения (№ 1).

Содержание ртути в донных отложениях. Критерием для оценки может быть сравнение со значением в фоновой точке (№ 1). Максимальное содержание ртути в донных отложениях определено в р. Елховка у Завода полимеров (№ 3) и рядом с нефтебазой (№ 4) – 54 и 77 мг/кг соответственно, что в 87–124 раза выше фона и в 26–37 раз выше ПДК (табл. 2).

Высокая концентрация ртути, значительно превышающая фоновое значение, определена в пробе воды из отводной канавы у хранилища радио-

Таблица 2

Содержание ртути в донных отложениях водных объектов в зоне влияния КЧХК

№ участка	Месторасположение	Hg, мг/кг
2	Р. Елховка у места выхода грунтовых вод у Завода полимеров	24,6±6,2
3	Р. Елховка у Завода полимеров	54±14,0
4	Р. Елховка у нефтебазы	77±19,0
5	Отводная канава у хранилища радиоактивных отходов	61±15,0
6	Р. Елховка у Завода минеральных удобрений	8,8±2,2
7	Дренажная канава у 3-й секции шламонакопителя	25,3±6,3
9	Карьер Завода минеральных удобрений со стороны Глухого бора	0,011±0,005
10	Р. Елховка в среднем течении	5,1±1,3
13	Карьер у оз. Бобровое	0,12±0,03
14	У берега оз. Бобровое-1	6,0±1,5
18	Р. Елховка, старица, заболоченный рукав	10,6±2,6
19	Р. Елховка в нижнем течении (старое русло)	5,8±1,5
20	Р. Елховка современное русло	5,0±1,2
27	Р. Просница	0,11±0,03
1	Р. Елховка (фон)	0,62±0,15

активных отходов (№ 5), а также в донных отложениях р. Елховка, отобранных рядом с местом выхода грунтовых вод у Завода полимеров (№ 3), и в дренажной канаве у 3-й секции шламонакопителя отходов комбината (№ 7). Повышенное содержание ртути в данных точках (№ 3, 5 и 7) может быть вызвано «просачиванием» ртути из шламонакопителей, хранилищ и промплощадок в грунтовые воды и ее поступлением в водные объекты.

Повышенные количества ртути зафиксированы в донных отложениях р. Елховка до карьера ЗМУ (№ 6) и в нижнем течении реки (№ 18, 19, 20). Во всех точках обследования, за исключением № 9, 13, 27, содержание ртути было выше по сравнению с фоном.

Таким образом, максимальные количества элемента содержатся в воде и донных отложениях в месте выхода грунтовых вод у Завода полимеров (№ 2), в р. Елховка у Завода полимеров (№ 3) и нефтебазы (№ 4). Этот факт может свидетельствовать о том, что загрязнение ртутью р. Елховка на участке от Завода полимеров до Завода минеральных удобрений имело место не только в прошлом, но происходит и в настоящее время. Источником загрязнения соединениями ртути могут быть сточные воды Завода полимеров, на котором ртуть используется в процессе производства каустической соды и хлора. Кроме того, повышенные концентрации ртути в воде могут быть связаны с переходом ртути из донных отложений. Не исключено также загрязнение компонентов природной среды путем воздушного переноса ртути и ее соединений от источника загрязнения.

Содержание ртути в почвенных образцах. Химический анализ показал, что на большинстве выявленных участков ее валовое содержание было выше ПДК (табл. 3). Исключение составили

Таблица 3

Валовое содержание ртути в корнеобитаемом слое почвы (0–15(20) см)

№ участка	Месторасположение	Hg, мг/кг
2 (тмин)	Берег р. Елховка у места выхода грунтовых вод у Завода полимеров	45±11
2 (бодяк)	У отводной канавы у хранилища радиоактивных отходов	25±6,0
5	У дренажной канавы 3-й секции шламонакопителя	16±4,0
7 (крапива-бодяк)	У болота на южном углу 4-й секции	0,37±0,09
7 (смородина)	У болота на южном углу 4-й секции	64±16,0
8 (вейник)	У болота на южном углу 4-й секции	0,54±0,13
8 (тростник)	Берег р. Елховка, в среднем течении	0,65±0,16
10	Берег оз. Бобровое-1	3,4±0,85
14	Берег р. Елховка, старица, заболоченный рукав	0,18±0,05
18	Берег р. Елховка в нижнем течении (старое русло)	9,8±2,4
19	Берег р. Елховка, современное русло	16±4
20	Берег р. Елховки ниже по течению от №18	13,5±3,4
21	Заболоченная пойма р. Елховки	1,3±0,3
22	Межгрядное понижение в пойме р. Елховки	14,5±3,6
23	Берег оз. Просное на западной окраине Глухого бора	6,0±1,5
24	Берег оз. Просное рядом с измерительным лотком	4,6±1,2
25	ПДК (ОДК) [11]	11,5±2,9 2,1

почвы на берегу оз. Бобровое (№ 14), рядом с болотом у 4-й секции шламонакопителя (№ 8) и на берегу р. Елховка в нижнем течении (№ 21), которые можно считать незагрязненными соединениями ртути. Наибольшая концентрация ртути определена в образцах почв, отобранных на берегу дренажной канавы у 3-й секции отходов КЧХК (№ 7) под растениями смородины (64000 мкг/кг). Во много раз ниже содержание ртути было на этом же участке в почве под растениями крапивы двудомной и бодяка полевого (370 мкг/кг). Большие различия в концентрации элемента свидетельствуют о крайней неравномерности его распределения в почвенном покрове.

Повышенные концентрации ртути отмечаются на участке рядом с выходом грунтовых вод у Завода полимеров (№ 2). Под растениями тмина и бодяка полевого концентрация ртути в пробах почвы составила около 44700 и 25000 мкг/кг, что выше ПДК в 21 и 11 раз соответственно. Немного ниже была концентрация ртути в почве на берегу старого русла р. Елховка (№ 19) и вблизи дренажной канавы у хранилища радиоактивных отходов РАО (№ 5). Повышенное содержание ртути определено в почвах на заболоченной пойме р. Елховка (№ 22) и вблизи оз. Просное (№ 25). На данных участках содержание ртути в почве превысило ПДК в 5,5–7 раз.

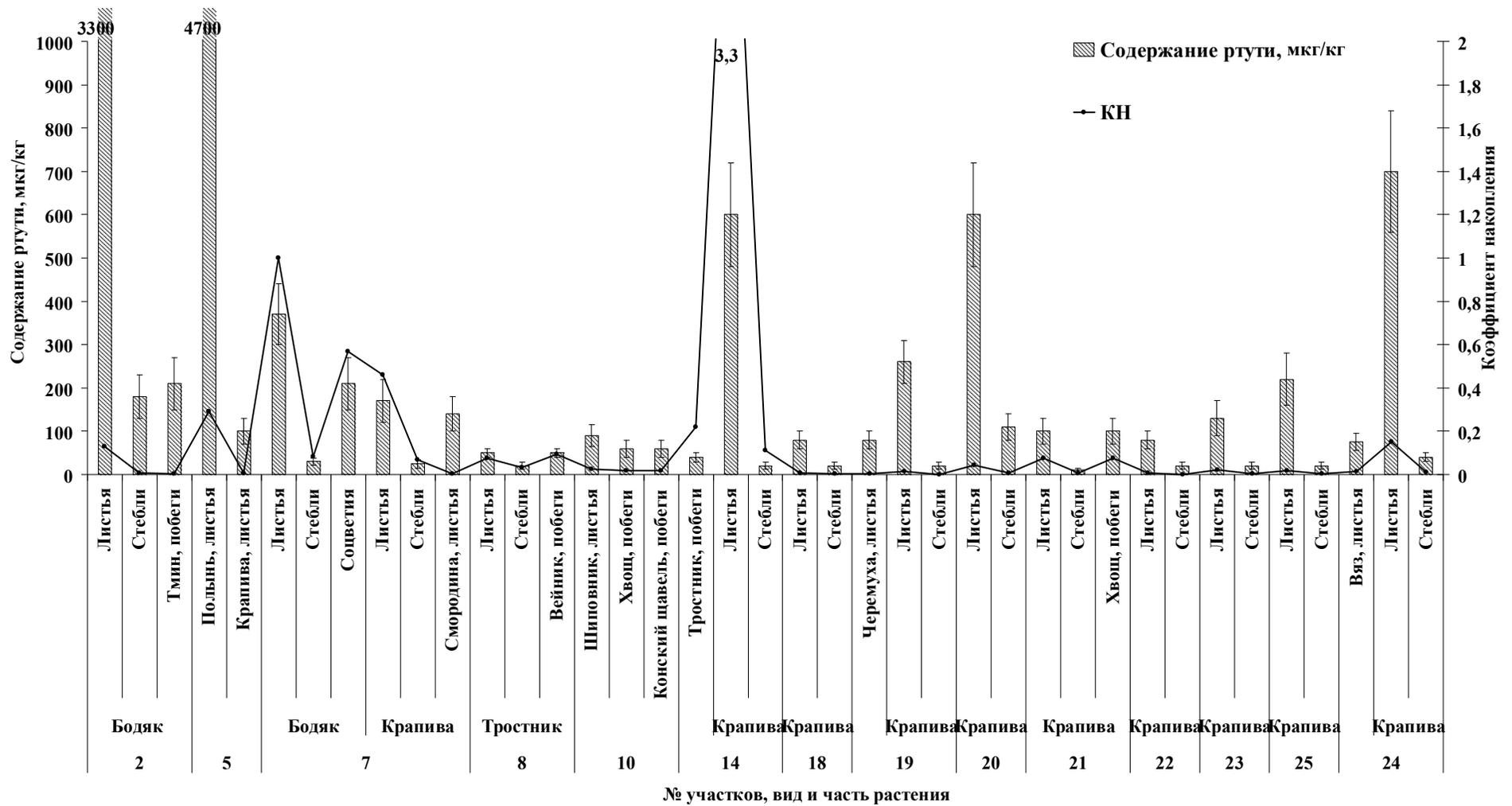


Рис. 2. Содержание и коэффициенты накопления ртути в растениях.

Примечание: приведены средние арифметические значения и относительные погрешности измерений, КН – коэффициент накопления.

Содержание ртути в дикорастущих растениях. Химический анализ образцов растений свидетельствует о том, что содержание ртути было максимальным в листьях полыни обыкновенной на участке № 5 (4700 мкг/кг) (рис. 2). Большое количество ртути содержалось в листьях бодяка полевого – 3300 мкг/кг на участке № 2. Несколько ниже – от 600 до 700 мкг/кг – в листьях крапивы двудомной на участках № 14, 20 и 24.

В 2011 г., также как и в 2010 г., наиболее загрязненными соединениями ртути стали растения на участках № 2 и 5, в почвах которых содержание элемента было максимальным [9]. Высокое содержание ртути в листьях крапивы двудомной на участках с относительно невысоким содержанием ртути (№ 14, 20 и 24), вероятно, связано с тем, что крапива двудомная обладает хорошей аккумулярующей способностью по отношению к данному элементу.

Для сравнения аккумулярующей способности растений были рассчитаны коэффициенты накопления (КН), которые равны отношению содержания элемента в растении к его концентрации в почве. Как видно из рис. 2, у всех видов растений коэффициенты накопления незначительные на участках с высоким содержанием элемента в почве. Например, на участке № 2 в листьях бодяка полевого с высоким абсолютным значением содержания ртути (3300 мкг/кг) коэффициент накопления (КН) низкий (0,13), так как высоко содержание элемента в почве (25000 мкг/кг) (табл. 3). На участке № 7 под растениями смородины концентрация ртути в почве составляла 64000 мкг/кг, а коэффициент накопления листьями смородины очень мал – 0,002. С увеличением содержания элемента в почве КН надземными органами растений снижается, что, вероятно, обусловлено аккумуляцией соединений ртути в корнях исследуемых видов растений.

При низком содержании ртути в почве накопительная способность растений увеличивается, коэффициент накопления становится выше единицы. Самые высокие значения КН рассчитаны для растений, произрастающих на почвах с минимальным содержанием ртути в почве – на берегу оз. Бобровое (№ 14) и на берегу дренажной канавы у 3-й секции отходов (№ 7) под растениями бодяка и крапивы (табл. 3). Коэффициент накопления ртути побегами растений варьировал на этих участках от 0,46 до 3,3. Максимальный КН установлен для листьев крапивы двудомной на берегу оз. Бобровое (№ 14).

В ходе анализа абсолютных значений содержания ртути в растениях и коэффициентов накопления выявлены их видовые особенности по способности аккумулировать соединения ртути. Как видно из рис. 2, полынь обыкновенная обладает высокой способностью к накоплению ртути, несколько ниже эта способность у бодяка полевого и крапивы двудомной. У других видов исследуемых растений способность к аккумуляции ртути из почвы была низкой. Кроме того, из рис. 2 видно, что листья крапивы двудомной, бодяка полевого, тростника обладают лучшей аккумулярующей способностью по сравнению со стеблями. В зависимости

от содержания элемента в почве и вида растения листья накапливают ртути от 4 до 30 раз больше, чем стебли.

Выводы

1. В большинстве проб воды, отобранных из поверхностных водных объектов в зоне влияния предприятий Кирово-Чепецкого химического комбината, содержание ртути превышало фоновое значение. Наиболее загрязненными соединениями ртути является вода р. Елховка на участке от Завода полимеров, на котором в технологическом процессе используется ртуть, до Завода минеральных удобрений. Кроме того, на этом участке зафиксировано высокое содержание ртути в донных отложениях. Полученные данные свидетельствуют о загрязнении ртутью р. Елховка.

2. Химический анализ донных отложений и почв, отобранных вблизи шламонакопителей, хранилищ отходов комбината и промплощадки Завода полимеров, выявил повышенное содержание в них соединений ртути. Это может быть обусловлено миграцией соединений от данных источников загрязнения в грунтовые воды, поступлением избыточных количеств ртути в расположенные рядом водные объекты и загрязнением в паводковый период почв вблизи водоемов. Кроме того, не исключено загрязнение компонентов природной среды путем воздушного переноса ртути и ее соединений от источника загрязнения.

3. Наиболее загрязненными ртутью являются растения, произрастающие на почвах с высоким содержанием элемента. С увеличением содержания элемента в почве коэффициент накопления надземными органами растений снижается.

4. Выявлены видовые особенности растений по способности аккумулировать ртуть. Высокой способностью к накоплению ртути обладает полынь обыкновенная, несколько ниже эта способность у растений бодяка полевого и крапивы двудомной.

Литература

1. *Лапердина Т.Г.* Определение ртути в природных водах. Новосибирск: Наука, 2000. 222 с.
2. *Петросян В.С.* Глобальное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями // Россия в окружающем мире: 2006 (Аналитический ежегодник) / Под общ. ред. Н.Н. Марфенина, С.А. Степанова. М.: МНЭПУ, Авант, 2007. С. 149–163.
3. *Албегова А.В., Ворожцова Т.А.* Оценка загрязнения окружающей среды ртутью в районе города Кирово-Чепецка // Региональные и муниципальные проблемы природопользования: Сб. матер. 9-й научно-практической конференции (г. Киров, 1–3 сентября 2006 г.). Кирово-Чепецк, 2006. С. 4–6.
4. *Дружинин Г.В., Лемешко А.П., Ворожцова Т.А., Нечаев В.А.* Техногенные отложения озера Просного в системе водоотведения Кирово-Чепецкого химического комбината // Региональные и муниципальные проблемы природопользования: Сб. матер. 9-й научно-практической конференции (г. Киров, 1–3 сен-

- тября 2006 г.). Кирово-Чепецк, 2006. С. 127–128.
5. Дружинин Г.В., Лемешко А.П., Синько В.В. и др. Загрязнение природных сред вблизи системы водоотведения Кирово-Чепецкого химического комбината // Региональные и муниципальные проблемы природопользования: Сб. матер. 9-й научно-практической конференции (г. Киров, 1–3 сентября 2006 г.). Кирово-Чепецк, 2006. С. 125–127.
 6. Скугорева С.Г., Огородникова С.Ю., Головки Т.К., Ашихмина Т.Я. Фитотоксичность фосфорорганических соединений и ртути. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 156 с.
 7. Скугорева С.Г., Дабах Е.В., Адамович Т.А. и др. Изучение состояния почв на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // Журн. Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 2. С. 37–46.
 8. Скугорева С.Г., Дабах Е.В., Адамович Т.А. и др. Загрязнение ртутью почв и донных отложений в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Международного симпозиума. М.: ГЕОХИ РАН, 2010. С. 203–207.
 9. ПНДФ 16.1:2.23-2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С (методика допущена для целей государственного экологического контроля). СПб., 2005.
 10. ПНДФ 14.1:2:44.243-07. Методика выполнения измерений массовой концентрации общей ртути в пробах природных, питьевых, поверхностных, морских и очищенных сточных вод атомно-абсорбционным методом с зеемановской коррекцией неселективного поглощения на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91. СПб., 2007.
 11. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М., 2006.

Статья поступила в редакцию 21.02.2012.

УДК 635.92:581.543.6:631.529

О ПЕРЕЗИМОВКЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА В 2009–2010 гг.

Л.Г. МАРТЫНОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
avokueva@ib.komisc.ru

Проведена оценка зимостойкости после зимы 2009–2010 гг., интродуцированных в ботаническом саду 390 таксонов древесных растений. Из общего числа обследованных растений выявлено 256 таксонов, получивших различную степень обмерзания, или 66%. Приводится список наиболее сильно пострадавших видов. Отмечается особенность перезимовки видов невысоких кустарников родов *Philadelphus* L., *Physocarpus* Maxim., *Berberis* L., *Rosa* L. Оценивается зимостойкость растений после перезимовки согласно их географическому происхождению в сравнении со среднемноголетними данными.

Ключевые слова: ботанический сад, древесные растения, интродукция, перезимовка, зима 2009–2010 гг., зимостойкость

L.G. MARTYNOV. ABOUT THE WINTERING OF WOODY PLANTS IN THE BOTANICAL GARDEN OF THE INSTITUTE OF BIOLOGY, KOMI SCIENCE CENTRE, IN 2009–2010

390 taxa of woody plants, introducents of the Botanical Garden, have been tested for the winter resistance grade after the winter period 2009–2010. Among them, 256 taxa (66%) were frosted to different rate. The most injured woody plants are listed. The specific features of wintering for low-height shrubs of the genera *Philadelphus* L., *Physocarpus* Maxim., *Berberis* L., *Rosa* L. have been revealed. The winter resistance grade of plant species after winter time is estimated relative to their geographical origin in comparison to average long-term data.

Key words: Botanical Garden, woody plants, introduction, wintering, winter of 2009–2010, winter resistance grade

В Республике Коми зимостойкость древесных растений, привлеченных из других местностей, является важнейшим биологическим свойством, определяющим успешность интродукции. Проблемой интродукции растений, начиная с 1936 г., занимается Ботанический сад Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Район, где проводятся исследования, находится недалеко от Сыктывкара в южном направлении и входит в подзону средней тайги. Здесь довольно высокая теплообеспеченность вегетационного периода (сумма температур выше +5°C достигает 1900°C), что позволяет многим интродуцированным видам полностью пройти сезонный цикл развития и своевременно подготовиться к перезимовке. Однако зима в районе суровая. Абсолютный минимум температуры в Сыктывкаре может опускаться до -51°C [1]. К концу зимы высота снежного покрова достигает 70 см, что в какой-то мере предохраняет растения от вымерзания. В отдельные годы условия перезимовки бывают исключительно неблагоприятными. Серьезным испытанием древесных интродуцентов на зимостойкость за последние десятилетия прошлого столетия явились условия суровой зимы

1978–1979 гг. и холодного лета 1978 г., предшествовавшего перезимовке. Тогда многие виды деревьев и кустарников получили значительные повреждения вплоть до гибели некоторых, в том числе и те, которые на протяжении многих лет считались высоко зимостойкими [2]. С учетом результатов перезимовки впервые был составлен порайонный озеленительный ассортимент для всей территории Республики Коми.

В последние годы (10–15 лет) в ходе изучения древесных растений у них наблюдаются существенные изменения в росте и развитии, направленные в сторону ускоренного прохождения фенологических фаз. Растения реже стали подвергаться воздействию низких температур в зимнее время и достигли высоких размеров [3]. Все это говорит о том, что в Республике Коми идет постепенное потепление климата. Об этом свидетельствуют и метеоданные, полученные от Коми республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС) [3]. Общеизвестно, что любое изменение климата в целом приводит к аномальным явлениям погодных условий. Они могут пагубно влиять на состояние жизнедеятельности

древесных растений. Так, в последние годы в Республике Коми наблюдаются резкие перепады температур как в осенне-зимние, так и зимне-весенние месяцы при полном отсутствии снежного покрова. Причем температуры могут иметь как отрицательные, так и положительные значения. Подобными метеоусловиями характеризовался осенне-зимний период 2009–2010 гг. Именно в этот период, по нашему мнению, растения получили повреждения в значительной степени. Ноябрь отличался теплой погодой с обилием осадков в виде дождя. В отдельные дни температура повышалась до +3°C. В начале второй декады месяца и конце третьей наблюдалось кратковременное похолодание, температура опускалась до -29°C. В первой декаде декабря преобладала очень теплая погода, максимальная температура воздуха в течение 1-3 дней повышалась до +3°C. Во второй и третьей декадах преобладала очень холодная погода. Наиболее сильные морозы наблюдались в период с 14 по 19 декабря. Температура в эти дни понижалась до -44°C (по данным ЦГМС). В период значительного похолодания во второй декаде декабря отмечался недобор осадков (42–73% нормы). Кроме этого, во время сильных морозов наблюдалась очень ветреная погода, способствовавшая усилению воздействия отрицательных температур на растения.

В задачу наших исследований входило обследование древесных растений всей коллекции ботанического сада после зимы 2009–2010 гг. с целью выявить у отдельных видов степень зимних повреждений и их общее состояние, а также проследить дальнейшее их развитие в течение двух последующих лет.

Материал и методы исследований

В настоящее время в ботаническом саду собрана довольно большая и уникальная коллекция древесных растений порядка 700 таксонов. Из них более половины привлечены в интродукцию за последние десять лет. По материалам многолетних исследований опубликованы работы [4–8], в которых приводятся сведения о росте и развитии древесных интродуцентов, характере приспособления их к новым условиям среды, зимостойкости. В предлагаемой работе даются сведения о результатах перезимовки древесных растений ботанического сада 390 ботанически выверенных таксонов после зимы 2009–2010 гг. Возраст у растений составляет не менее восьми лет. Состояние жизнедеятельности растений после зимы оценивали в течение вегетационных периодов 2010–2011 гг. визуальным методом. Зимостойкость оценивали по 7-ми балльной шкале, принятой в отделе дендрологии Главного ботанического сада РАН им. Н.В. Цицина. Она включает следующие ступени зимостойкости: I – растение не обмерзает; II – обмерзает не более 50% длины однолетних побегов; III – обмерзает от 50 до 100% длины однолетних побегов; IV – обмерзают более старые побеги; V – обмерзает надземная часть до снегового покрова; VI – обмерзает вся надземная часть; VII – растение вымерзает цели-

ком. Измерения у растений по высоте проводили осенью после окончания роста побегов у наиболее развитых экземпляров. Так как многие виды растений представлены в коллекции малым количеством экземпляров и единично, математическую обработку результатов измерений не проводили. Латинские названия видов и авторов приведены по С.К. Черпанову [9].

Результаты и обсуждение

Результаты обследования 390 таксонов древесных растений после зимы 2009–2010 гг. в течение текущего вегетационного периода показали, что без следов обмерзания перезимовало 134 таксона, что составило 34,4% (табл. 1). По среднемноголетним данным число видов с абсолютной зимостойкостью насчитывалось 159, или 40,8%. Таким образом, в 2010 г. у 25 интродуцированных видов впервые были отмечены зимние повреждения. В основном это новые виды растений, привлеченные в интродукцию сравнительно недавно. Перечислим некоторые из них: *Sorbus austriaca* (отсутствующие латинские названия авторов приведены в табл. 2), *S. mougeotti*, *Lonicera alpigena*, *L. involucrata*, *L. sovetkinae* V. Tkaczenko, *Betula lutea* Michx., *B. mandshurica* (Regel) Nakai, *Salix alata* Kar. et Kir. ex Stschegl., *S. fragilis* 'Tortuosa' и *S. 'Elegantissima'*, *Rubus odoratus*, *Sambucus canadensis*, *Philadelphus pubescens*. Всего из обследуемых растений 252 таксона получили повреждения в той или иной степени. Если по среднемноголетним данным число таксонов со значительной степенью обмерзания (баллы V–VI) насчитывалось 142, то после зимы 2009–2010 гг. – увеличилось до 193 (табл.1). То есть растения 51 таксона значительно пострадали. В табл. 2 приводится список наиболее сильно пострадавших деревьев и кустарников.

Таблица 1

Оценка зимостойкости древесных растений различного географического происхождения в 2009–2010 гг. сравнительно со средними многолетними данными

Географический район	Число видов и форм	Степень обмерзания (баллы)			
		не обмерзают (I)	слабо (II–III)	средне (IV–V)	сильно (VI–VII)
Евразия	45	<u>33(73,3)</u> 33(73,3)	<u>5(11,1)</u> 5(11,1)	<u>3(6,7)</u> 3(6,7)	<u>4(8,9)</u> 4(8,9)
Европа	55	<u>17(30,0)</u> 14(25,4)	<u>6(11,0)</u> 6(10,9)	<u>16(29,0)</u> 17(30,9)	<u>16(29,0)</u> 18(32,8)
Кавказ, Средиземноморье	10	-	<u>5(50,0)</u> 1(10,0)	<u>2(20,0)</u> 1(10,0)	<u>3(30,0)</u> 8(80,0)
Средняя Азия	7	<u>3(42,8)</u> -	<u>1(19,3)</u> -	- 2(28,6)	<u>3(42,8)</u> 5(71,4)
Сибирь	18	<u>13(72,2)</u> 12(66,6)	<u>4(22,2)</u> 3(16,7)	<u>1(5,6)</u> 3(16,7)	- -
Восточная Сибирь, Дальний Восток	19	<u>14(73,7)</u> 10(52,6)	<u>3(15,3)</u> 1(5,2)	- 4(21,1)	<u>2(11,0)</u> 4(21,1)

Окончание табл. 1

Географический район	Число видов и форм	Степень обмерзания (баллы)			
		не обмерзают (I)	слабо (II–III)	средне (IV–V)	сильно (VI–VII)
Дальний Восток, Восточная Азия	39	19(48,7) 13(33,3)	8(20,6) 4(10,3)	5(12,9) 10(25,6)	7(17,7) 12(30,8)
Восточная Азия	26	4(15,5) 4(15,5)	7(26,9) 4(15,5)	8(30,7) 10(38,4)	7(26,9) 8(30,6)
Северная и северо-восточная часть Северной Америки	23	15(62,2) 11(47,8)	4(17,4) 6(26,1)	3(13,0) 4(17,4)	1(4,3) 2(8,7)
Восточная и восточно-центральная часть Северной Америки	26	6(23,1) 6(23,1)	13(50,0) 5(19,2)	5(19,2) 5(19,2)	2(7,6) 10(38,5)
Западная часть Северной Америки	13	1(7,7) 1(7,7)	2(15,4) 3(23,1)	6(46,1) 4(30,8)	4(30,8) 5(38,4)
Гибриды, формы, сорта	109	34(31,2) 30(27,5)	31(28,4) 25(22,9)	29(26,6) 32(29,3)	15(13,7) 22(20,2)
Всего	390	159(40,8) 134(34,3)	89(22,7) 63(16,2)	78(20,0) 95(24,3)	64(16,5) 98(25,2)

Примечание: в числителе – среднеемноголетние данные, в знаменателе – данные за 2009–2010 гг.; в скобках указаны проценты

Таблица 2

Виды древесных растений ботанического сада, наиболее сильно пострадавшие после зимы 2009–2010 гг., их степень зимостойкости и состояние

Название вида и формы	Год поступления образца в интродукцию	Степень зимостойкости, баллы		Высота растения, м	
		по среднеемноголетним данным	после зимы 2009–2010 гг.	до 2010 г.	в 2010 г. осенью
<i>Acer campestre</i> L.	1946	IV–V	V–VI	3,2	1,8
<i>A. ginnala</i> Maxim.	1946	I(IV)	IV–V	5,8	1,2
<i>A. mono</i> Maxim.	2003	II	IV	1,3	0,6
<i>A. trautvetteri</i> Medw.	1946	IV–V	V–VI	3,0	1,2
<i>Actinidia arguta</i> (Siebold et Zucc.) Planch. ex Miq.	2005	II–III	VI	1,6	1,0
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem	2005	I–II	VI	1,4	0,35
<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliott	1940	I(IV)	IV–V	2,5	1,5

Продолжение табл. 2

Название вида и формы	Год поступления образца в интродукцию	Степень зимостойкости, баллы		Высота растения, м	
		по среднеемноголетним данным	после зимы 2009–2010 гг.	до 2010 г.	в 2010 г. осенью
<i>Berberis nummularia</i> Bunge	1976	I(III)	VI	1,25	0,6
<i>B. vulgaris</i> L.	1946	I(III)	IV	1,6	1,1
<i>B. v. 'Atropurpurea'</i>	1976	I(II)	IV–V	2,4	1,8
<i>Buxus sempervirens</i> L.	2001	II(IV)	V	0,52	0,28
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	неизв.	II	V–VI	3,6	2,2
<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Siebold Et Zucc.) Endl.	1998	I	VI	1,15	0,48
<i>Corylus avellana</i> L.	1998	I	VI	2,2	0,6
<i>Cotoneaster horizontalis</i> Dcne.	2002	II	V	0,5	0,5
<i>Crataegus arnoldiana</i> Sarg.	2001	I	V–VI	1,6	0,65
<i>C. macracantha</i> Lodd.	2001	I	V	1,2	0,8
<i>Forsythia giraldiana</i> Lingelsh.	1999	I	V–VI	1,4	0,5
<i>F. ovata</i> Nakai	2004	I	V–VI	0,85	0,65
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	1977	I(V)	III–V	3,8	3,8
<i>Genista tinctoria</i> L.	1986	II–III	IV–V	0,95	0,42
<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.	1996	I(VII)	IV–VII	2,2	0,45
<i>Hydrangea arborescens</i> L. 'Sterilis'	1998	II–III(VI)	V–VI	0,65	0,65
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.	1938	I	IV	8,0	6,8
<i>Laurocerasus officinalis</i> M. Roem.	1987	I(IV)	V–VI	1,8	0,25
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	2002	I–II	IV–V	0,82	0,4
<i>Lonicera alpigena</i> L.	2002	I	IV–V	0,65	0,35
<i>L. involucrata</i> (Richards.) Banks ex Spreng.	1999	I	III	0,86	0,6
<i>L. periclymenum</i> L.	2001	IV	V–VI	1,25 (на опорах)	1,0
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	1991	II(IV)	V–VI	2,5 (на опорах)	1,3
<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Aureus'	1983	I(V)	V–VI	1,8	1,2
<i>Ph. floridus</i> Beadle	1996	I	V	1,2	0,6
<i>Ph. pubescens</i> Loisel.	1999	I	IV–V	1,8	0,8

Окончание табл. 2

Название вида и формы	Год поступления образца в интродукцию	Степень зимостойкости, баллы		Высота растения, м	
		по среднемуголетним данным	после зимы 2009–2010 гг.	до 2010 г.	в 2010 г. осенью
<i>Ph. tenuifolius</i> Rupr. et Maxim.	1978	II(VI)	(V–VI)	1,2	0,4
<i>Physocarpus amurensis</i> Maxim.	1998	I	III	1,6	1,6
<i>Ph. opulifolius</i> (L.) Maxim.	1946	I(V)	V–VI	2,3	0,5
<i>Ph. o. 'Luteus'</i>	1983	I	V–VI	2,4	0,8
<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss 'Conica'	2004	I–II	III–IV	0,68	0,45
<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	2002	III	VI–VII	1,8	1,3
<i>P. domestica</i> L.	2001	I	VI	2,4	0,8
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirch.) Franco	2002	I–II	V	0,85	0,65
<i>Ptelea trifoliata</i> L.	2003	III–IV	V–VI	1,35	0,4
<i>Pyrus elaeagnifolia</i> Pall.	1998	III–IV	V–VI	0,65	0,28
<i>Quercus borealis</i> Michx.	1998	III	V–VI	0,8	0,6
<i>Rhamnus catharticus</i> L.	1976	I	IV–V	3,2	1,2
<i>Rosa glauca</i> Pourr.	1998	I(IV)	V	2,2	1,8
<i>R. spinosissima</i> L. 'Plena'	1955	I–II	V–VI	2,8	1,2
<i>R. x 'Царуца Севера'</i>	неизв.	II(IV)	IV	1,2	1,2
<i>Rubus odoratus</i> L.	1997	II–III	V–VI	1,8	1,8
<i>Salix fragilis</i> L. 'Tortuosa'	2002	II	IV–V	2,2	2,2
<i>Sambucus canadensis</i> L.	2004	II–III	IV–V	2,2	1,8
<i>Sorbus austriaca</i> (G. Beck) Held.	1998	I	V–VI	2,4	0,6
<i>S. mougeottii</i> Soy.-Will. et Codr.	1998	I	IV	0,8	0,6
<i>Syringa vulgaris</i> L.	1946	I–II	V–VI	3,0	1,4
<i>S. v. 'Alba'</i>	2002	I–II	V–VI	1,6	0,6
<i>Swida amomum</i> L.	1999	I–III	VI	1,4	0,55
<i>Taxus baccata</i> L.	2002	I–II	IV	0,82	0,58
<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Pyramidalis Aurea'	2002	II–III	V	1,6	0,85
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	2006	I	IV	0,45	0,4

Примечание: в скобках даны показатели зимостойкости в особо суровые зимы

Особенностью перезимовки древесных растений в 2009–2010 гг. явилось то, что значительные обмерзания вплоть до основания кустов получили

многие виды невысоких в наших условиях кустарников таких родов, как *Philadelphus* L., *Berberis* L., *Physocarpus* Maxim., *Rosa* L., *Lonicera* L., которые десятилетиями переносили зимы вполне благополучно. Например, обмерзание многолетних побегов почти до основания второй раз произошло у *Physocarpus opulifolius* родом из Северной Америки. Впервые значительное обмерзание данного вида было отмечено 30 лет тому назад после экстремальной зимы 1978–1979 гг. В течение 20 лет не имели серьезных повреждений виды рода *Philadelphus*. Благодаря этому некоторые экземпляры чубушника достигли высоты около 2-х м, красиво цвели и плодоносили. После зимы 2009–2010 гг. практически у всех видообразцов побеги обмерзли до основания кустов. Таким образом, виды чубушника в наших условиях из-за регулярного обмерзания не могут достигнуть высоких размеров, свойственных им на родине. Не достигают оптимальных размеров в высоту виды рода *Berberis*. В 2009–2010 гг. наблюдалась массовая гибель многолетних побегов у многих видов барбариса новой коллекции. Побеги обмерзли в основном до снеговой линии. Так как высота снежного покрова в начале зимы была ниже обычного, линия обмерзания у растений приближалась к корневой шейке. О том, что барбарисы в данную зиму пострадали наиболее сильно, можно судить на примере растений *Berberis vulgaris* 'Atropurpurea', выращенных в 1976 г. За довольно продолжительный срок изучения обмерзание кустов произошло впервые. В эту зиму значительно пострадали виды, формы и сорта рода *Rosa*. Второй раз после 30-летнего перерыва сильному обмерзанию подверглись кусты *Rosa spinosissima* 'Plena', несущих махровые цветки бело-кремовой окраски. В различной степени подмерзли побеги у *Rosa rugosa* Thunb. 'Alba' и *R. glauca*. Хуже чем в предыдущие годы перенесли зиму другие представители невысоких кустарников, относящихся к разным родам, например, *Aronia melanocarpa*, *Cerasus fruticosa* (Pall.) G. Woron., *Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Euonymus europaeus* L., *Forsythia giralidiana*, *Hydrangea arborescens* 'Sterilis', *Genista tinctoria*, *Laurocerasus officinalis*, *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt., *Spiraea x billardii* Dipp., *S. x bumalda* Burv., *S. miyabei* Koidz., *Symphoricarpos albus* (L.) Blake, *Swida amomum* и другие. Степень зимостойкости этих видов варьировала от III до VI баллов. Из древесных лиан зимой 2009–2010 гг. значительно пострадал *Parthenocissus quinquefolia*. Его многолетние побеги, расположенные на опорах, обмерзли почти до основания. Благодаря хорошему возобновлению и быстрому росту позволило партеноциссусу, или винограду пятилистковому, уже через год восстановить прежние размеры. В течение двух последующих лет наблюдений за состоянием древесных растений после зимы 2009–2010 гг. установлено, что все поврежденные виды кустарников сохранились, растения исключительно быстро начали восстанавливать форму роста. Этому, безусловно, способствовали погодные условия аномально жаркого лета 2010 г., благодаря которым растения к

концу сезона имели максимальные приросты и хорошую подготовку к зимним условиям. Об этом свидетельствуют данные табл. 2. Кроме того, жаркое и сухое лето способствовало массовому заложению генеративных почек у растений, в том числе на однолетних приростах у сильно пострадавших видов. Так, в 2011 г. массовое цветение и плодоношение отмечалось у многих видов кустарников родов *Philadelphus*, *Berberis*, *Rosa*. Наличие большого количества цветков на однолетних побегах прошлого года для растений рода чубушник является довольно редким явлением.

В отличие от кустарников невысоких размеров, у деревьев и высоких кустарников зимние повреждения были менее значительными, следы обмерзания носили главным образом локальный, или очаговый характер, гибели у растений не наблюдалось. Из лиственных деревьев в большей степени пострадал единственный экземпляр *Juglans mandshurica* образца 1938 г., который вот уже на протяжении 35 лет ни разу не обмерзал. Полная гибель части ствола вместе с кроной проявилась у ореха только на следующий год после очередной перезимовки. Восстановление кроны дерева идет за счет образования новых боковых побегов на живой части ствола. В то же время молодые растения ореха маньчжурского 10-летнего возраста перезимовали вполне благополучно. Но и они были несколько повреждены минусовыми температурами, о чем свидетельствовало более позднее и медленное развитие растений в весенне-летний период. После многолетнего перерыва обмерзанию подверглись деревья *Fraxinus excelsior* – европейского вида, растущего в условиях сада высоким многоствольным кустом. За летний период при обследовании была выявлена часть стволов полностью погибших. В зиму 2009–2010 гг. в большей степени обмерзли многолетние побеги у некоторых видов рода *Acer* L. (табл. 2). Полная гибель многолетних стволов была отмечена у одного экземпляра *A. ginnala* дальневосточного происхождения образца 1946 г., являющегося в местных условиях самым зимостойким видом. Восстановление растения идет за счет побегов возобновления, образующихся у корневой шейки. Более успешно перенесли указанную зиму хвойные деревья. Массовое повреждение хвои как однолетней, так и многолетней, отмечалось у *Picea pungens* Engelm. 'Glauca', *Pinus peuce* Gris., *P. strobus* L., что проявилось в ее окраске. Например, деревья *P. pungens* 'Glauca' – ели колючей формы голубой в течение 1–1,5 месяца имели коричневый цвет, пока не отросли новые побеги. Хуже перенесли зиму молодые саженцы *Pinus strobus* – сосны веймутова, у которых помимо хвои частично были повреждены двулетние побеги. После перезимовки растения оправались только через год. В первый год отрастание побегов наблюдалось на две недели позднее обычных сроков – в начале июня, а прирост побегов составил всего 3–5 см, на второй год – уже 18–24 см, что соответствовало средним значениям.

Известно, что степень зимостойкости интродуцированных видов древесных растений зависит

не только от таксономической принадлежности, но и от их географического происхождения. В табл. 1 показано распределение числа видов по степени зимостойкости согласно их географическому происхождению после зимы 2009–2010 гг. в сравнении со среднемноголетними данными. Наблюдениями установлено, что в обычные зимы в распределении числа видов по зимостойкости согласно их географическому происхождению долгое время сохраняется постоянство. В 2009–2010 гг. произошло нарушение этого постоянства. Почти по каждому географическому району (кроме растений Евразии, куда вошла большая часть местных видов) выявлен довольно высокий процент сильно подмерзших видов. Те виды, которые из года в год имели достаточно высокую зимостойкость, перешли в группу растений со значительной степенью обмерзания. Например, перспективной для интродукции в Республике Коми является дендрофлора Дальнего Востока, многие представители которой в условиях ботанического сада давно проявили себя как высоко зимостойкие растения [8]. Однако в 2009–2010 гг. большинство видов пострадало, например, *Aralia elata*, *Philadelphus tenuipholius*, *Physocarpus amurensis*, *Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim. и др. Немного лучше перенесли условия перезимовки восточноазиатские виды, хотя по многолетним наблюдениям они в зимостойкости уступают дальневосточным. Хуже, чем в прошлые годы, перезимовали виды растений из Северной Америки. Если по среднемноголетним данным число североамериканских видов со значительной степенью обмерзания (баллы V–VI) составляло где-то 30%, то после перезимовки – до 50%. Выявлено также, что более сильные повреждения получили виды из Северной Америки, ареал которых находится в восточных и восточноцентральных областях: *Crataegus arnoldiana*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Ptelea trifoliata*, *Rubus odoratus* и др. Самым перспективным районом для интродукции древесных растений в местных условиях, как нами установлено, является Сибирь. Однако некоторая часть сибирских видов, ранее не подмерзавших, в эту зиму пострадали, например, *Cotoneaster lucidus*, *Lonicera altaica*, *Rhododendron ledebourii* Pojark. Пожалуй, без существенных изменений сохраняется соотношение числа видов с различной степенью зимостойкости у европейских деревьев и кустарников, которым в наших условиях свойственно регулярное обмерзание. Более всего в эту зиму пострадали виды, встречающиеся на Кавказе и Средиземноморье (у 80% видов побеги обмерзли либо до линии снежного покрова, либо до основания куста), а также растения из Средней Азии (табл. 1). Несколько хуже, по сравнению с предыдущими годами, перенесли условия перезимовки растения садовых форм, гибридов и сортов. Таким образом, из каких географических районов более успешно перенесли неблагоприятные условия перезимовки виды древесных растений сказать трудно, так как почти по каждому району отмечается довольно высокий процент видов с сильными повреждениями.

Выводы

В связи с постепенным изменением климата в Республике Коми, влекущем за собой аномалии в погодных условиях, в отдельные годы создаются весьма неблагоприятные условия для перезимовки древесных интродуцированных растений. Такими условиями характеризовалась зима 2009–2010 гг., после которой большинство древесных растений, в сравнении с другими годами, значительно повредились (193 вида против 142). Растения пострадали не столько от воздействия низких температур в зимние месяцы, сколько от их резких перепадов в осенне-зимний период при низком уровне снежного покрова.

Более значительные повреждения получили кустарники невысоких размеров, в том числе многочисленные представители родов *Philadelphus*, *Berberis*, *Physocarpus*. Благодаря высокой побегообразовательной способности они в течение двух летних сезонов большей частью восстановили прежние размеры. Вполне успешно перенесли условия перезимовки хвойные деревья. Обмерзание видов древесных растений практически коснулось всех географических районов, откуда они происходят.

Результаты перезимовки древесных растений в ботаническом саду после аномальной зимы дают ценный материал при решении вопроса о внедрении в районы республики новых видов. Зима 2009–2010 гг. явилась своего рода испытанием интродуцентов на зимостойкость. Те виды, которые успешно перенесли зиму, и те, у которых побеги в той или иной степени обмерзли, но растения быстро восстановились, могут успешно выращиваться в более северных районах.

Литература

1. *Климат Сыктывкара*. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 192 с.
2. *Мартынов Л.Г.* О перезимовке древесных растений в дендрарии Коми филиала АН СССР в 1978/79 гг. // Бюл. Гл. ботан. сада. 1982. Вып. 126. С. 12–16.
3. *Мартынов Л.Г.* О зимостойкости древесных интродуцентов в Ботаническом саду Института биологии Коми научного центра // Проблемы современной дендрологии: Матер. Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. чл.-корр. АН СССР П.И. Лапина. М., 2009. С. 220–222.
4. *Чарочкин М.М.* Основные итоги научных исследований по интродукции растений в Ботаническом саду Института биологии Коми филиала АН СССР // Изв. Коми фил. Геогр. об-ва СССР. 1970. Т. II, вып. 2 (12). С. 123–126.
5. *Мартынов Л.Г.* Сезонный ритм развития и зимостойкость древесных растений в Коми АССР // Бюл. Гл. ботан. сада. 1986. Вып. 139. С. 21–27.
6. *Скупченко Л.А.* Интродукция рода барбарис (*Berberis L.*) // Введение в культуру и сохранение на Севере коллекций полезных растений. Екатеринбург, 2001. С. 112–122.
7. *Скупченко Л.А., Мишуров В.П., Волкова Г.А., Портнягина Н.В.* Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми (Итоги работы Ботанического сада за 50 лет). СПб.: Наука, 2003. Т. III. 214 с.
8. *Мартынов Л.Г.* Интродукция древесных растений флоры Дальнего Востока в среднетаежной подзоне Республики Коми // Сиб. экол. журн. 2011. Т.18, №3. С.349–355.
9. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.

Статья поступила в редакцию 25.01.2012.

УДК 528.88

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ СУБАРКТИЧЕСКОГО ТЕРМАЛЬНОГО УРОЧИЩА ПЫМВАШОР)

Е.В. ПОЛЯКОВА, М.Ю. ГОФАРОВ

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск
lenpo26@yandex.ru*

В статье рассмотрена возможность применения качественно нового метода получения цифровой аэрофотосъемки с использованием беспилотного летательного аппарата для схематического картирования локальной труднодоступной территории, представляющую из себя уникальную термальную экосистему в условиях Заполярья.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, термальное урочище, цифровая модель местности

E.V. POLYAKOVA, M.YU. GOFAROV. APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAPHY FROM THE UNMANNED AERIAL VEHICLE AT DRAWING UP OF DIGITAL MODEL OF A DISTRICT (SUBARCTIC THERMAL NATURAL BOUNDARY PYMVASHOR, AS AN EXAMPLE)

The possibility of application of a qualitatively new method for obtaining digital aerial photography with use of the unmanned aerial vehicles for schematic mapping of the local remote territory, being a unique thermal ecosystem in conditions of the Polar region is considered.

Key words: unmanned aerial vehicle, thermal natural boundary, digital model of a district

Введение

В средствах массовой информации и специальной литературе активно пропагандируется идея развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как одного из перспективных направлений авиационной фотосъемки. Главные достоинства БПЛА – это их относительно низкая цена, малый вес, возможность уменьшения габаритных размеров, дистанционное управление на значительных расстояниях. По этому пути совершенствуются военные разработки в области беспилотной летательной техники. В последнее десятилетие БПЛА активно используются в гражданской сфере человеческой деятельности и решают задачи, которые не под силу пилотируемой авиации. Подробно о применении БПЛА для решения гражданских задач описано в работе [1]. В нашей статье рассмотрена возможность схематического картирования локальной территории, представляющую из себя уникальную термальную экосистему в условиях Заполярья.

На сегодняшний день известен опыт проведения традиционной аэрофотосъемки в труднодоступных районах Крайнего Севера и использование полученных материалов в различных ГИС-проектах [2]. Применение беспилотной летательной техники в подобных условиях крайне редко, а для исследуемого района неизвестно. Однако для комплекс-

ного изучения функционирования уникальной термальной экосистемы и дальнейшего ведения мониторинга составление цифровой модели местности является необходимым условием.

Местоположение района исследований.

Термальное урочище Пымвашор располагается в восточной части Большеземельской тундры между ручьями Пымвашор и Дэршор – притоками реки Адзвы, прорезающими западный склон северной оконечности гряды Воргамусюр, входящей в состав гряды Чернышева [3]. В широком понимании под урочищем подразумевается часть ландшафта, отличная от остальной окружающей местности. Урочище Пымвашор уникально единственными известными на Крайнем Севере выходами минерально-термальных источников. Название урочища позаимствовано от одноименного ручья (в переводе с языка коми – «ручей горячей воды»), прорезающего известняковые горные породы и образующего живописный каньон. Это группа из восьми источников с общим дебитом 25–30 л/с, температурой воды от 18 до 28°C круглогодично [4]. Координаты центральной части урочища в месте выхода основного источника – 67°09'706" с.ш., 60°51'201" в.д.

Материалы и методы исследований. Работы по составлению цифровой модели термального урочища Пымвашор проводились в три этапа. На первом – изучались литературные сведения о ме-

стности, данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полученные со спутника Terra (EOS AM-1) с радиометром теплового излучения и отражения ASTER и Landsat-7, а также топографические карты масштаба 1:100000. Цифровая обработка сцен осуществлялась в программных пакетах ERDAS IMAGINE 9.3 и ESRI ArcGIS 9.3. На втором этапе коллективом Института экологических проблем Севера УрО РАН были проведены три комплексные экспедиции в район исследований – в августе и ноябре 2009 г. и в августе 2010 г. В результате осуществлена летняя аэрофотосъемка с борта вертолета Ми-8 и зимняя с БПЛА StopCam. На третьем этапе проводились непосредственная обработка полученного материала и составление цифровой модели урочища в программном пакете ESRI ArcGIS 9.3. Следует отметить, что в данном случае под цифровой моделью местности понимается цифровое представление пространственного объекта (термально-геоурочища), составленное в произвольной пространственной системе координат (план) и определяется как неориентированная модель местности.

Качественно новым методом получения информации о данной местности являлось применение цифровой аэрофотосъемки с БПЛА StopCam. Беспилотный летательный аппарат StopCam – это радиоуправляемая модель планерного самолета, оборудованная собственным GPS-приемником, миниатюрным автопилотом (производство компании MicroPilot, Canada), программой наземного контроля (HORIZON 3.4) и радиомодемом, позволяющим непрерывно наблюдать за передвижением самолета на экране монитора и в случае необходимости вносить коррективы в курс полета. Вес самолета около 3 кг, запускается «с руки», взлетает и садится автоматически, двигается по заранее спланированному в ГИС-программе маршруту. Для съемки использовалась цифровая фотокамера Sony Cyber-Shot DSC-W300. Выбор модели определялся компактностью, весом, а также размером матрицы (1/1,6"). Калибровочные параметры фотокамеры (фокусное расстояние, главная точка, дисторсия объектива) определялись с помощью программы GML Camera Calibration Toolbox 0.7. Фотокамера размещалась под крылом самолета, фиксировалась в специаль-

ном пластиковом боксе и ориентировалась для съемки в нади́р. Получаемые снимки имеют GPS-привязку, сведения о каждом снимке прописываются в log-файле полета.

Параметры внутреннего ориентирования, т.е. геометрия камеры (дисторсия и фокусное расстояние) и сенсора (главная точка) определялись при калибровке камеры до начала съемки. Внешнее ориентирование, определяющее положение и угловую ориентацию снимка, проводилось с использованием данных с сенсоров автопилота самолета (три угла поворота, высота и GPS-координаты, записанные в log-файле полета) по методике, описанной в руководстве пользователя ERDAS IMAGINE 9.3 (для модуля Stereo Analyst).

Траектория и основные параметры полета отображены на рис. 1, средняя скорость движения самолета 60 км/ч, высота – 254 м, перекрытие сним-



Рис. 1. Маршрут и основные показатели полета во время движения самолета в программе наземного контроля

ков составило 80 % по маршруту полета и 60 между маршрутами.

Формирование ортофотоплана осуществлялось в программном пакете ERDAS IMAGINE 9.3 Stereo Analyst, дальнейшее оформление и геопривязка к пространственным данным (топографические карты масштаба 1:100000, данные ДЗЗ ASTER и Landsat-7) проводились в ESRI ArcGIS 9.3. Для дешифрирования аэрофотосъемки использовались данные наземных наблюдений – геоботанические описания и GPS-привязка по навигатору Garmin Gpsmap 78.

Результаты работ и обсуждения. По ландшафтной классификации [5] исследуемый район относится к ландшафтам низменных платформенных равнин, моренных в области среднечетвертичного оледенения, местами с лессовидными суглинками. Растительность представлена кустарниковыми, кустарничковыми и кочкарно-пушицевыми

тундрами с карликовой березкой и ивами (филиколистной, лапландской и др.). Однако данный район может быть отнесен также и к предтундровым редколесьям (березово-еловые) в сочетании с тундрами (лесотундра). Здесь леса концентрируются преимущественно в долинах рек, но иногда небольшие группы деревьев растут на вершинах и склонах отдельных возвышенностей. В целом же водоразделы полностью безлесны. Для определения общей ландшафтной характеристики региона и выявления территорий с повышенной биомассой за счет кустарниковых зарослей и редколесий были использованы данные ДЗЗ со спутника Landsat-7. Детальное выделение ландшафтных фаций производилось по средствам наземных замеров (серия геоботанических описаний) и результатам аэрофотосъемки с БПЛА и Ми-8 в ходе экспедиционных работ [6].

Следует отметить, что по сравнению со спутниковыми изображениями и традиционной аэрофотосъемкой, аэрофотосъемка с БПЛА имеет существенные преимущества. Во-первых, высокое разрешение получаемых снимков: максимальное – до 1–2 см (при высоте полета 30–50 м), среднее – 8–10 см (при высоте 250–300 м). Во-вторых, получать снимки и проводить их первичную обработку можно в течение очень короткого времени, не покидая поля работ. В-третьих, возможность проведения съемки локальных и труднодоступных территорий, космическая съемка и традиционная аэрофотосъемка которых не являются рентабельными. В-четвертых, качество получаемых снимков никак не зависит от облачности, поскольку можно проводить съемку под облаками в пасмурные дни, что является особенно актуальным для северных регионов. И, наконец, рентабельность самой съемки: самолет работает на комплексе Po-Li аккумуляторных батарей. Тем самым исключаются затраты на топливо, как при авиационной съемке [7].

На основе полученного зимнего панорамного изображения с БПЛА StopCam, приведенного на рис. 2, а также с использованием летней авиационной съемки, космической информации со спутника Terra ASTER (дата съемки 9.07.2003, время 17 час. 9 мин. 56 сек.), топографических карт масштаба 1:100000, был сформирован послойный ГИС-проект термального урочища Пымвашор. На рис. 3 представлена цифровая модель урочища, отображающая все его основные элементы: растительные фации (тундровые участки, пойменные луга и кустарники, березовые и еловые редины), скальные

выходы горных пород, перепады высот в изолиниях рельефа, выходы термальных источников на дневную поверхность, карстовую пещеру Хэмят-Пээнзи. На зимнем варианте данной схемы имеются также незамерзающие участки ручья Пымвашор и промоины в местах впадения термальных водотоков [8].

С помощью математического аппарата программного пакета ESRI ArcGIS 9.3 было подсчитано процентное соотношение в пределах урочища площадей основных дешифрируемых ландшафтных фаций (см. таблицу).

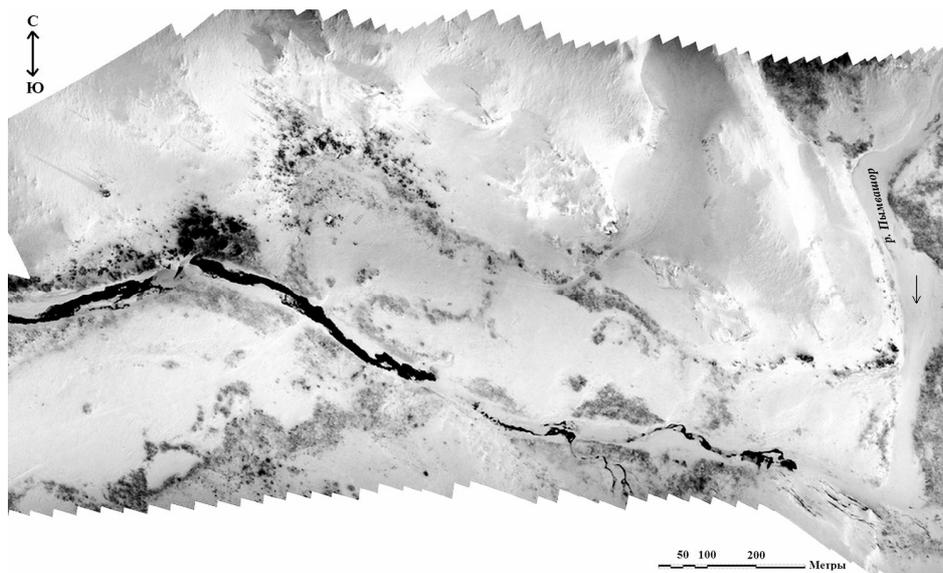


Рис. 2. Зимняя мозаика снимков термального урочища Пымвашор, полученная с беспилотного летательного аппарата.

Соотношение площадей ландшафтных фаций в пределах термального урочища Пымвашор

Ландшафтная фация	Площадь, %
Березовые редины	1,29
Еловые редины	7,70
Отмели и берега вдоль ручья Пымвашор	2,12
Кустарники	15,97
Луга	39,96
Скальные выходы и обрывы	1,94
Тундра	31,02
Итого:	100,00

Выводы

На Земле существует огромное количество локальных территорий, представляющих самый разнообразный научный и практический интерес. В силу различных причин не всегда имеется возможность заказать или приобрести съемку подобных участков с космических аппаратов, либо традиционным авиационным способом. В то время как съемка с беспилотных летательных аппаратов помогает разрешить эти проблемы. При проведении исследований на уникальных территориях логично применять трехступенчатый метод получения ин-

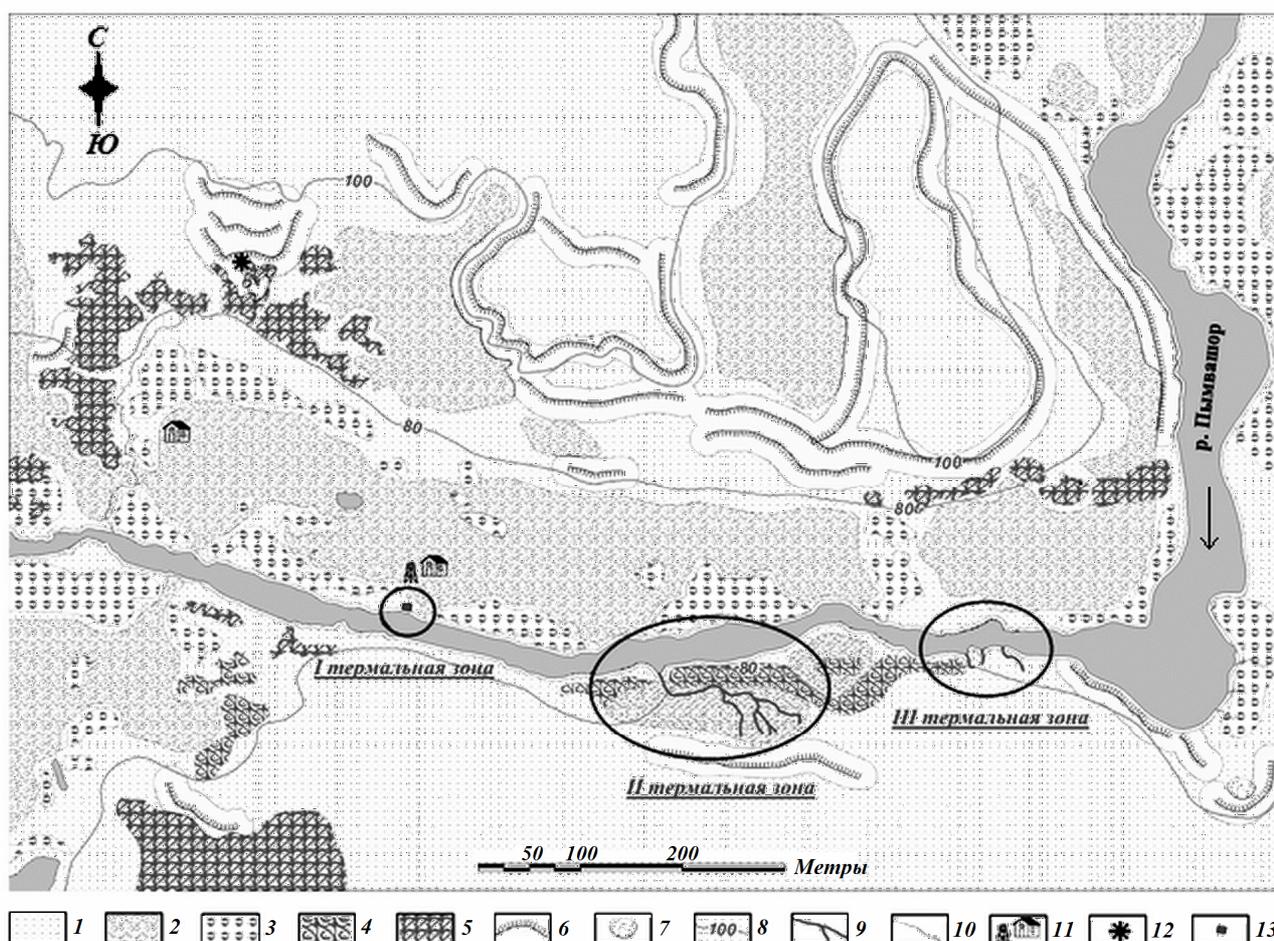


Рис. 3. Цифровая модель термального урочища Пымвашор: 1–7 – ландшафтные фации: 1 – тундровые участки, 2 – пойменные луга, 3 – пойменные кустарники, 4 – березовые редины, 5 – еловые редины, 6 – скальные выходы и обрывы, 7 – останец; 8 – изолинии рельефа; 9 – термальные водотоки; 10 – холодные ручьи; 11 – балок и заброшенная буровая вышка; 12 – пещера; 13 – термальный бассейн.

формации: проработка картографической, космической и литературной информации – детальная аэрофотосъемка с БПЛА с наземными исследованиями – камеральная обработка полученных материалов в ГИС-среде.

В нашем случае приведен пример составления цифровой модели уникальной термальной экосистемы Пымвашор на основе аэрофотосъемки с БПЛА. В результате проведено дешифрирование основных ландшафтных фаций, подсчитано их площадное соотношение, а также распределение в пределах урочища. Определено, что ядром урочища является ручей Пымвашор, который окаймляют последовательно фация кустарников, луговая фация, фация еловых редин и, наконец, границей урочища можно считать скальные обнажения и крутые склоны, выходящие на водораздельную тундру. Березовая фация является очень локальной и приуроченной исключительно к выходам теплых вод.

Литература

1. Соколов В.В., Теряев Е.Д. Беспилотные летательные аппараты: некоторые вопросы развития и применения (обзор по материалам публикаций в Интернете) // Мехатроника, автоматизация, управление. М.: Новые технологии, 2008. № 2 (83). С. 12–24.
2. Андреев Г.Г., Беляева Н.В., Чабан Л.Н. Комплексное использование материалов космической и аэрофотосъемки в геоинформационных технологиях экологического мониторинга труднодоступных территорий Сибири и Крайнего Севера // Исследование Земли из космоса. М., 2004. №4. С. 63–72.
3. Геология СССР. Т. II. Архангельская, Вологодская области и Коми АССР. Ч. I. Геологическое описание. М.: Недра, 1963.

4. *Семь чудес света в одном регионе // Северо-Запад: сегодня и завтра.* СПб.: Ассоциация «Северо-Запад», 2009. № 4(7). С. 31–34.
5. *Национальный атлас России.* Т. 2. Природа и экология. М.: ФГУП «Госгисцентр», 2008.
6. *Полякова Е.В., Гофаров М.Ю.* Возможности подспутникового дистанционного зондирования наземных участков с использованием беспилотного летательного аппарата StopCam // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2011. Т. 8. № 4. С. 61–65.
7. *Полякова Е.В.* Возможности подспутникового ДЗЗ с использованием БПЛА StopCam в условиях Европейского Севера // *Вестник ПГУ. Сер. Естественные науки.* 2010. № 2. С. 22–26.
8. *Функционирование субарктической гидро-термальной экосистемы в зимний период /* Под ред. К.Г. Боголицына, И.Н. Болотова. Екатеринбург: УрО РАН. 2011. 252 с.

Статья поступила в редакцию 01.12.2012.

УДК 579.842.23

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАКТЕРИЙ *YERSINIA PSEUDOTUBERCULOSIS*, ВЫРАЩЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

А.В. ЧЕРНЯДЬБЕВ*, А.А. БЫВАЛОВ***, Б.А. АНАНЧЕНКО*, Л.Г. БУШМЕЛЕВА*, С.Г. ЛИТВИНЕЦ*

*Вятский государственный университет, г. Киров

**Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
cell.physiol@vyatsu.ru

Методами просвечивающей электронной и атомно-силовой микроскопии выявлены морфологические различия поверхностных структур бактерий *Yersinia pseudotuberculosis* в зависимости от температуры культивирования. При низкой (~10°C) температуре микробы оснащены жгутиками и более выраженным капсулоподобным слоем, чем клетки, выращенные при температуре до 37°C. Повышение температуры культивирования индуцирует формирование более электроноплотной и «бугристой» клеточной стенки, что, по-видимому, является одним из факторов адаптивной защитной реакции бактерий.

Ключевые слова: микробная клетка, *Yersinia pseudotuberculosis*, температура культивирования, электронная и атомно-силовая микроскопия, морфологические особенности

A.V. CHERNYADYEV, A.A. BYVALOV, B.A. ANANCHENKO, L.G. BUSHMELEVA, S.G. LITVINETS. MORPHOLOGICAL FEATURES OF BACTERIUM *YERSINIA PSEUDOTUBERCULOSIS* GROWN AT DIFFERENT TEMPERATURE CONDITIONS

Electron and atomic-force microscopy revealed the morphological differences of bacterial surface structures of *Yersinia pseudotuberculosis* depending on the temperature of cultivation. Microbes cultivated at low temperature (~10 °C) are equipped with flagella and have more visible capsule-like layer than those cells which were cultivated to 37 °C. The increase of cultivation temperature to 37 °C causes the formation of an electron dense “uneven” cell wall, which appears to be a factor in the adaptive defense reaction of the bacteria.

Key words: microbial cell, *Yersinia pseudotuberculosis*, temperature of cultivation, electron and atomic-force microscopy, morphological features

Yersinia pseudotuberculosis – типичный и яркий представитель возбудителей сапрозоонозных инфекций, способных активно существовать и размножаться во внешней среде (водоемы, почвы, растения), а также в организме различных животных [1]. Указанные качества бактерий реализуются на уровне как отдельных микробных клеток, так и бактериальных популяций и предполагают наличие у бактерий чрезвычайно широких адаптивных возможностей, которые проявляются в высокой пластичности процессов метаболизма и связанной с этим изменчивости морфологии микроба.

Внешние условия существования и гетерогенность популяции данного вида бактерий определяют структурную организацию размножающегося микробного сообщества: при выращивании на плотных питательных средах это выражается, например, в появлении S- и R-колоний, T⁺ и T⁻ колоний, при культивировании в жидких питательных средах отмечается различное взаиморасполо-

жение клеток (отдельно лежащие клетки, цепочки, скопление клеток в виде биопленки) [2–4]. Строе-ние клеток *Y. pseudotuberculosis*, выращиваемых *in vitro*, также зависит от условий культивирования, в том числе от состава питательной среды.

Из числа факторов внешней среды, влияющих на структурно-функциональные особенности бактерий *Y. pseudotuberculosis*, одним из наиболее значимых является тепловой. Возбудитель псевдотуберкулеза способен расти и размножаться в широком температурном диапазоне – от 2-4°C до 37°C и выше [3]. Результаты изучения его морфологии указывают на то, что по многим характеристикам бактериальные популяции, выращенные в интервале температур от 2 до 30 °C, относительно однородны, однако резко отличаются от культур, полученных при повышенной (35-38 °C) температуре, свойственной для теплокровных хозяев [5]. В этой связи интерес представляет исследование структурного и морфологического обеспечения микроб-

ной клеткой своего физиологического статуса того или иного метаболического состояния.

Материал и методы

Объект исследования – культуры штамма *Y. pseudotuberculosis* серотипа 1b из коллекции Н. Molaret (кат. № 474 музея микроорганизмов ФКУЗ РосНИПЧИ «Микроб»). Микробы выращивали на плотной питательной среде – питательном агаре («Биотехновация», Россия) при температуре 10 °С или 37 °С в течение 5 и 3 суток соответственно. Препараты для исследования на электронном про-

dotuberculosis, выращенные на плотной питательной среде при температуре 10 °С, представляют собой крупные палочковидные формы клетки, средние размеры которых составляют $2,18 \pm 0,57$ мкм. Полюса клеток обычно закруглены, хотя часто можно наблюдать особи с тупыми, как бы обрезанными концами (рис. 1). При указанной температуре выращивания бактерии окружены электронопрозрачной капсулоподобной слизистой оболочкой, которая, как правило, хорошо различима и четко очерчена (рис. 1). Слизистый слой имеет заметно большую толщину на полюсах клеток. При подготовке к

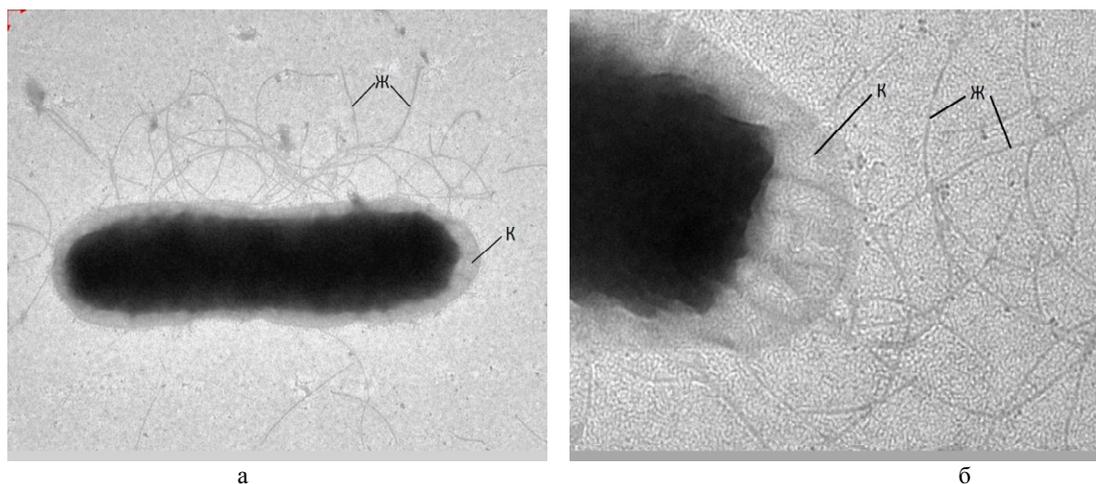


Рис. 1. Электронно-микроскопическая картина бактерий *Y. pseudotuberculosis*, выращенных при температуре 10 °С, увеличение: а – $\times 4000$; б – $\times 12000$. Примечание: К – капсулоподобный слой; Ж – жгутики.

свечивающем микроскопе готовили по широко применяемой методике. На медные сеточки наносили формваровую подложку, которую укрепляли напылением углерода. На подготовленные сеточки наносили около 0,5 мкл взвеси бактерий в концентрации 3–4 млрд. клеток в 1 мл, фиксированных в 5%-ном формалине. После 5-минутной выдержки избыток взвеси удаляли фильтровальной бумагой. Препарат трижды промывали дистиллированной водой, влагу удаляли фильтровальной бумагой. После высыхания на препарат напыляли пленку из платины толщиной около 7 нм. Исследование проводили с использованием микроскопа JEM-2100 фирмы JEOL (Япония) при ускоряющем напряжении 160 кВ.

Препарат для исследования методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) – капля (5 мкл) суспензии клеток в концентрации 3–4 млрд. клеток в 1 мл, фиксированных в 5%-ном формалине, нанесенная на свежесколотый пиролитический графит (через несколько секунд излишки удаляли кончиком фильтровальной бумаги). Образец готов к исследованию практически сразу после высыхания и не требует дополнительной подготовки. Сканировали образцы в полуконтактном режиме зондами NSG10. Исследование проводили на атомно-силовом микроскопе Ntegra Prima ЗАО «NT-MDT» (Россия).

Результаты и обсуждение

В результате исследований с использованием микроскопии установлено, что бактерии *Y. pseu-*

деления бактерий в месте образования перетяжки слизистый слой отсутствует.

Наиболее яркой отличительной особенностью бактерий *Y. pseudotuberculosis*, выращенных при данной температуре, является наличие жгутиков (рис.1, 2), толщина (диаметр) которых составляет около 10 нм, а длина варьирует в пределах 1 – 2,5 мкм и более. Количество жгутиков также варьирует от единиц до нескольких десятков на одну клетку. Трудность точного подсчета заключается в том, что при любых изменениях в состоянии культуры жгутики легко отделяются от бактерий, в том числе и в процессе приготовления препаратов для анализа. Жгутики в значительном количестве можно наблюдать отдельно лежащими в межклеточном пространстве.

На полюсах клеток бактерий наблюдаются более электроплотные области, что, по-видимому, объясняется большей концентрацией дистально расположенных внутриклеточных включений в виде гранул. Сами клетки имеют бугристую поверхность, неровности которой видны под капсулоподобным слоем на электронно-микроскопических снимках. Однако их форму можно лучше рассмотреть при анализе препаратов с помощью атомно-силового микроскопа (рис.2).

Анализ культуры бактерий *Y. pseudotuberculosis*, выращенных при температуре 37 °С, показал несколько меньшие размеры ($1,99 \pm 0,53$ мкм), по сравнению с «холодовыми» клетками, отсутствие жгутиков и четко очерченного капсулоподобного слоя, который определялся у отдельных особей и

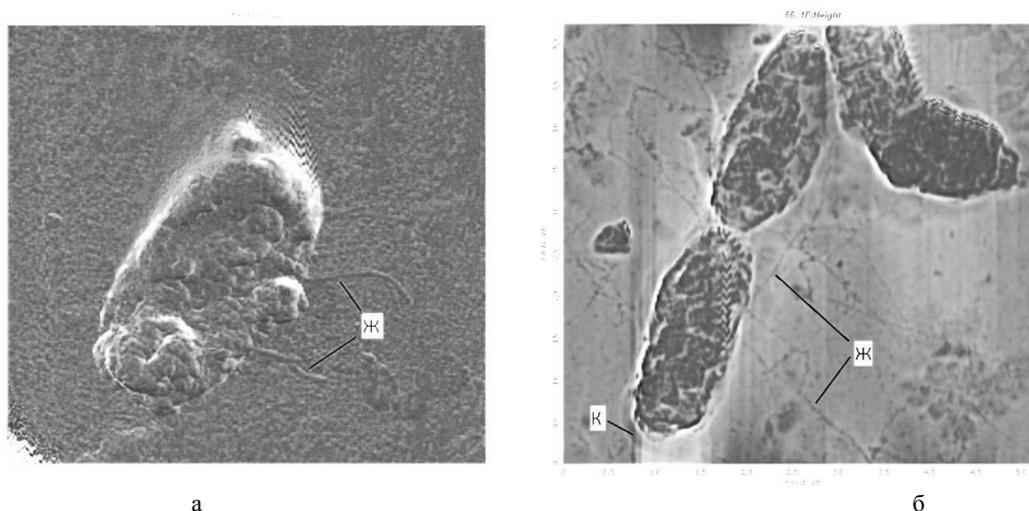


Рис. 2. АСМ-изображение бактерий *Y. pseudotuberculosis*, выращенных при температуре 10°C. Размер скана: а – 3х3 мкм; б – 5х5 мкм. Примечание: К – капсулоподобный слой; Ж – жгутики.

имел, в среднем, меньшую толщину. Клетки при указанной температуре выращивания выглядели более электроплотными и отличались выраженной неровностью поверхности (рис.3). Меньшая электронная проницаемость этих бактерий, на наш

строению клеточной оболочки [6,9]. При ухудшении условий обитания бактерий их относительное количество неизменно возрастает, а в особо неблагоприятной обстановке такие клетки составляют большинство популяции [10].

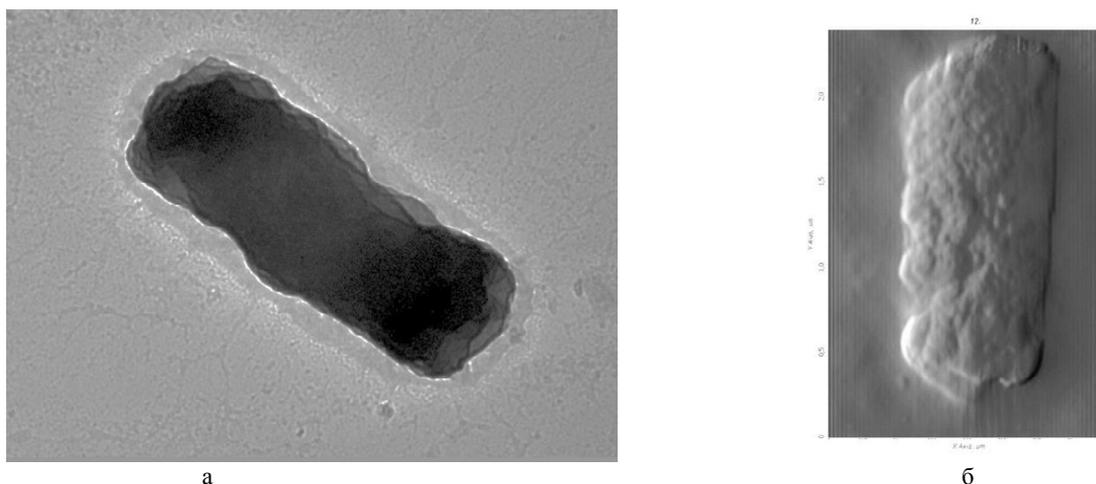


Рис. 3. Микроскопическая картина бактерий *Y. pseudotuberculosis*, выращенных при температуре 37 °С: а – электронная микроскопия, увеличение x10000; б – АСМ-изображение, размер скана 1,6х2,5 мкм.

взгляд, определяется наличием более плотных и «жестких» поверхностных структур, формирующихся в данных условиях существования и, по-видимому, представляющих собой дополнительный механический защитный барьер микроба.

Аналогичные утолщенные слоистые поверхностные структуры наблюдаются у переживающих форм клеток большинства видов микроорганизмов [6], они характеризуются округлыми очертаниями и небольшими размерами (не более 1 мкм). Такие клетки присутствуют во всех, даже активно растущих популяциях неспорообразующих бактерий [7,8]. Они являются «хранителями» генофонда на случай резких изменений условий существования бактерий. Переживающие клетки отличаются намного большими устойчивостью к внешним воздействиям и выживаемостью благодаря особому

При изменении условий обитания на менее жесткие переживающая форма бактерий, подобно спорам, начинает прорастать. Представлялось, что она обводняется, перестраивает свои структуры, увеличивает размеры и начинает готовиться к делению как обычная клетка. Однако наши наблюдения показывают, что переживающие формы бактерий, во всяком случае *Y. pseudotuberculosis* (рис. 4а), не могут изменить свою жесткую оболочку, но и не сбрасывают ее подобно спорам. Они прорастают в новую вегетативную клетку (рис. 4б), а компоненты оболочки, по-видимому, используются ею в качестве источника дополнительного питания, который постепенно расходуется клеткой в процессе адаптации к внешним условиям.

Таким образом, с помощью просвечивающей электронной и атомно-силовой микроскопии исследу-

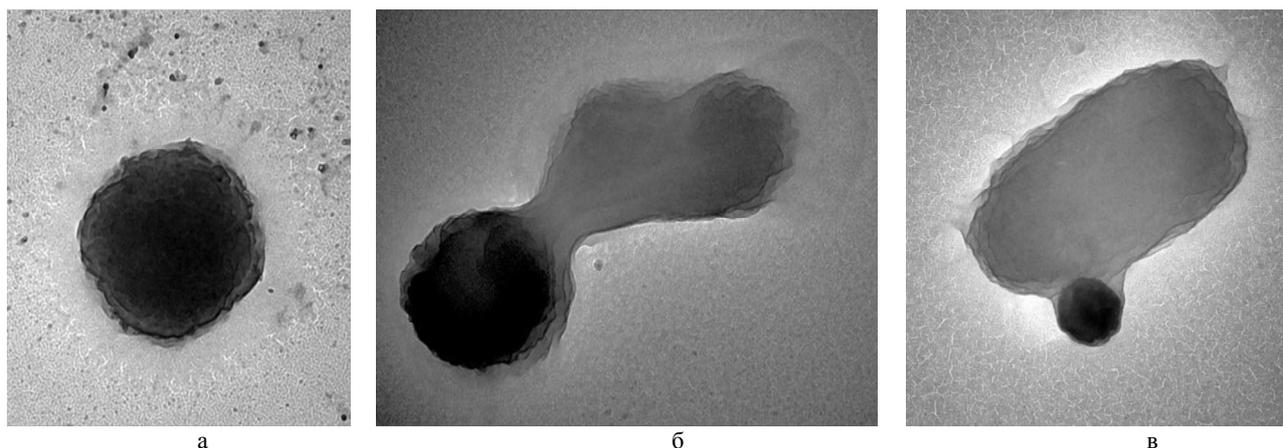


Рис. 4. Стадии прорастания покоящихся форм бактерий *Y. pseudotuberculosis*. Электронная микроскопия, увеличение: а – $\times 10000$; б и в – $\times 12000$.

дованы морфологические особенности бактерий *Y. pseudotuberculosis*, определяемые температурой их культивирования. Показано, что клетки, выращенные при температуре «окружающей среды» ($\sim 10^\circ\text{C}$), характеризуются наличием жгутиков и большей выраженностью капсулоподобного слоя по сравнению с микробами, которые культивировали при температуре тела млекопитающих ($\sim 37^\circ\text{C}$). Представлены электронно-микроскопические иллюстрации перехода переживающих форм клеток в вегетативные.

Литература

1. Туманский В.М. Псевдотуберкулез. М.: Медизд., 1958. 82 с.
2. Шубин Ф.Н. Новые проявления изменчивости псевдотуберкулезного микроба // Иерсиниозы. Новосибирск, 1983. С.19–26.
3. Сомов Г.П., Покровский В.И., Беседнова Н.Н., Антоненко Ф.Ф. Псевдотуберкулез. М.: Медицина, 2001. 254 с.
4. Гаврилова Л.Б., Бывалов А.А., Чернядьев А.А. и др. Влияние температуры культивирования и носительства *fra*-оперона *Yersinia pestis* на морфологические особенности *Yersinia pseudotuberculosis* // Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол. 2011. № 2. С. 72–75.
5. Бывалов А.А., Гаврилов К.Е., Крупин В.В. и др. Биологические и физико-химические свойства культур бактерий *Yersinia pseudotuberculosis*, несущих *fra*-оперон *Yersinia pestis* // Молекул. генетика. 2008. № 1. С. 14–18.
6. Сузина Н.Е., Мулюкин А.Л., Козлова А.Н. и др. Тонкое строение покоящихся клеток некоторых неспорообразующих бактерий // Микробиология. 2004. Т.73. № 4.С. 516–529.
7. Эль-Регистан Г.И., Мулюкин А.Л., Николаев Ю.А. и др. Адаптогенные функции внеклеточных ауторегуляторов микроорганизмов // Микробиология. 2006. Т. 75. № 4. С. 446–456.
8. Мулюкин А.Л., Луста К.А., Грязнова М.Н. и др. Образование покоящихся форм *Bacillus cereus* и *Micrococcus luteus* // Микробиология. 1996. Т. 65. № 6. С. 782–789.
9. Мулюкин А.Л., Кудыкина Ю.К., Шлеева М.О. и др. Внутривидовое разнообразие покоящихся форм *Mycobacterium smegmatis* // Микробиология. 2010. Т. 79. № 4. С. 486–497.
10. Sheeva M., Mukamolova G.V., Young M. et. al. Formation of “non-culturable” cells of *Mycobacterium smegmatis* in stationary phase in response to growth under suboptimal conditions and their Rpf-mediated resuscitation // Microbiology (UK). 2004. Vol. 150. N 6. P.1687–1697.

Статья поступила в редакцию 21.03.2012.

УДК 548.4; 548.52.

МОРФОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННЫХ АЛМАЗОВ

В.И. РАКИН, Н.Н. ПИСКУНОВА

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
piskunova@geo.komisc.ru

С применением оптической параболической гониометрии и атомно-силовой микроскопии изучена морфология поверхности искусственных (НРНТ) алмазов. Установлено, что внешняя огранка кристаллов алмаза формируется в соответствии с теорией периодических цепей сильных связей (ПЦС) Хартмана и Пердока, что свидетельствует о квазиравновесном режиме роста алмаза. Морфологически изучены ямки термического травления макро- микро- и нанометровой размерности. Установлено действие двух механизмов образования ямок травления, связанных, в одном случае, с линейными, в другом – исключительно с приповерхностными дефектами кристаллической структуры.

Ключевые слова: алмаз, морфология, теория ПЦС, оптическая гониометрия, атомно-силовая микроскопия (АСМ)

V.I. RAKIN, N.N. PISKUNOVA. MORPHOLOGY OF SYNTHETIC DIAMONDS

With the use of the parabolic optical goniometry and atomic force microscopy, surface morphology of synthetic diamonds was studied. It is established that the outer cut of diamond crystals is formed in accordance with the theory of periodic chains of strong bonds of the Hartman–Perdok that indicates the quasi-equilibrium growth mode of the diamonds. The thermal etching pits of the macro-, micro- and nanometer dimensions are morphologically studied. Two mechanisms of the etch pits appearance associated with linear defects of the crystal structure (screw dislocations) in one case, and the near-surface defects in another case, are established.

Key words: Diamond, morphology, the theory of PBC, optical goniometry, AFM

Морфология искусственных алмазов отличается относительной простотой по сравнению с природными алмазами, что связано с короткой историей их формирования и ограниченным, контролируемым числом процессов, определяющих форму кристалла. Известно, что при искусственном синтезе алмазов методом НРНТ (high-pressure high-temperature) в камерах сверхвысоких давлений и температур габитус полученных алмазов представляет собой комбинацию нескольких простых форм: октаэдра {111}, куба {100}, ромбододекаэдра {110}, редко тетрагонтриоктаэдра {311}; а в аппаратах выращивания алмаза из газовой фазы по CVD-технологии (chemical vapour deposition): октаэдра {111} и куба {100} [1]. Перечисленными кристаллографическими формами, если учесть природные кристаллы, не должно исчерпываться многообразие всех типов поверхностей искусственного алмаза. Кристалломорфологические исследования имеют важное значение не только для выяснения фундаментальных особенностей структуры алмаза, проявляющихся на различных стадиях роста кристалла, но и для практических целей, – как способ оценки эф-

фективности технологических режимов при выращивании кристаллов.

Целью данной работы является детальное изучение поверхности кристаллов алмаза, выращенных в камерах сверхвысоких давлений и температур в макро- микро- и нанометровом масштабах с помощью оптической параболической гониометрии и атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Очевидно, что оценка типа изучаемой кристаллической поверхности зависит от масштаба ее наблюдения. Одна из проблем кристалломорфологии – согласование наблюдаемых объектов в рамках единой физической модели.

Границу макроскопического масштаба при описании деталей поверхности кристалла определим с помощью интерференционного предела, начиная с которого в картине отражения (картине дифракции) появляется интерференционная структура с шагом, превышающим погрешность оптического прибора. Например, если точность измерения углов в измерительном приборе составляет 1° , то надежное разрешение интерференционной картины на экране гониометра произойдет при отраже-

нии от дифракционной решетки в 30 штрихов на миллиметр (период решетки составит 34 мкм). Первый порядок дифракции отклонится на угол в 1° и появится достоверно разрешенный рефлекс, обусловленный явлением интерференции и не имеющий отношение к исследуемому полярному комплексу нормалей к поверхности кристалла. Таким образом, макроскопический масштаб инструментальных кристалломорфологических исследований на параболическом гониометре начинается с участка поверхности не мельче 30 мкм. С помощью гониометра нами был исследован порошок алмазный марки АС32 630/500 согласно ГОСТу 9206–80, представленный монокристаллами и сростками (до 15%) алмазов желтоватого оттенка, полученных в камерах сверхвысоких давлений и температур. По ГОСТу среднестатистическая прочность зерен на разрушение – не менее 71,2 Н. Из большой группы, насчитывающей несколько тысяч зерен для детального изучения, были отобраны 65 прозрачных монокристаллов и сростков из двух-трех кристаллов, обладающих хорошей огранкой.

Среди них девять зерен (14%) оказались двойниками, в том числе один сложный двойник с двумя различными плоскостями двойникования, а три – полисинтетические двойники. На кристаллах были установлены следующие простые формы: октаэдр $\{111\}$, куб $\{100\}$, ромбододекаэдр $\{110\}$, тетрагонтриоктаэдр $\{311\}$, $\{433\}$, тригонтриоктаэдр $\{221\}$ (рис. 1, 2). Грани перечислены в порядке убывания площади поверхности.

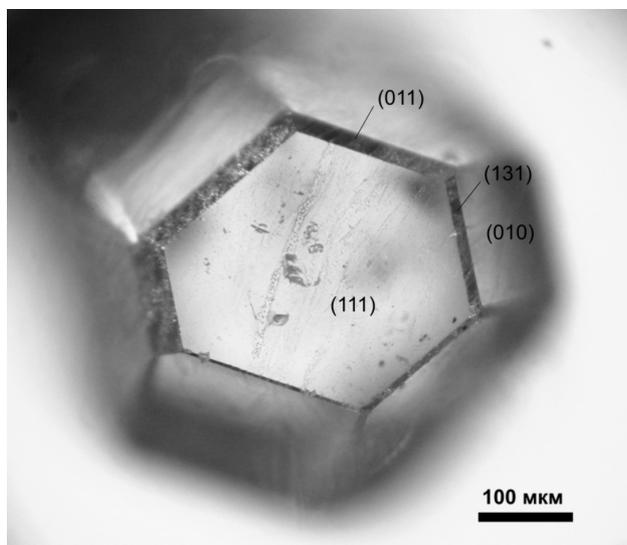


Рис. 1. Огранка искусственного алмаза.

Не все указанные простые формы присутствуют на алмазе в течение всего процесса роста. Плоские грани октаэдра и куба отмечаются на всех изученных кристаллах. Учитывая форму крупных металлических включений, встречающихся в пирамидах роста грани куба (рис. 3), можно предположить, что преимущественно рост алмаза происходит по дислокационному механизму. При этом основные инициирующие рост алмаза дислокации развиваются по граням октаэдра. Грань куба тогда

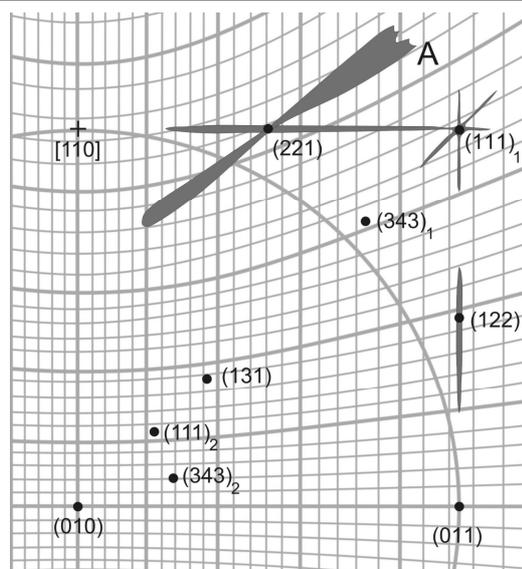


Рис. 2. Обобщенная гномоническая кристаллографическая проекция формы синтетических алмазов, отражающая основные рефлексы от изученных синтетических кристаллов алмаза. Рефлекс А связан с "эффектом выключения". Фоном служит сетка Хилтона.

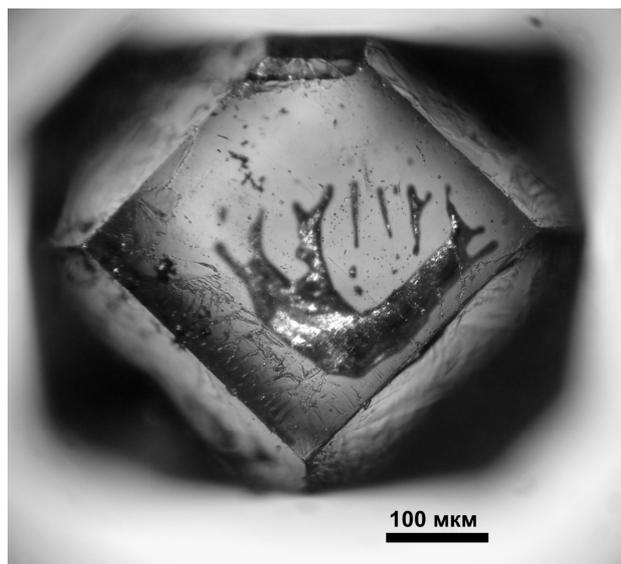


Рис. 3. Включение расплава металла на грани куба алмаза.

оказывается заторможенной в росте, например, по причине активного образования мостиковых связей Me-C [2], и растет главным образом за счет ступеней, формирующихся на ребрах смежных с гранями октаэдра, а также двумерных зародышей на самой грани. Дислокации же, выходящие на грань куба, не проявляют себя столь активно как ступени, идущие от ребер. Об этом свидетельствует тот факт, что зарастание грани куба происходит в основном со стороны ребер, что подтверждается формой плоских включений расплава, равномерно отступающих от ребра с гранью октаэдра (рис. 3).

Около 30 % изученных кристаллов содержат характерные цепочки мелких включений расплава, распространяющиеся в виде уплощенных лент из

области расположения зародыша кристалла к поверхности и трассирующие пирамиды роста грани ромбододекаэдра (рис. 4). Этот факт доказывает, что в форме роста, по крайней мере, одной трети кристаллов алмаза присутствуют кроме двух основных форм роста – куба и октаэдра – третья форма – ромбододекаэдр.

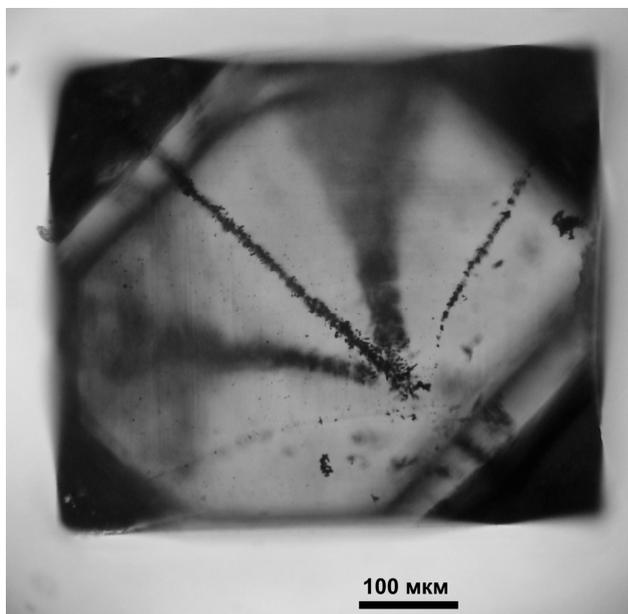


Рис. 4. Цепочки включений расплава в пирамидах роста грани ромбододекаэдра $\{110\}$.

Большинство синтетических кристаллов (более 50%) имеют на поверхности фигуры, связанные с "эффектом выключения" (рис. 5). Известно, что при выходе из режима выращивания на грани алмаза отпечатываются скелетные кристаллы металлов (сплавов), служивших растворителями и катализаторами в процессе роста алмаза [2]. Возможно,

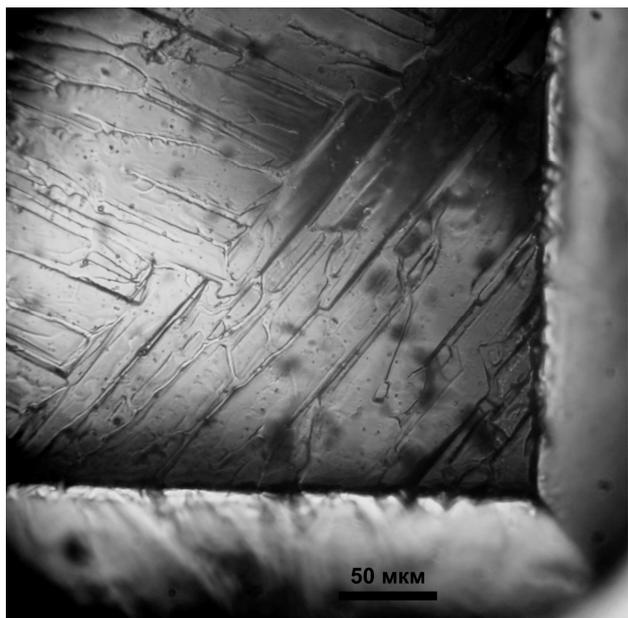


Рис. 5. "Эффект выключения". Отпечатки дендритов металла на кристалле алмаза.

рост металлических кристаллов приводит к повышению концентрации растворенного углерода в остаточном расплаве (коэффициент распределения углерода меньше 1). Такой вывод можно сделать, если фигуры, связанные с "эффектом выключения", интерпретировать как формы роста (рис. 5), что вполне допустимо, учитывая хорошую сохранность плоских участков граней октаэдра, куба и особенно ромбододекаэдра, часто присутствующего на таких кристаллах. В результате роста металлических кристаллов излишки растворенного углерода приводят к ускорению роста алмазной фазы в местах сосредоточения остатков расплава с формированием макроступеней на гранях октаэдра и куба. Одновременно часть поверхности алмаза сохраняет сильнонеравновесную криволинейную форму, создавая на экране гониометра как лучистые рефлексы, ориентированные перпендикулярно направлению удлинения скелетных кристаллов металла (отметка А на рис. 2), так и лучи распространяющиеся от рефлекса $\{111\}$ по линиям тетрагонтриоктаэдра и тригонтриоктаэдра (рис. 2). В этот момент в облике кристалла начинают появляться дополнительные простые формы: тетрагонтриоктаэдры $\{311\}$, $\{433\}$ и тригонтриоктаэдр $\{221\}$. Причем форма $\{311\}$ появляется на ребрах между гранями куба и октаэдра, $\{433\}$ и чаще на двойниках, а на макроступенях, развивающихся по грани октаэдра, образуется форма $\{221\}$.

Важно отметить, что формы $\{311\}$ и $\{433\}$ появляются на последней стадии кристаллизации алмаза, даже когда явных следов "эффекта выключения" в виде шероховатой поверхности не наблюдается (рис. 1). Скелетные кристаллы могут обрастать алмаз со всех сторон, и их ориентация в пространстве не связана со структурой алмаза. Отпечаток от металлических кристаллов непрерывно транслируется с одной грани алмаза через ребро на другую грань. При наблюдении поверхности алмаза в оптический микроскоп можно встретить индукционный шов, образовавшийся в результате встречи двух фронтов параллельно ориентированных скелетных кристаллов металла, распространяющихся в скрещивающихся направлениях (рис. 5). Естественная штриховка на алмазе, связанная с формой и ориентацией дендритов, имеющих поперечное сечение меньше 20 мкм, вызывает появление случайной интерференционной структуры на экране параболического гониометра (отметка А на рис. 2). Направление штриховки может быть произвольным, и, соответственно, луч А, проходящий через точку $\{221\}$, также может иметь любую ориентацию на гномонической проекции алмаза. Грань $\{221\}$ при этом регистрируется как ясно различимый точечный рефлекс, протяженностью менее 1° , и, следовательно, размер этой грани в самом узком месте должен быть не менее 30 мкм.

Грани тетрагонтриоктаэдра $\{433\}$ шириной также не менее 30 мкм были отмечены нами только на двойниках алмазов. Причем на обоих субиндивидах в двойником сростке они встречаются одновременно и легко диагностируются по двугранному

углу в 8° между рефлексами (111) и (343). На обобщенной гномонической проекции алмазов (рис. 2) показаны две грани тетрагонтриоктаэдра {433}, принадлежащие двум субиндивидам, находящимся в двойниковом положении (отмечены нижними индексами). Как известно, ориентации грани (111) двойника по шпинелевому закону и (151) первого субиндивида совпадают. Но, поскольку грань (111) является основной формой роста (F-гранью по теории Хартмана-Пэрдока [3, 4]), а грань (151) (K-грань) не была замечена на алмазах, то рефлекс в положении (151) на экране гониометра можно интерпретировать только как рефлекс от грани (111) двойника.

Таким образом, наблюдение поверхности кристаллов в масштабе более 30 мкм показало присутствие на алмазе только поверхностей роста. Однако при выводе кристаллообразующей системы из режима роста могут произвольно возникать условия для кратковременного растворения (травления) алмаза при дегазации остаточного расплава, что и было подтверждено наблюдением отрицательных пирамид растворения (ямки травления) микро- и нанометровой размерности на гранях алмаза методом атомно-силовой микроскопии.

При изучении морфологии кристаллической поверхности в микро- и наномасштабах, возникает вопрос о том, что представляет из себя ямка травления в самом начале своего зарождения? Поэтому одной из целей данной работы являлось установление наноразмерных морфологических особенностей избирательного растворения алмазной поверхности с помощью АСМ. Материалом для анализа послужили монокристаллы синтетического алмаза из алмазного порошка АС-50 (ГОСТ 9206-80) зернистостью 315/250 мкм.

АСМ-сканирование граней алмазов выявляет обычный для послойного роста рельеф поверхности (рис. 6). Различаются плоские двумерные островки, возможно, инициированные дислокациями, от которых распространяются ступени. Высота островков различна – от 20 до 500 нм.

На некоторых, в основном кубических гранях отдельных кристаллов, уже при небольших увеличениях обнаружен сплошной узор из ограненных ямок (рис. 7). Так как других признаков растворения ни на этих, ни на других кристаллах не обнаружено, можно считать, что данные ямки обусловлены термическим травлением вследствие испарения вещества. Известно, что синтетические кристаллы не подвергались действию особых травителей, способных избирательно воздействовать на поверхность. При обнаружении подобных ямок на природных алмазах трудно с уверенностью утверждать, что они являются именно следствием возникновения в результате термического воздействия в кимберлите в ходе остаточных процессов или при метаморфизме древних россыпей. Хотя условия для реализации данного механизма в природе имеются, и такие ямки описаны в литературе [5–7], механизм образования ямок травления на природных кристаллах достоверно не установлен.

Обнаруженные ямки представляют собой углубления в виде отрицательной пирамиды, имею-

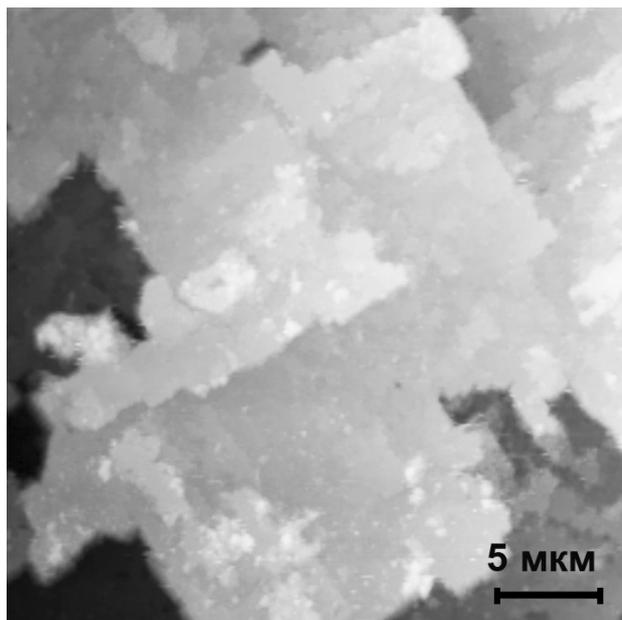


Рис. 6. Рельеф поверхности грани (100) алмаза, характеризующий послойный рост. Видны островки роста, от которых распространяются макроступени.

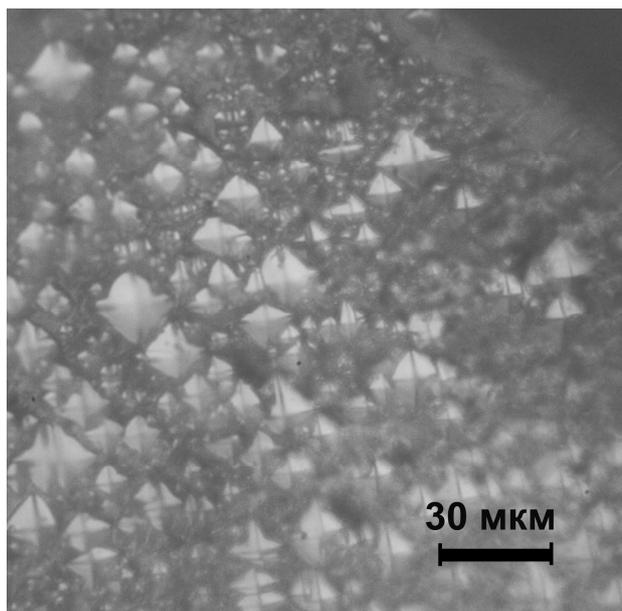


Рис. 7. Ямки травления на грани куба.

щей в своем основании квадрат, стороны которого параллельны направлениям [011] (рис. 7). Такая форма ямок связана с симметрией оси четвертого порядка структуры алмаза на грани куба. Избирательность в появлении ямок обычно однозначно связывают с точками выхода винтовых дислокаций на поверхность [8–11]. Считается, что различия в ширине соседних ямок обусловлены разницей в величине вектора Бюргерса, породивших их дислокаций.

На АСМ-изображениях некоторых относительно крупных (около 5 мкм) ямок различается ступенчатое строение внутренних стенок (высота крупных ступеней 40–60 нм) с видимыми терра-

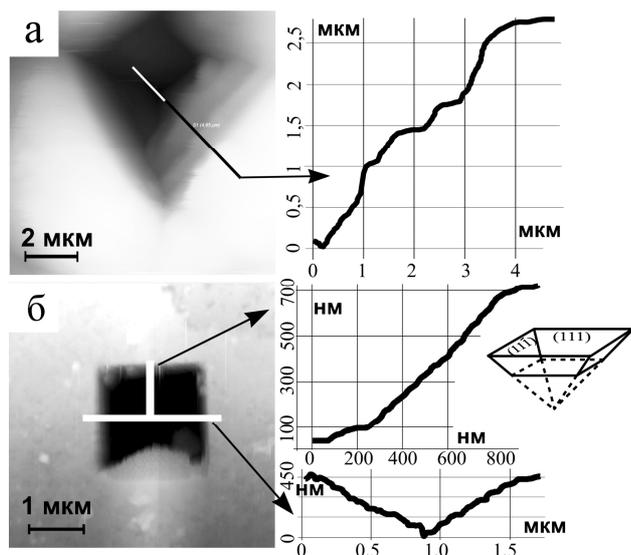


Рис. 8. АСМ-изображение термических ямок: (а) – несимметричная ямка с террасчатыми стенками; (б) – профильные разрезы симметричной микроразмерной ямки.

сами между ступенями (рис. 8, а). Согласно кинематической теории, террасирование ямок возникает из-за разориентировки поверхности травления по отношению к действительной кристаллографической плоскости [10]. Оказывает влияние также наклон линии дислокации по отношению к открытой поверхности.

Склоны ямок имеют различный угол наклона, не связанный с определенными плоскими сетками структуры алмаза. Связано это именно с террасированием, и наши АСМ-исследования показывают, что для искусственных кристаллов алмаза этот эффект начинает проявляться на ямках размером больше 4–5 мкм. На природных кристаллах Якутии, Урала и Бразилии, исследованных нами ранее, крупные ямки травления, образующиеся на выходах осей четвертого порядка и достигающие 200 мкм в поперечнике, демонстрируют отчетливое образование террас (рис. 9). Они формируются таким образом, что поверхность субграниц становится макроскопически выпуклой. На этой поверхности можно выделить множество плоских сеток тетрагонтриоктаэдров $\{hll\}_{h>l}$. Но самые глубокие части ямки травления ограничены поверхностями, приближающимися к октаэдрическим граням $\{111\}$.

Профильные разрезы пяти относительно крупных ямок, в 2–3 мкм (рис. 8, б), показали, что они имеют ровные склоны. В данном случае это означает, что они сложены элементарными ступенями, и зонд не различает перехода между ними. Кроме того, можно предположить, что данные ступени эквидистантны, так как угол между склоном ямки и поверхностью (100) кристалла практически не меняется вдоль всей внутренней субграницы ямки. Рассчитанный по нескольким таким ямкам, в среднем он составляет $54,3^\circ$, что позволяет идентифицировать стенки ямок травления как плоские сетки $\{111\}$. Высокорастворяющие исследования показали также, что на гранях искусственных кристаллов алма-

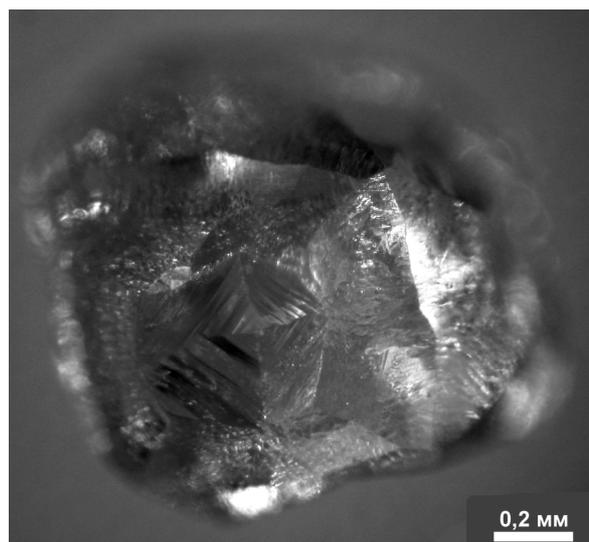


Рис. 9. Ямка травления на поверхности кристалла алмаза из Анабарских россыпей (Якутия).

зов встречаются квадратные ямки существенно меньшего размера 30 – 70 нм (рис. 10). Между ними наблюдаются признаки конкуренции. Террасы между наноразмерными ямками травления могут быть неровными, или, напротив, очень гладкими.

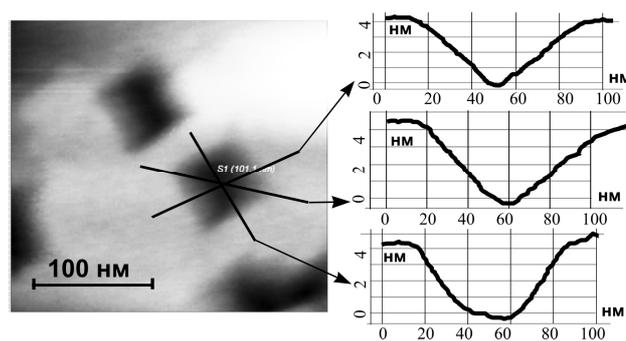


Рис. 10. Профильные разрезы термической ямки нанометровой размерности.

Известно, что стандартные зонды прибора АСМ пирамидальной формы с радиусом закругления иглы в 10 нм, к сожалению, могут вносить искажения в отображение реальной морфологии склонов наноразмерной ямки. Они могут не достигать дна ямки и тем самым занижать значение ее реальной глубины. Поэтому надеяться на адекватное отображение рельефа дна и стенок ямки шириной 30 нм нельзя. Проведенные нами разрезы шести ямок шириной 70 и более нм показывают, что они представляют собой несколько несимметричные близкие к пирамидальным углубления, имеющие очень пологие склоны, которые отвечают плоским сеткам от $\{12.1.1\}$ до $\{811\}$ (углы отклонения относительно грани куба от 6 до 10°).

Таким образом, огранка искусственных НРНТ кристаллов алмаза подчеркивает справедливость теории ПЦС Хартмана и Пердока [1, 2]. Согласно [1, 2], все грани кристалла в условиях, близких к термодинамическому равновесию, подразделяются на

три типа: F-границы {hkl}, для которых в слое толщиной, равной минимальному межплоскостному расстоянию (d_{hkl}), содержится две или более непараллельных цепей химических связей кристалла; S-границы, содержащие одну цепь сильных связей в слое; K-границы, которые не содержат целиком ни одной цепи сильной связи в слое d_{hkl} . В алмазе периодическая цепь сильных связей C-C, имеющая пилообразную форму, параллельна осям $\langle 110 \rangle$. Полоса ПЦС лежит в плоской сетке ромбододекаэдра и имеет ширину $a/4$ (0,89Å). Рассматривая грань октаэдра можно убедиться, что в слое, толщиной равной наименьшему межплоскостному расстоянию $d_{111}=2,055\text{Å}$, содержится три непараллельных зигзагообразных периодических цепи сильных химических связей шириной 0,51Å. Поэтому грань {111} можно считать F-гранью алмаза. По отношению к грани куба {100} две непараллельные ПЦС шириной 0,89Å лежат в слое $d_{100}=3,56\text{Å}$, и согласно определению П. Хартмана и В. Пердока гексаэдр также можно считать F-гранью.

Межплоскостное расстояние и ширину полосы ПЦС в направлении нормали к грани рассчитаем по формулам:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}, \quad b_{ПЦС} = \frac{a}{4} \sin \alpha,$$

где $a = 3,56 \text{ Å}$ – параметр элементарной ячейки алмаза, α – угол между нормалью к плоскости ПЦС и нормалью к грани (hkl).

Рассматривая последовательно плоские сетки (hkl) с небольшими индексами Миллера, принадлежащие зоне $[01\bar{1}]$ в пределах дуги в 90° , перечислим все F- и S-границы алмаза (см. таблицу). Кроме граней куба (100), октаэдра (111) и ромбододекаэдра (011), принадлежащих данной зоне, в нее входят сетки, образующие на алмазе грани. Если число из второй колонки (значение d) больше, чем соответствующее ему значение b из третьей колонки, то грань принадлежит к S типу.

Остальные грани алмаза с большими индексами Миллера, включая все грани гексоктаэдра, относятся к K-граням. Следуя строго критерию теории Хартмана и Пердока, к F-граням алмаза следует отнести две формы – октаэдр и куб, содержащие соответственно три и две периодические цепи сильных связей, к S-граням, кроме ромбододекаэдра, принадлежат также 13 разновидностей тригонтриоктаэдров $(hkk)_{h<k}$ и 5 тетрагонтриоктаэдров $(hkk)_{h>k}$.

Таким образом, грани куба (две ПЦС) и октаэдра (три ПЦС), относящиеся к F-граням, проявляются на всех кристаллах алмаза. Грани ромбододекаэдра {110} (S-грань – одна цепь сильной связи углерода) присутствуют на трети кристаллов алмаза, а простые формы тетрагонтриоктаэдра {311} и {433}, а также тригонтриоктаэдра {122}, относящиеся также к S-граням, возникают только на последних стадиях роста, связанных с эффектами выключения. Кроме перечисленных выше граней, на алмазах теоретически можно обнаружить также другие S-границы согласно теории Хартмана и Пердока:

F- и S-границы алмаза

hkl	$d_{hkl}, \text{Å}$	$b_{ПЦС}, \text{Å}$	Тип грани
0 1 1	2,517	0,000	S
1 9 9	0,279	0,070	S
1 5 5	0,498	0,125	S
1 4 4	0,620	0,155	S
1 3 3	0,817	0,204	S
2 5 5	0,484	0,242	S
3 7 7	0,344	0,258	S
4 9 9	0,267	0,267	S
1 2 2	1,187	0,297	S
4 7 7	0,333	0,333	S
3 5 5	0,463	0,348	S
2 3 3	0,759	0,379	S
3 4 4	0,556	0,417	S
4 5 5	0,438	0,438	S
1 1 1	2,055	0,514	F
4 3 3	0,611	0,611	S
3 2 2	0,863	0,648	S
2 1 1	1,453	0,727	S
3 1 1	1,073	0,805	S
4 1 1	0,839	0,839	S
1 0 0	3,560	0,890	F

три тетрагонтриоктаэдра и 12 тригонтриоктаэдров. K-границы, не содержащие цепей сильных связей, во внешней ростовой огранке искусственных алмазов не присутствуют. Применимость теории Хартмана и Пердока доказывает квазиравновесность условий синтеза даже на стадии выключения.

Особенности отрицательного рельефа искусственных алмазов связываются нами с процессами термического травления, проходящими на этапе завершения синтеза. АСМ-исследования показали, что крупные ямки травления (более 4 мкм) на гранях куба образованы террасами, образующими выпуклую поверхность, которая может быть сложена участками плоских сеток тетрагонтриоктаэдра, относящихся как к S-, так и K-граням. Что свидетельствует о неравновесном процессе травления алмаза по винтовым дислокациям.

Многочисленные ямки с характерным размером 2–3 мкм, наоборот, имеют ровные склоны, точно соответствующие плоскостям {111}. Появление равновесной формы октаэдра {111} на отрицательном рельефе алмаза в ходе травления может свидетельствовать об ином механизме образования таких ямок травления, не связанном с линейными дефектами структуры. Микро- и наноразмерные ямки травления могут быть связаны с приповерхностными наноразмерными дефектами структуры, образовавшимися в ходе последнего этапа роста (рис. 11), т.е. быть следствием того же "эффекта выключения". Образование плоскостей {111} на ямках микронного размера можно объяснить термодинамически как достижение минимума поверхностной энергии при удалении напряженного дефектного участка структуры. Наноразмерные ямки демонстрируют незавершенный неравновесный процесс травления, поэтому их огранка может быть

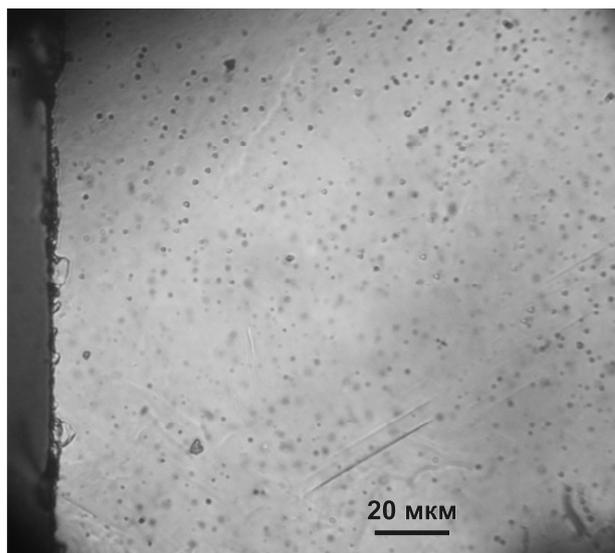


Рис. 11. Микроразмерные приповерхностные твердые включения на грани (111) алмаза.

произвольна. Дополнительным аргументом в пользу недислокационного механизма образования микро- и наноразмерных ямок может служить расчет плотности дефектов на кристаллах алмаза. Если учесть все ямки травления на кристаллах алмаза, то в нашем случае плотность дислокаций должна составлять $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, что соответствует сильно дислокационным кристаллам алмаза коричневого окраски [12]. Однако, это не так. Поэтому часть ямок травления, действительно, нельзя связывать с винтовыми дислокациями.

Таким образом, эволюция поверхности НРНТ алмазов на финальной стадии может быть описана в терминах неравновесной термодинамической модели. Рост алмаза на "стадии выключения" происходит в сильно неравновесных условиях, о чем свидетельствуют округлые поверхности, тем не менее, появляющиеся S-границы указывают на неоднородность процесса и достижение локально квазистационарных условий роста. Процессы травления по дислокациям и приповерхностным дефектам, существенно отличающиеся друг от друга по морфологическим следствиям, также находят объяснение в рамках неравновесной термодинамической модели.

Авторы выражают искреннюю благодарность оператору АСМ В.А. Радаеву. Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 12-У-5-1026, научной школы НШ-1310.2012.5, и РФФИ № 11-05-00432а.

Литература

1. *Properties, growth and applications of diamond* // Ed. A. J. Neves, Maria Helena Nazarй, INSPEC. EMIS Group, Institution of Electrical Engineers. 2001. 418 p.
2. *van Enckevort W.J.P. Morphology of diamond surfaces* // Property, growth and applications of diamond. Ed. A. J. Neves, Maria Helena Nazarй, INSPEC. EMIS Group, Institution of Electrical Engineers. 2001. P. 95–100.
3. *Hartman P., Perdok W.G. On the relation between structure and morphology of crystal. I.* / Acta Crystallogr. 1955. Vol. 8. P. 49–52.
4. *Hartman P., Perdok W.G. On the relation between structure and morphology of crystal. II.* / Acta Crystallogr. 1955. Vol. 8. P. 525–529.
5. *Поверхность ограненного алмаза из Якутской группы месторождений* http://www.nano-world.org/russian/s_22.html.
6. *Kanda H., Akaishi M., Yamaoka S. Morphology of synthetic diamonds grown from Na₂CO₃ solvent-catalyst* // J. Crystal Growth. 1990. Vol. 106. P. 471–475.
7. *Sunagawa I. Morphology of natural and synthetic diamond crystals* // Materials Science of the Earth's Interior. Tokyo, 1984. P. 303–330.
8. *Амелинкс С. Методы прямого наблюдения дислокаций.* М.: Мир, 1968. 440 с.
9. *Хейман Р.Б. Растворение кристаллов. Теория и практика.* Л.: Недра, 1979. С. 314–319.
10. *Сангвал К. Травление кристаллов. Теория, эксперимент, практика / Пер. с англ.* М.: Мир, 1990. С. 309–319.
11. *Бокий Г.Б., Епишина Н.И., Семёнова-Тян-Шанская А.С. Травление октаэдрических граней якутских алмазов с целью подсчёта плотности дислокаций* // Алмазы. М.: НИИМаш, 1968. Вып. 4. С.3–5.
12. *Винс В.Г., Елисеев А.П., Сарин В.А. Физические основы современных методов облагораживания природных алмазов и бриллиантов* // Драгоценные металлы. Драгоценные камни. 2009. №3(183). С.127–148.

Статья поступила в редакцию 25.06.2012.

УДК 550.35 + 550.312 (470.1)

ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА И ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ГЛУБИННЫМ СТРОЕНИЕМ ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Т.А. ПОНОМАРЕВА*, И.И. ШУКТОМОВА**

*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

**Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

TA.Ponomareva@inbox.ru

Изолинии теплового потока латерально систематизируются в северо-западном и северо-восточном направлениях аналогично структурному плану фундамента Печорской плиты и Урала. Вариации температур на поверхностях основных структурно-вещественных комплексов земной коры и верхних горизонтов осадочного чехла, возможно, обусловлены разницей в перераспределении теплового потока и вещественного состава отдельных блоков земной коры. Выявлены зависимости концентраций радона-222 от направленности, глубинности и времени заложения разрывных нарушений. Обосновывается и развивается идея о том, что изменчивость теплового потока латерально и по разрезу отражает особенности глубинного строения земной коры и верхней мантии Тимано-Североуральского региона.

Ключевые слова: аномалия, тепловой поток, радон, плотностные неоднородности, земная кора

T.A.PONOMAREVA, I.I.SHUKTOMOVA. THE INTERCONNECTIONS OF GEOTHERMAL FLUX AND NATURAL RADIONUCLIDES WITH INTERNAL STRUCTURE OF THE TIMAN-NORTH URALS REGION

Two lateral systems of geothermal flux isolines stretch out northwestward and northeastward following the structural plan of the Pechora plate and the Urals. Temperature variations along the surfaces of the main internal structural rock associations of the Earth's crust and upper horizons of sedimentary cover are possibly caused by the difference in geothermal flux redistribution and also by the rock composition. The relations between radon-222 concentrations and dislocations with breaks including their directions, depth and timing are revealed. An idea that lateral and vertical mutability of geothermal flux reflects the peculiarities of internal structure of the Earth's crust and upper mantle of the Timan-North Urals region is proposed and developed.

Key words: anomaly, geothermal flux, radon, density heterogeneities, Earth's crust

Введение

Впервые на территории Тимано-Североуральского региона региональные геотермические исследования проведены в 80-х гг. прошлого столетия [1]. Они были комплексно связаны с геологической интерпретацией всех геофизических материалов (гравиметрических, магнитометрических, сейсмических и др.) для повышения эффективности решения задач, направленных на поиски, благоприятных на обнаружение новых залежей углеводородов перспективных участков. К этому времени возросший объем буровых работ, проводимый геологами производственных объединений Ухтанефтегазгеология, Печорагеофизика, Архангельскгеология и др., позволил проанализировать температурные измерения в скважинах Печорской синеклизы и Предуральского краевого прогиба. Полученные данные были применены для расчета температур по разрезу земной коры с учетом мощностей ее

отдельных горизонтов. Построены карты-схемы распределения температур на отдельных поверхностях осадочной толщи и более глубоких горизонтов консолидированной части земной коры. В дальнейшем этот материал был использован специалистами в обобщающих работах в области геотермии при определении величины теплового потока Европы и изучения земной коры европейского Северо-Востока России [1,2]. Несмотря на новизну полученных результатов, в целом они носили ограниченный и незаконченный характер: они не были проинтерпретированы совместно с особенностями глубинного строения региона, не проводился анализ теплопроводности горных пород, отсутствовали данные о тепловом потоке севера Урала и др. Позднее была опубликована новая карта теплового потока Урала и сопредельных территорий [3]. Ученые из Института геофизики УрО РАН провели сравнительный анализ теплового поля, коэффициентов теплопроводности пород трех крупных струк-

тур: восточной окраины Русской платформы, Урала и Западно-Сибирской плиты. Модели распределения теплового потока, выполненные в разные годы специалистами, имеют определенную преемственность. Так, новая карта-схема [3] своей детальностью существенно дополнила предыдущую и, по мнению создавших ее ученых, несет информацию о связи теплового поля Урала с особенностями геологического строения территории и глубинными геодинамическими процессами.

Цель наших исследований заключалась в поиске дополнительных фактов, объясняющих разницу в величине теплового потока Печорской плиты и севера Урала. Для этого нами проанализирован весь имеющийся материал по тепловому полю рассматриваемого региона, по распределению температур в осадочном чехле и структуре земной коры, привлекли данные по радоновой съемке и разломной тектонике, а также использовали результаты моделирования сейсмического и гравитационного полей, раскрывающих особенности строения земной коры и верхней мантии севера Урала.

Анализ теплового потока и геотермических данных на поверхностях структурно-вещественных комплексов земной коры

На карте теплового потока (q) земной коры Европы на территории Печорской плиты выделяются линейные аномалии северо-западного направления с максимальными значениями 50 мВт/м^2 в центральной и изометричной аномалии со значениями 80 мВт/м^2 в юго-восточной ее части – над Ижма-Печорской моноклиной [2]. Предуральский прогиб является областью, где происходит смена направления изолиний и снижение значений плотности теплового потока. Другие аномалии теплового потока со значением ниже 50 мВт/м^2 имеют северо-восточное направление, характерное для Урала (рис.1). На глубине 1–1,5 км от земной поверхности наблюдается сохранение характера зональности и высоких значений плотности теплового потока до 45 мВт/м^2 над структурами Мезенской синеклизы и еще выше до 60 мВт/м^2 – над структурами Печорской плиты. Над Уралом на этих глубинах значения q понижаются до 25 мВт/м^2 , а в Зауралье на территории Западно-Сибирской плиты вновь отмечаются повышенные значения плотности теплового потока, которые варьируют в пределах от 50 до 80 мВт/м^2 [3].

Таким образом, изолинии теплового потока на территории европейского Северо-Востока латерально систематизируются в двух направлениях: северо-западном – повышенных и северо-восточном – пониженных значений q . Из этого следует, что распределение тепловых потоков в земной коре находится в прямом соответствии со структурным планом фундамента Печорской плиты и Урала.

Для поиска причин дифференциации плотности теплового потока были проанализированы температурные условия поля, которые определяются характером изменения геотермического градиента (градТ) и тепловыми свойствами горных пород. Основным параметром, характери-

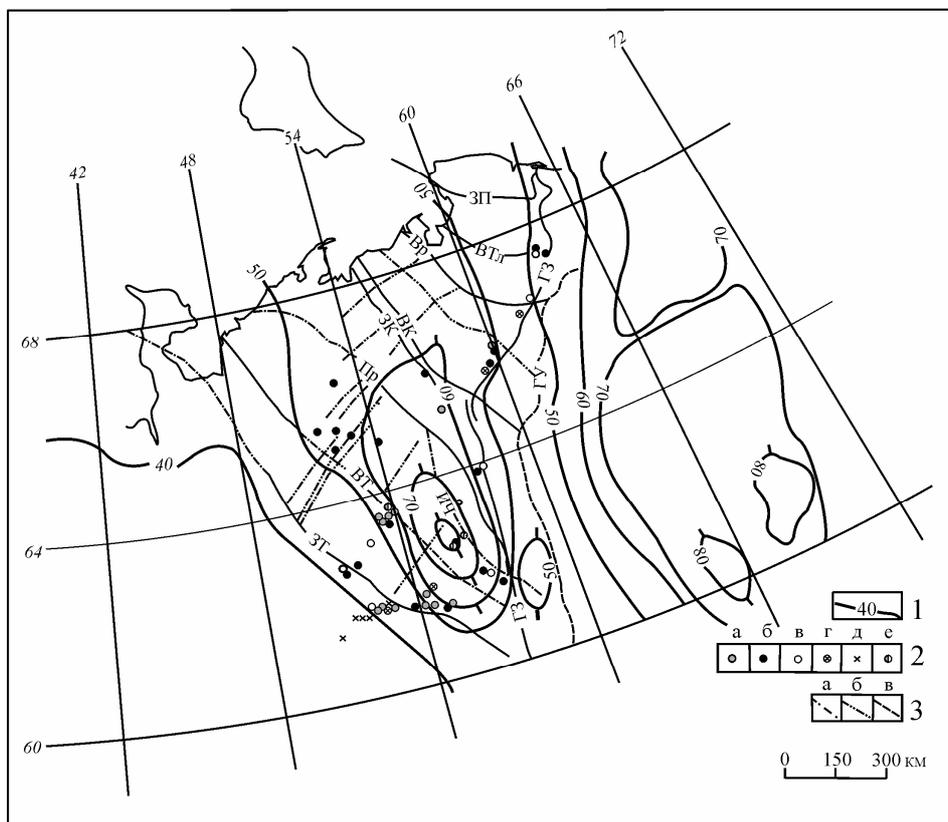


Рис.1. Разломы, радон, тепловой поток земной коры Тимано-Североуральского региона.

Условные обозначения: 1 – изолинии теплового потока земной коры [2]; 2 – объекты с повышенными содержаниями удельных активностей: а) ^{222}Rn , б) ^{228}Ra , в) ^{226}Ra , г) ^{210}Pb , д) ^{210}Po , е) ^{228}Ra и ^{222}Rn [6]; 3 – разломы [7]: ЗТ – Западно-Тиманский, ВТ – Восточно-Тиманский, Пр – Припечорский, ИЧ – Ильч-Чикшинский, ЗК – Западно-Колвинский, ВК – Восточно-Колвинский, Вр – Варандейский, ВТл – Вашуткинско-Талотинский, ЗП – Западно-Пайхойский, ГЗ – Главный Западно-Уральский, ГУ – Главный Уральский; а) – рифейские (сплошная линия – установленные, пунктирная – предполагаемые); б) – вендско-раннепалеозойские; в) – позднепалеозойско-раннемезозойского возраста.

зующим тепловые свойства вещества, является коэффициент теплопроводности λ . Вариации λ горных пород зависят от минерального состава, формы, размеров, пространственной ориентации кристаллов и зерен, температуры и давления, а также от многих природных факторов. Характер зависимостей λ от всех перечисленных характеристик сложен и недостаточно изучен. Известно только, что для горных пород λ составляет первые единицы Вт/м·К. Средние коэффициенты теплопроводности пород из скважин до глубины 5 км, пробуренных на Русской платформе [3] и Уральской СГ– 4 [4], близки и составляют соответственно 3,5 и 2,3 Вт/м·К. По мнению В.А.Щапова [3], это значит, что существенные изменения можно ожидать от градиента температур.

Так, тепловая региональная аномалия западно-северо-западной направленности над Ижма-Печорской моноклиной в структуре земной коры характеризуется вариациями градиента температур: 380, 320, 220°С на границах Мохо (40 км), гранулитобазитового (20 км) и гнейсогранулитового (10 км) структурно-вещественных комплексов, соответственно [1]. На карте теплового потока ей соответствуют изолинии с максимальными значениями плотности до 80 мВт/м² [2]. Печоро-Колвинский авлакоген и Большеземельский свод относятся к области более низких температур: 260, 180, 140°С на границах тех же структурно-вещественных комплексов и, соответственно, низких тепловых потоков со значениями плотности до 40 мВт/м². В северо-восточном направлении наблюдается понижение температурного градиента. Но в Косью-Роговском прогибе, являющемся структурой Предуральского краевого прогиба, выделяется вторая высоко-температурная локальная аномалия. Температура на границах основных структурно-вещественных комплексов меняется – 300, 240, 160°С. В горизонтах осадочного чехла обе структуры представляют собой крупные синформы: Ижма-Печорская впадина и Косью-Роговский прогиб. На поверхности до-среднеюрских отложений глубиной до 1 км от земной поверхности наблюдается только одна тепловая аномалия над Ижма-Печорской впадиной [1]. Подводя итог обзору по изменению температуры, следует отметить, что выявленное латеральное “веерообразное” снижение температур на поверхностях основных структурно-вещественных комплексов земной коры и верхних горизонтах осадочного чехла Печорской плиты в направлении с северо-запада на северо-восток, по всей видимости, обусловлено разницей в вещественном составе отдельных блоков земной коры, что и повлияло на распределение теплового потока в регионе.

Пространственные связи радона и продуктов его распада с разрывными нарушениями

Наблюдаемый у земной поверхности тепловой поток складывается из двух составляющих. Первая – редуцированная составляющая теплового потока поступает в земную кору непосредственно из верхней мантии. Вторая составляющая форми-

руется за счет радиогенной теплогенерации, которая возникает при радиоактивном распаде урана, тория, калия-40 в земной коре. На платформенной территории без геохимических исследований трудно определить, каков вклад каждой из составляющей в суммарный тепловой поток. Но при распаде урана и радия постоянно образуется радиоактивный газ – радон. Он является уникальным признаком активности тектонических разломных зон, которые способны аккумулировать радон и одновременно служить подводными каналами для миграции газа из недр к земной поверхности. И поскольку источником радона являются сами горные породы (например, гранит), радоновые съемки активно используются при изучении глубинного строения земной коры [5].

В пределах изучаемого региона учеными Института биологии Коми НЦ УрО РАН под руководством А.И. Таскаева были проведены исследования с целью определения закономерностей распространения природного ²²²Rn [6]. Результаты исследований на территории Республики Коми показали три аномальных района, где ежегодная эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона имеет высокие значения. В населенных пунктах Троицко-Печорского р-на средне-годовая ЭРОА радона составляет: пос. Троицко-Печорск – 38, пос. Комсомольск на Печоре – 43, с. Пок-ча – 64 Бк/м³. Указанному району соответствует по-вышенный тепловой поток со значениями до 80 мВт/м². В Усть-Цилемском р-не в с. Замежная значения среднегодовых ЭРОА (Rn) достигают максимальных отметок 74 Бк/м³. Средние значения теплового потока фиксируются по изолинии со значением 60 мВт/м².

Оба района в структурном плане осадочного чехла расположены в пределах Ижма-Печорской впадины. Эта структура находит свое отражение в аномалии теплового потока, большая ось которой направлена на запад-северо-запад. В Интинском р-не значения среднегодовой ЭРОА (Rn) варьируют от 36 в пос. Верхняя Инта до 49 Бк/м³ в пос. Абезь. Этот район располагается в пределах Косью-Роговского прогиба, которому соответствует повышенный тепловой поток со средним значением q – 50 мВт/м². Анализируя вышеизложенные факты, можно отметить, что ареалам с большими концентрациями ²²²Rn соответствуют аномалии высокого теплового потока, и наоборот.

Совместная интерпретация результатов радоновой съемки и данных разломной тектоники (рис.1) позволили выявить источники поступления радона-222 в поверхностные воды и объяснить закономерности в распределении значений удельных активностей материнских (²²⁶Ra, ²²⁸Ra) и дочерних (²¹⁰Pb, ²¹⁰Po) радионуклидов радона около разломов разного типа, отличающихся направленностью, глубинностью и временем заложения. Валдино-Тиманский разлом является одним из крупнейших разломов северо-западного направления, служит границей между Русской и Печорской плитами [7]. С юго-востока на северо-запад вдоль этого разлома расположены населенные пункты

Усть-Куломского и Троицко-Печорского районов, в питьевых источниках которых отмечаются повышенные удельные активности ^{226}Ra и ^{228}Ra . Самая высокая удельная активность ^{228}Ra зафиксирована в питьевых водах близ поверхностных источников – $70,3 \times 10^{-2}$ и в колодцах – $184,0 \times 10^{-2}$ Бк/л. В отдельных населенных пунктах в питьевых водах удельная активность ^{210}Pb составляет $9,26 \times 10^{-2}$ Бк/л.

Восточно-Тиманский глубинный разлом, ограничивая Тиманскую гряду от Печорской синеклизы, прослеживается от Канина Камня через Северный Тиман и далее на юго-восток вдоль восточного склона Тиманского кряжа [7]. В средней части разлома отмечается максимальная средняя удельная активность ^{228}Ra в питьевых водах неглубоких источников ($76,0 \pm 54,5 \times 10^{-2}$ Бк/л), артезианских скважин ($106,5 \pm 19,0 \times 10^{-2}$ Бк/л) и рек ($119,8 \times 10^{-2}$ Бк/л), а также удельная активность ^{210}Po в питьевых водах близ поверхностных источников и артезианских скважин. На юго-восточном отрезке данного разлома происходит снижение удельной активности ^{228}Ra с 12,6 до $6,86 \pm 2,62 \times 10^{-2}$ Бк/л. Северо-западный и центральный отрезки этого разлома характеризуются повышенной концентрацией радионуклидов, что объясняет очень высокую активность этого разлома на платформенном этапе развития территории, начиная с рифея до раннего мезозоя [7].

К северо-востоку от Припечорского глубинного разлома наблюдаются незначительные вариации удельной активности ^{222}Rn в питьевых водах, в среднем $4,99 \pm 1,15 \times 10^{-3}$, а ^{228}Ra в артезианской скважине – $23,0 \pm 3,46 \times 10^{-2}$ Бк/л. Но на северо-западе между Восточно-Тиманским и Припечорским разломами (данные по Усть-Цилемскому р-ну) среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона варьирует в пределах от 17 до 74 Бкм³. Вдоль Илыч-Чикшинского глубинного разлома с северо-востока на юго-запад удельная активность ^{228}Ra в водах изменяется от $6,20 \times 10^{-2}$ до $18,8 \times 10^{-2}$ Бк/л.

Удельная активность ^{226}Ra около Западно- и Восточно-Колвинских разломов составляет $19,2 \times 10^{-2}$ Бк/л.

В северной части вдоль Главного Западно-Уральского разлома в направлении с юга на северо-северо-восток в водах населенных пунктов пос. Якша (Троицко-Печорского р-на) и пос. Подчерье (Вуктыльского р-на) средняя удельная активность ^{228}Ra составляет, соответственно: $45,9 \pm 25,8 \times 10^{-2}$ и $26,7 \pm 19,5 \times 10^{-2}$, а в артезианских скважинах равна $60,5 \pm 0,42 \times 10^{-2}$ Бк/л. Питьевые воды населенных пунктов Интинского р-на (поселки Кожым, Абезь, Южный и Верхняя Инта) характеризуются незначительными концентрациями радионуклидов.

Самые высокие значения удельных активностей радона и продуктов распада фиксируются около крупнейших Западно- и Восточно-Тиманских разломов западно-северо-западного простирания, сформированных в рифейское время. Заметное снижение удельных активностей ^{226}Ra и ^{228}Ra наблюдается на севере Печорской плиты около разломов более позднего (вендско-раннепалеозойско-

го) времени заложения. Самые низкие значения удельных активностей радионуклидов отмечаются над разрывными нарушениями позднепалеозойско-го-раннепалеозойского возраста северо-северо-восточного простирания, образование которых связано с уральским тектогенезом. Исключением стали ареалы повышенных значений удельной активности ^{222}Rn , связанные с местами наложения более молодых разрывных нарушений вендско-раннепалеозойского возраста северо-северо-восточного простирания на рифейские разломы западно-северо-западной ориентировки в западной части Печорской плиты, а также места вдоль Главного Западно-Уральского разлома, соотносимые с узлами наложения разрывных нарушений позднепалеозойско-раннепалеозойского времени заложения на рифейские.

Общепризнано, что глубинные разломы являются не только границами разнопорядковых структур, различных по геологическому строению и истории развития, но и служат границами смены типов и подтипов земной коры. По данным И.В. Запорожцевой и А.М. Пыстина [8], по Припечорской зоне разломов происходит смена “зрелой” сиалической коры плитного подтипа (Ижма-Баренцевский геоблок) на фемический тип континентальной коры авлакогенного подтипа (Печорский геоблок), а по Главному Западно-Уральскому разлому отмечается смена континентального типа земной коры на островодужный (Восточно-Уральский геоблок). Типы и подтипы отличаются мощностью и набором структурно-вещественных комплексов, слагающих земную кору. В связи с вышесказанным, понижение значений удельной активности радона в северо-северо-восточном направлении, вероятней всего, связано с изменением вещественного состава земной коры Тимано-Североуральского региона.

Модели глубинного строения земной коры и верхней мантии севера Урала

С появлением в 80-х гг. прошлого столетия данных по глубинному сейсмическому зондированию были созданы первые геолого-геофизические модели земной коры, в которых наиболее правдоподобно представлены структуры осадочного чехла и фундамента региона в целом [1]. Позднее новейшие сведения сейсмической томографии о строении верхней мантии других регионов послужили основой для построения генерализованной модели глубинного строения Тимано-Североуральского региона на верхнемантийном уровне с помощью моделирования гравитационного поля (рис.2). Выделенные на схеме районирования гравитационного поля области, зоны и подзоны западно-северо-западной ориентировки соотносятся со структурами Печорской плиты с незначительным смещением границ на юго-запад, а северо-северо-восточной направленности – отвечают структурам севера Урала [9]. В результате качественной интерпретации гравиметрического поля нами установлена схожая с тепловым полем система плотностных неоднородностей. Для успешного проведения количественной интерпретации гравиметрических дан-

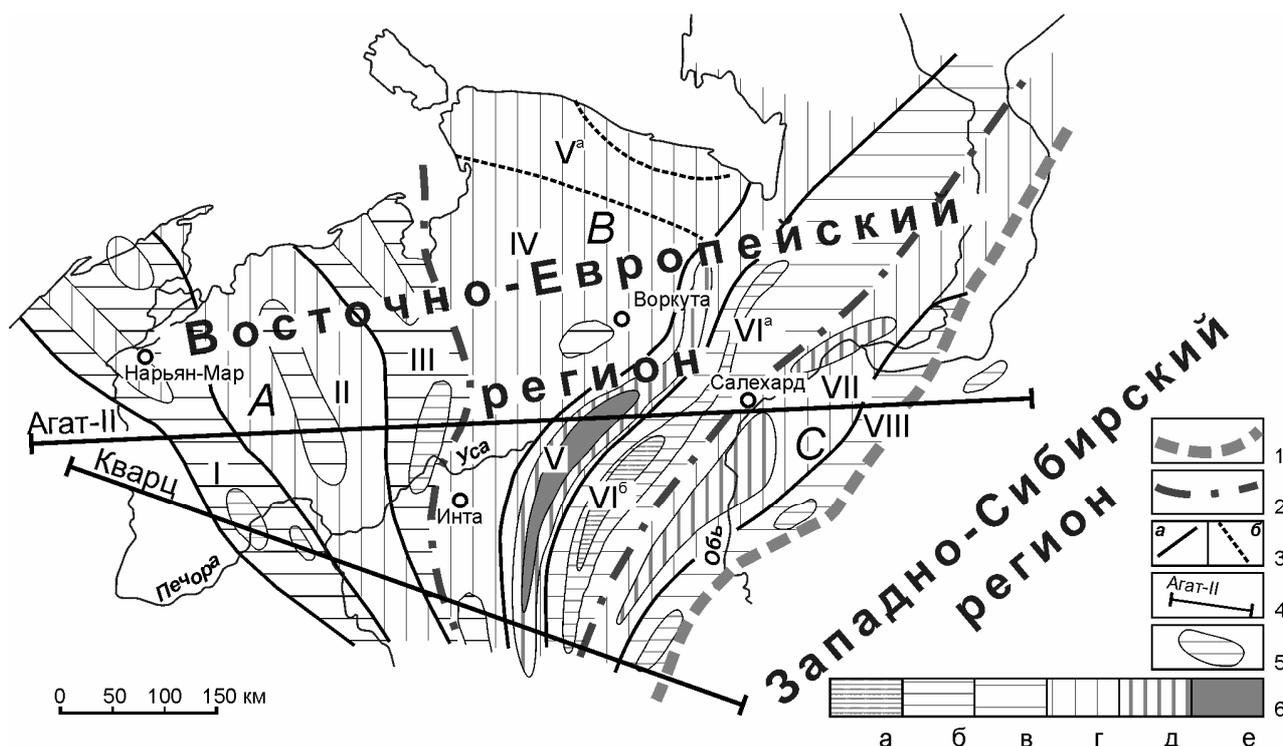


Рис.2. Схема районирования гравитационного поля европейского Северо-Востока на верхнемантийном уровне. Составила Т.А.Пономарева.

Условные обозначения: 1–3 – границы структур, выделенных по высокоградиентным зонам трансформированного поля силы тяжести: 1 – регионов; 2 – областей; 3а – зон; 3б – подзон; 4 – региональные геофизические профили; 5 – гравитационные аномалии; 6 – интенсивность трансформированного поля силы тяжести (мГал) с шагом $q=50$ км: а) – -150 – -100; б) – -100 – -50; в) – -50 – 0; г) 0 – 50; д) 50 – 100; е) – 100 – 150; А-С – области: А–Печорская; В–Уральская; С–Зауральская; I–VIII – зоны: I – Печоро-Колвинская; II – Хорейверская; III – Варандей-Адзъвинская; IV – Приуральская; V – Западно-Уральская; VI – Восточно-Уральская; VII – Обская; VIII – Восточно-Зауральская.

ных была составлена модель земной коры и верхней мантии по региональному профилю ГСЗ “Кварц”. По указанному профилю плотность (σ) осадочных пород составляет $2,6 \text{ г/см}^3$, зеленосланцевый комплекс имеет плотность, равную $2,6\div 2,75 \text{ г/см}^3$. Гнейсогранулитовый комплекс представлен двумя подкомплексами: гранитогнейсовый с $\sigma = 2,71\div 2,76$ и диоритогнейсовый – $2,83\div 2,89 \text{ г/см}^3$. Плотность гранулит-метабазитового комплекса составляет $3,0 \text{ г/см}^3$. Средняя плотность верхней мантии берется равной $3,38 \text{ г/см}^3$. Плотности оценивались по корреляционным зависимостям между скоростью продольных волн и плотностью [10]. Процесс моделирования гравитационного поля проводился в три этапа: от источников, залегающих в верхней части земной коры до глубины 10 км, что соответствует традиционному гравимагнитоактивному слою. Удобными аппроксимирующими моделями двумерных масс служили слой и многогранник. Затем исследовались источники аномалий, расположенные в структуре земной коры до глубины 40 км и верхней мантии до глубины более 400 км. Применение метода подбора, при котором авторы стремились к сближению вычис-

ленных и наблюдаемых значений поля силы тяжести, позволило нам [11] построить вероятностные модели строения земной коры и верхней мантии для Севера Урала (рис.3,4). На геоплотностных разрезах во внутреннем строении земной коры Печорской плиты (Ижма-Баренцевский геоблок) присутствует мощный до 16 км гранитогнейсовый подкомплекс, входящий в состав гнейсогранулитового комплекса. В северо-восточном направлении (Печорский геоблок) мощность данного подкомплекса уменьшается или отмечается фрагментарно [8]. На геоплотностных разрезах севера Урала гранитогнейсовый подкомплекс отсутствует вообще, и поэтому гнейсогранулитовый комплекс представлен только диоритогнейсовым подкомплексом мощностью до 22 км. В строении Печорской плиты и севера Урала наблюдаются единые структурно-вещественные комплексы, что говорит о схожести континентальной коры в исследуемых областях. А отсутствие гранитогнейсового подкомплекса в структуре земной коры севера Урала является характерной особенностью глубинного строения в его Приполярном и Полярном секторах [11].

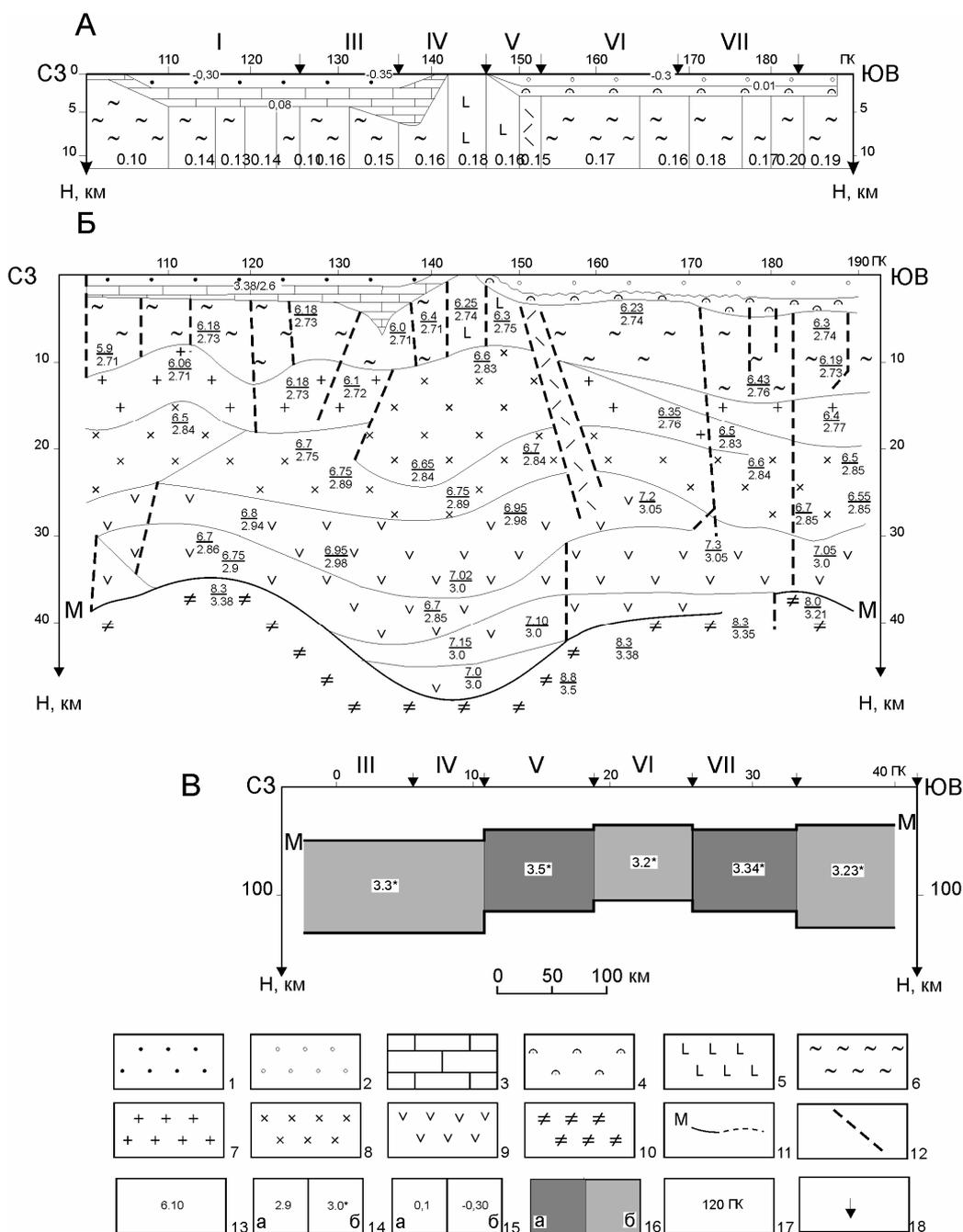


Рис.3. Геоплотностные разрезы по профилю ГСЗ «Кварц»: А-Б – земной коры; В – верхней мантии. Составлено по материалам А.В.Егоркина (1986 г.): А и В – Т.А.Лыжуровой (Пономаревой); Б – Н.В.Конановой, Т.А.Лыжуровой (Пономаревой).

Условные обозначения: I-VII – структуры (названия структур приведены по И.Д.Соболеву): I – Печорская синеклиза; II – поднятие Чернышева; III – Предуральский краевой прогиб; IV – Западно-Уральская складчатая зона и осевая полоса Урала; V – Восточно-Уральское поднятие; VI – Восточно-Уральский прогиб; VII – Зауральское поднятие; 1-10 – структурно-вещественные комплексы и подкомплексы: 1 – верхний терригенный осадочного чехла Печорской плиты; 2 – мезозойско-кайнозойский Западно-Сибирской плиты; 3 – нерасчлененный карбонатно-терригенный осадочного чехла Печорской плиты; 4 – палеозойский Западно-Сибирской плиты; 5 – осадочно-вулканогенный; 6 – зеленосланцевый; 7-8 – гнейсогранулитовый (7 – гранитогнейсовый и 8 – диоритогнейсовый подкомплексы); 9 – гранулитометабазитовый; 10 – верхняя мантия; 11 – границы основных структурно-вещественных комплексов и подкомплексов, проведенные по сейсмическим (сплошная) и по гравиметрическим (пунктирная линия) данным (Ф – граница фундамента, М – Мохо); 12 – тектонические разломы, выделенные по сейсмическим данным; 13 – скорости продольных волн V_p (км/сек), 14-15 – плотности: 14 – рассчитанные (а – по корреляционным зависимостям V_p/σ ; б – по гравиметрическим данным); 15 – средние эффективные плотности (а – положительные; б – отрицательные); 16 – неоднородности верхней мантии (а – с повышенной и б – пониженной плотностями); 17 – номера пикетов; 18 – границы структур (тектоническое районирование по И.Д.Соболеву).

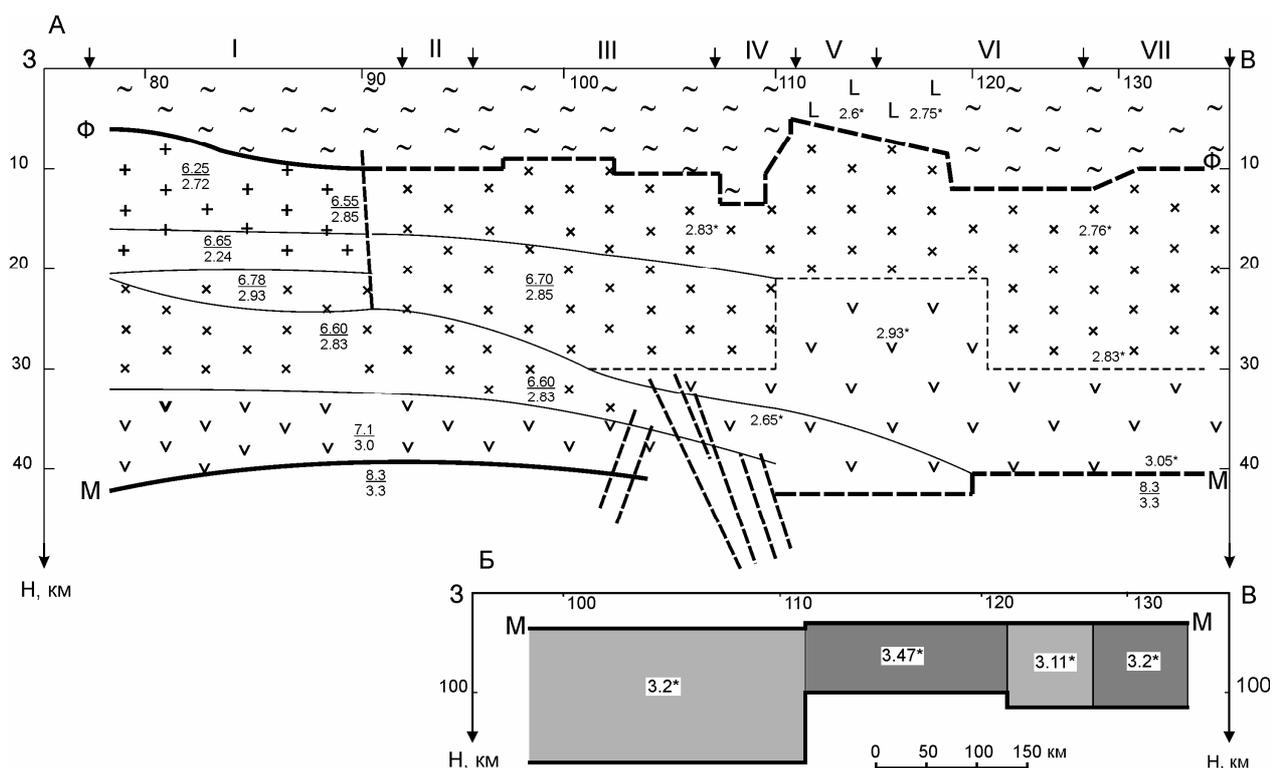


Рис.4. Геоплотностные разрезы по профилю ГСЗ «Агат II»: А–В – земной коры; В – верхней мантии. Составлено по материалам А.В.Егоркина (1986 г.), Т.А.Львуровой (Пономаревой).

Выводы

Сравнительный анализ результатов изучения теплового потока и распределения концентраций радионуклидов с имеющимися данными по разломной тектонике и глубинному строению земной коры и верхней мантии Тимано-Североуральского региона свидетельствует о следующем:

- распределение значений плотности теплового потока в земной коре на территории исследований латерально систематизируется в двух направлениях: северо-западном – повышенных и северо-восточном – пониженных значений q и соответствует структурному плану Печорской плиты и Урала;

- плотность теплового потока зависит от концентраций естественных радионуклидов таким образом, что аномалиям повышенных значений теплового потока соответствуют ареалы больших концентраций ^{222}Rn и продуктов его распада;

- самые высокие значения удельных активностей ^{222}Rn и продуктов его распада фиксируются около корово-мантийных разломов северо-западного простираения рифейского и вендско-раннепалеозойского времени заложения, характеризующиеся наибольшей неотектонической активностью. В пределах рассматриваемой территории указанные разломы служат границами структур первого и высшего порядков, в разрезе земной коры присутствует мощный гранито-гнейсовый подкомплекс. Именно породы этого подкомплекса, по нашему мнению, являются одним из основных источников

^{222}Rn . Из этого следует, что распределение плотности теплового потока и концентраций радионуклидов имеет прямую связь с характером распространения гранито-гнейсового подкомплекса в структуре земной коры Тимано-Североуральского региона.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 12-И-5-2-22.

Литература

1. Дедеев В.А., Запорожцева И.В. Земная кора европейского Северо-Востока СССР. Л.: Наука, 1985. 376 с.
2. Чермак В., Чепмен Д., Поллак Г. и др. Тепловое поле Европы. М.: Мир, 1982.
3. Щанов В.А. Тепловое поле Урала // Уральский геофизический вестник. 2000. №1. С.126–130.
4. Шамрай Г.И., Игнашева Т.Д. Физические свойства пород разреза Уральской сверхглубокой скважины // Уральская сверхглубокая скважина (интервал 0-4008 м). Геология, геофизика, технология. Ярославль, 1992. С.133–145.
5. Уткин В.И., Юрков А.К. Радон как “детерминированный” индикатор природных и техногенных геодинамических процессов // Доклады Академии наук. 2009. Т. 426. № 6. С. 816–820.
6. Shuktomova I.I., Taskaev A.I. Radon and daughter nuclide content in natural water sources High levels of natural radiation and radon areas: radiation dose and health: Proc. V Intert.

- Conf. (Munich, Germany, September 4 – 7, 2000). Vol. 2: Poster presentations Bremen-haven (Germany), 2000. P. 154–155.
7. *Мальшев Н.А.* Разломы европейского Северо-Востока СССР в связи с нефтегазоносностью. Л.: Наука, 1986. 112 с.
 8. *Запорожцева И.В., Пыстин А.М.* Строение дофанерозойской литосферы европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
 9. *Пономарева Т.А.* Тимано-Печоро-Уральские коро-мантийные взаимосвязи // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9. С. 3–4.
 10. *Семенов Б.Г.* Зависимость плотность – скорость и учет термодинамических условий при построении плотностной модели земной коры и верхней мантии // Геология и геофизика. 1983. № 6. С. 90–98.
 11. *Льюрова (Пономарева) Т.А.* Глубинное строение Полярного Урала: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 1997. 16 с.

Статья поступила в редакцию 22.05.2012.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.311.019.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БАЛАНСОВОЙ НАДЕЖНОСТИ И МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ю.Я. ЧУКРЕЕВ, М.Ю. ЧУКРЕЕВ

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
chukreev@iespn.komisc.ru*

В статье рассмотрены вопросы анализа современного состояния и проблем совершенствования методического и модельно-программного обеспечения задачи оценки показателей балансовой надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) при перспективном планировании их развития. Особое внимание уделено вопросам сопоставления вероятностных нормативов надежности территориальных зон ЭЭС, принятых в России и за рубежом.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, территориальная зона, показатели балансовой надежности, аварийность, методика, программно-вычислительный комплекс

YU.YA. CHUKREYEV, M.YU. CHUKREYEV. EVALUATION METHODS AND PROBABILISTIC INDICES OF POWER SYSTEMS ADEQUACY ASSESSMENT FOR THE CONTROL OF DEVELOPMENT OF POWER NETWORKS

This paper illustrates analysis of mathematical methods, models and application software used to assess adequacy of power systems for future planning of their expansion. Additional attention has been paid to correlations of expected values of reliability indices used in practice in Russian and foreign power system control centers.

Key words: power system, territorial area, reliability indices, power equipment failure rate, methods, application software

Введение

Единая энергетическая система (ЕЭС) России даже при наличии множества субъектов рыночных отношений (генерирующие, сетевые компании, энергосбытовые компании и т.п.) должна работать как цельный и неразрывный технологический комплекс и отвечать требованиям надежности и безопасности на всех уровнях временной и территориальной иерархии отдельных зон управления и всей энергосистемы в целом. Ввиду несовершенства действующего законодательства Российской Федерации о техническом регулировании, в части установления обязательных технических требований к энергосистеме в целом, Министерством энергетики РФ в 2010 г. было принято решение и дано соответствующее поручение по разработке технологических правил работы электроэнергетических систем (ЭЭС). Проект такого комплексного документа общеобязательного (нормативного) характера разработан ОАО «Системный оператор ЕЭС» («СО ЕЭС») и одобрен 16.05.2011 г. на совместном засе-

дании Научного совета РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики и Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС».

В соответствии с разработанным проектом технологических правил работы ЭЭС оценка балансовой надежности на предстоящий планируемый период должна осуществляться ОАО «СО ЕЭС» (в изолированно работающих территориальных энергосистемах – субъектом оперативно-диспетчерского управления) по каждой концентрированной энергосистеме¹, территориальной энергосистеме, объединенной (ОЭС) и ЕЭС в целом. В нем подчеркивается необходимость применения математических моделей для оценки показателей балансовой надежности ЭЭС. Под балансовой надежностью ЭЭС понимают способность обеспечивать совокупный спрос на электрическую энергию и мощность потребителей в пределах заданных зна-

¹ Концентрированной называют энергосистему, внутри которой отсутствуют ограничения на передачу мощности по линиям электропередачи из одной зоны в другую.

чений и ограничений на поставки энергоресурса с учетом запланированных и обоснованно ожидаемых незапланированных перерывов в работе ее элементов и эксплуатационных ограничений.

Ниже приводится краткий анализ существующего отечественного и зарубежного методического и модельно-программного обеспечения задачи и раскрываются проблемы сопоставления отечественных и зарубежных вероятностных показателей балансовой надежности.

Краткая характеристика проблемы и информация о существующих математических моделях оценки показателей балансовой надежности ЭЭС

Обеспечение должного уровня надежности ЭЭС достигается в результате решения следующих задач [1, 2]:

- выбор соответствующей «конструкции» ЭЭС (конфигурации схем электрических соединений, структуры генерирующих мощностей и др.);

- резервирование во всех звеньях схемы (производство, передача и распределение электроэнергии, система управления), включая обеспечение запасов энергоресурсов;

- выбор структуры и параметров средств управления системой;

- улучшение организации эксплуатации и управления ЭЭС.

Реализация этих задач осуществляется для различных уровней временной иерархии. Так, выбор структуры и определение параметров средств управления, в том числе необходимого уровня вращающегося резерва мощности, улучшение организации функционирования системы выполняются непосредственно при эксплуатации ЭЭС (период заблаговременности до 1–2 лет). Остальные задачи решаются с большим периодом заблаговременности (от 3–5 до 15–20 лет).

Резервирование является одним из основных путей обеспечения надежности ЭЭС. Оно направлено на частичную компенсацию всех возможных причин, снижающих надежность как при эксплуатации, так и при управлении развитием ЭЭС. При управлении развитием ЭЭС методически принято² полный резерв мощности ЭЭС разделять на составляющие: ремонтный, стратегический и компенсационный (в старой версии методических указаний – оперативный). Определение первых двух составляющих полного резерва мощности не связано с применением сложного математического аппарата. Определение величины резерва мощности на внеплановые отклонения параметров ЭЭС (компенсационного резерва) связано с учетом множества случайных факторов, приводящих к снижению надежности ЭЭС. В дальнейшем под резервом мощ-

ности будет пониматься именно эта его составляющая. Поскольку обеспечение абсолютной надежности не только невозможно, но и нецелесообразно, проблема резервирования в ЭЭС является экономической. Искомое решение по уровням резервирования в ЭЭС должно соответствовать либо минимуму затрат (приведенных или дисконтированных), либо требуемому нормативному уровню надежности, в том числе для условий рыночных преобразований в электроэнергетике.

В объединении ЭЭС резервирование генерирующей мощности достигается не только генерирующими агрегатами рассматриваемой территориальной зоны ЭЭС, но и резервными агрегатами других зон вследствие наличия связей между ними. В дальнейшем под понятием территориальная зона будет характеризоваться некая территория страны, в которой сетевые ограничения не оказывают влияния на ограничение потребителей в электроэнергии. В условиях рыночных отношений на надежность территориальных зон ЭЭС оказывают существенное влияние и заключенные договора между субъектами рынка в части возможных уровней взаимопомощи в длительных дефицитных режимах их работы. Задача определения оптимальных величин компенсационного резерва мощности отдельных территориальных зон ЭЭС и запасов пропускной способности связей между ними многогранна и сложна. Ее решение невозможно без разработки эффективных математических моделей, направленных на определение показателей балансовой надежности.

На величины показателей балансовой надежности в сложной ЭЭС влияют в основном те же факторы и случайные события, что и в централизованной системе, а именно:

- располагаемые мощности отдельных территориальных зон и запасы пропускной способности связей между ними;

- структура генерирующих мощностей;

- плановые ремонты оборудования;

- графики изменения нагрузок территориальных зон в разрезе года и суток;

- снижение генерирующей мощности территориальных зон и запасов пропускной способности связей из-за аварийных повреждений агрегатов электростанций и линий электропередачи;

- нерегулярные колебания нагрузки и ошибки прогнозирования спроса потребителей.

Применяемые в проектной практике математические модели определения показателей балансовой надежности многозонных ЭЭС, включающих в себя множество территориальных зон и связей между ними, отличаются повышенной сложностью. В сравнении с централизованной, в многозонной ЭЭС возникает необходимость учета:

- ограничений по максимально допустимым перетокам мощности, учета аварийных отказов отдельных линий электропередачи, трансформаторов и прочего сетевого оборудования;

- одновременности прохождения максимумов нагрузок отдельных территориальных зон и различия их характерных графиков;

² Методические указания по проектированию развития энергосистем / ОАО «Институт «Энергосетьпроект», 2011 г., одобрены НП «НТС ЕЭС». Секция «Техническое регулирование в электроэнергетике», 20 июля 2012 г.

– взаимоотношений между субъектами рынка в объединяемых зонах ЭЭС;

– большого числа элементов расчетных схем надежности, а следовательно, необходимости больших затрат вычислительных мощностей ЭВМ.

Вопросам разработки методических принципов исследования надежности многозонных ЭЭС и их реализации в математических моделях посвящено достаточное количество работ как отечественных, так и зарубежных [2–14 и др.]. Решение задачи оценки показателей балансовой надежности требует формирования теми или иными способами уровней нагрузки и состояний генерирующей мощности для разных временных интервалов и рассмотрения их внеплановыми аварийными отключениями, а также оценки этих состояний на предмет обеспечения потребителей электроэнергией надлежащего качества и в полном объеме. При разработке математических моделей оценки показателей балансовой надежности многозонных ЭЭС применяются либо аналитические методы, либо методы комбинаторного и статистического моделирования.

Модели, основанные на применении аналитических методов, предполагают последовательное преобразование рядов вероятностей избытков и дефицитов мощности с учетом имеющихся запасов пропускной способности связей двух соседних территориальных зон (узлов расчетной модели ЭЭС) от одной вершины расчетного графа сети к другой. Из разработанных и используемых в свое время в проектной практике моделей, основанных на применении этих методов, можно выделить отечественные модели АМОН/Д (ЭНИН) [3] и АМОН/Н (КирНИОЭ) [5] и зарубежные: TRELSS (EPRI), TPLAN (Siemens) и др. [11, 12, 14]. Определение показателей балансовой надежности ЭЭС аналитическими методами, с одной стороны, значительно повышает вычислительную эффективность, с другой – ограничены применением только для радиально-магистральных схем ЭЭС.

Модели, основанные на методах статистического моделирования, нашли более широкое применение при оценке показателей балансовой надежности сложных ЭЭС [4, 8, 9, 14]. В них их определение может быть организовано на базе анализа как случайных событий (модели «Орион» [8, 9], Янтарь [6], модель ЭНИНа [3], MECORE [14] и др.), так и случайных процессов (модели «Поток» [4], GE MARS, GridView и др. [11, 12]). Основным недостатком, присущим моделям, основанным на применении этих методов, является их невысокая вычислительная эффективность. Однако современное развитие средств вычислительной техники и возможность получения широкого спектра показателей балансовой надежности делают эти модели и заложенные в них методы более предпочтительными.

При разработке методики оценки показателей балансовой надежности многозонных ЭЭС основными компонентами являются блоки:

– формирования случайных состояний системы, вызванных ненадежностью генерирующего и сетевого оборудования системы;

– оценки сформированных состояний на предмет обеспечения нагрузки территориальных зон.

Анализ существующих программных средств оценки показателей балансовой надежности ЭЭС показывает, что методические принципы (компоненты) отечественных и зарубежных модельных разработок в значительной степени совпадают. Следует отметить, что подходы к решению задачи оценки случайного состояния на предмет обеспечения потребителей в зарубежных публикациях практически не раскрываются, хотя именно они существенно влияют на показатели балансовой надежности ЭЭС.

Показатели балансовой надежности и их сравнительные характеристики

Показателем надежности любого энергетического объекта и ЭЭС в частности называют количественную характеристику одного или нескольких свойств, составляющих его надежность [3]. В математических моделях оценки показателей балансовой надежности необходимо иметь возможность получать такие показатели, которые могли бы быть использованы для принятия управленческих решений по обоснованию требуемых уровней резервирования в территориальных зонах ЭЭС. Это означает, что система показателей балансовой надежности должна обеспечивать возможность решения всего комплекса оптимизационных и оценочных задач.

Выбирая показатели, характеризующие балансовую надежность ЭЭС, следует учитывать простые и очевидные рекомендации [4]. Число показателей по возможности должно быть минимальным и в то же время достаточным для принятия управленческих решений по обеспечению требуемого уровня балансовой надежности на всех уровнях территориальной и временной иерархии управления. Следует избегать сложных, комплексных показателей балансовой надежности; они должны иметь простой физический смысл и допускать возможность оценки значений различными методами. Выбранные показатели должны быть достаточно чувствительными к возмущениям (изменениям параметров, характеризующих использование средств обеспечения надежности в отдельных территориальных зонах), приводящим к снижению или увеличению надежности системы.

В отечественных [2–8 и др.] и зарубежных публикациях [9, 10 и др.], приведенным рекомендациям наиболее полно удовлетворяют следующие показатели балансовой надежности ЭЭС:

– математическое ожидание годового объема ограничений потребителей в электрической энергии из-за аварийных длительных ремонтов оборудования как для всей ЭЭС в целом $M[\Delta W]$, так и для отдельных j -х территориальных зон $M[\Delta W]_j, j = 1, 2, \dots, n$ (за рубежом аналогами являются *EUE* – *Expected Unserved Energy* или *LOEE* – *Loss of Energy Expectation*, МВт·ч/год);

– математическое ожидание компенсационных затрат от ненадежности электроснабжения по-

требителей (при заданных характеристиках удельных ущербов y_0) как для всей ЭЭС в целом $M[Y]$, так и для j -х территориальных зон $M[Y]_j$ (млн.руб.);

– относительное удовлетворение потребителей электрической энергией $\pi = 1 - M[\Delta W] / W_{\Phi}$

(W_{Φ} – спрос потребителей на электрическую энергию);

– интегральные вероятности появления дефицита мощности территориальных зон (J_D) ЭЭС;

– вероятность потери нагрузки (о.е.) (*Loss of Load Probability*) – *LOLP*;

– среднее число дней дефицита мощности, в западной литературе носит название длительности потери нагрузки в сутках в год (*Loss of Load Expectation*) – *LOLE* [13];

– среднее число часов дефицита мощности в год, в западной литературе носит название длительность потери нагрузки в часах (*Loss of Load Hours*) – *LOLH*.

Первые два из перечисленных показателей балансовой надежности относятся к именованным, последние – к относительным. При этом показатель π малочувствителен к возмущениям и несет практически ту же информацию, что и показатель $M[\Delta W]$, только в относительных единицах. С точки зрения рациональности и разумности принимаемых решений по развитию ЭЭС относительные (вероятностные) показатели балансовой надежности более информативны.

В зарубежной практике вероятностный показатель *LOLP* обычно определяется как вероятность не обеспечения электроэнергией потребителей в течение заданного периода времени³. При этом считается, что использование показателя *LOLP* возможно только для достаточно коротких временных периодов (максимум нагрузки) с целью выявления характерных чрезвычайных ситуаций. Это в свою очередь приводит к возможности не учета временной хронологии изменения процессов. В отечественной практике широко используемый показатель J_D [15], в отличие от *LOLP*, определяется для всего множества возможных временных интервалов изменения нагрузки в хронологическом порядке ее изменения, и, наверно, поэтому получил название интегральной (т.е. суммарной по всем возможным изменениям) вероятности появления дефицита мощности. На наш взгляд, именно понятийные расхождения отличают эти используемые в отечественной и зарубежной практике показатели. В то же время их математическое представление для заранее заданного графика изменения режима электропотребления: годовых суточных максимумов (365

равных по времени дискретных изменений *LOLP*_{сут}) или часовых изменений в течение года (8760 равных по времени дискретных изменений *LOLP*_{час}) совершенно идентично и для отдельной территориальной зоны ЭЭС может быть представлено выражением:

$$LOLP_a = \sum_{i=1}^T Q_i \sum_{k=1}^N p_k (\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H) = \sum_{i=1}^T \sum_{k=1}^N Q_i p_k (\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H) \quad (1)$$

где $Q_i = 1/T$ – вероятность ступени графика нагрузки; T – число ступеней графика нагрузки (365 суток или 8 760 ч); a – индекс соответствия применения формулы, при $T = 365$, индекс соответствует суткам,

при $T = 8 760$ – ч; \bar{P}_{ik}^H, P_{ik}^H – соответственно требуемая и обеспеченная имеющимися генерирующими мощностями и запасами пропускных способностей связей нагрузка k -го случайного состояния системы; p_k – вероятность k -го случайного состояния, в котором наблюдается дефицит мощности в рассматриваемой территориальной зоне ЭЭС, т.е.

когда величина $\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H$ больше нуля; N – количество случайных состояний, моделируемых на i -м интервале изменения нагрузки.

Для оценки надежности длительного периода времени (обычно год) в зарубежной практике, как правило, используются два основных показателя балансовой надежности – *LOLE* и *LOLH*. Эти показатели не имеют своего экономического обоснования. На основе экспертных оценок приняты их определенные значения, служащие индикаторами выбора решений по обеспечению должного уровня надежности ЭЭС. Так, общепринятый стандарт среднего числа дней дефицита мощности (*LOLE*) во многих развитых странах (США) равен 0,1 суток/год или 1 сутки в 10 лет, во Франции – *LOLH* = 3 ч/год, Великобритании – *LOLH* = 4 ч/год, Ирландии – *LOLH* = 8 ч/год [7].

В бывшем СССР вероятностный норматив надежности в виде $J_D = 0,004$ имел свое технико-экономическое обоснование. Для концентрированной энергосистемы оно приведено в работе [16], для многозонной ЭЭС – в [17]. Процесс определения показателя надежности в виде интегральной вероятности появления дефицита мощности (J_D) полностью соответствует выражению (1) в случае учета всех часовых изменений нагрузки ($T = 8760$ и $Q_i = 1/8760$).

Далее более подробно остановимся на вопросе сопоставления показателей *LOLE* и *LOLH* между собой и с показателем интегральной вероятности появления дефицита мощности J_D или, что то же самое, с вероятностью потери нагрузки при ее рассмотрении для годового периода (*LOLP*). Это крайне важно в современных условиях, так как затрагивает принципы нормирования показателей балансовой надежности, принятых в отечественной и зарубежной практике планирования развития ЭЭС.

³NERC. Reliability Assessment Guidebook, Version 2.1, April 7, 2009.

В соответствии с [13] показатель балансовой надежности $LOLE$ – оценка математического ожидания случайной величины числа суток в году ($T_d \leq 365$ суток), для которых суточный максимум (\bar{P}_{ik}^H) нагрузки не обеспечивается имеющейся генерирующей мощностью (в выражении (1), когда величина $\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H > 0$), определяется выражением:

$$LOLE = \sum_{i=1}^T P_{i_{сут}} \sum_{k=1}^N Q_i P_k (\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H) = \sum_{i=1}^T (P_{i_{сут}}) LOLP = T_d \cdot LOLP_{сут}, \quad (2)$$

где $P_{i_{сут}}$ – длительность i -го интервала в сутках (одни сутки); T – количество интервалов расчетного периода, обычно 365 суток.

Аналогично, показатель $LOLH$ – оценка математического ожидания случайной величины числа часов в расчетном году ($T_d \leq 8760$ ч), для которых часовая нагрузка рассматриваемой территориальной зоны превышает мощность, выдаваемую генерирующими агрегатами в систему, определяется аналогичным с (2) выражением:

$$LOLH = \sum_{i=1}^T P_{i_{час}} \sum_{k=1}^N Q_i P_k (\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H) = \sum_{i=1}^T (P_{i_{час}}) LOLP = T_d \cdot LOLP_{час} = T_d \cdot J_d, \quad (3)$$

где $P_{i_{час}}$ – длительность i -го интервала в часах (один час); T – количество интервалов расчетного периода, обычно 8 760 ч.

В последнее время многие отечественные исследователи ошибочно переводят нормативный показатель надежности в виде интегральной вероятности появления дефицита мощности J_d , принятый в отечественной практике проектирования ЭЭС, в показатель $LOLE$, принятый за рубежом [15]. При этом для сопоставления отечественных и зарубежных показателей нормирования (индикаторов) надежности используются достаточно простые выражения:

$$LOLE = T \cdot J_d = 365 \cdot 0,004 = 1,46 \text{ сут./год}, \quad (4)$$

$$J_d = LOLE / T = 0,1/365 = 0,000274. \quad (5)$$

Выражения (1) и (2), отражающие математическую сущность формирования показателей $LOLE$ и $LOLH$ (аналог отечественного показателя J_d), показывают на несостоятельность выражений (4) и (5) по двум причинам. Первая – состоит в том, что показатель $LOLE$ формируется только для суточных максимумов всех дней года, а показатель J_d – для всех часовых в разрезе года изменений нагрузки. Суточные максимумы дней года – это 365 дискретных изменений нагрузки, что в формуле (2) ха-

рактеризуется показателем $LOLP_{сут}$. Часовые нагрузки в разрезе суток всех дней года – это 8760 дискретных значений, что в формуле (1) характеризуется показателем $LOLP_a = LOLP_{час}$. Сравнивая эти два показателя, видно, что они разные.

Вторая, может, менее заметная причина состоит в том, что случайная величина числа суток в году (T_d), для которых суточный максимум нагрузки превышает случайную величину генерирующей мощности, может быть менее 365 суток, из-за того, что для некоторых суток года сумма $\sum_{k=1}^N Q_i P_k (\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H)$ в выражении (2) равна нулю (все случайные состояния бездефицитны, т.е. $\bar{P}_{ik}^H - P_{ik}^H < 0$). Это также не позволяет связывать

показатель $LOLE$ с J_d простым коэффициентом числа суток в году, равным 365.

В первом приближении, казалось бы, что показатели $LOLE$ и $LOLH$ можно связать соотношением $LOLH = 24 \cdot LOLE$. На самом деле это выражение соответствует действительности только в том случае, когда при определении показателя $LOLE$ для каждого суток моделируется часовая график нагрузки с накоплением длительности потери нагрузки в часах, которые затем пересчитываются в размерность суток. В соответствии с определением $LOLE$ это не совсем так – при моделировании рассматриваются сутки и если хотя бы на одном часе суточного графика возможен дефицит мощности, то сутки считаются дефицитными.

Именно поэтому, несмотря на схожесть выражений (2) и (3), они отражают достаточно различные как по величине, так и по физическому смыслу показатели балансовой надежности ЭЭС. В выражении (2) показатель балансовой надежности $LOLP_{сут}$, в соответствии с [13], определяется для 365 суточных максимумов нагрузки (пиков), при этом вероятность Q_i равна $1/365$. Этот же вероятностный показатель надежности ($LOLP_{час}$) в выражении (3) определяется для 8 760 ч ($Q_i = 1/8760$). Чтобы подчеркнуть разницу между показателями балансовой надежности $LOLE$ и $LOLH$, покажем несоответствие показателя $LOLE = 1$ сут./год показателю $LOLH = 24$ ч/год. Показатель $LOLE = 1$ сут./год на самом деле может означать и 1, и 2 и более часов (в пределе 24), в течение которых возможно возникновение дефицитных по генерирующей мощности состояний. Например, в случае наличия дефицита мощности только для 2 ч за сутки ($LOLH = 2$ ч/год), показатель $LOLE = 1$ сут./год. В этом случае показатель $LOLH$ в часах будет равен не $24 \cdot LOLE$, а только $2 \cdot LOLE$! Этот факт подтверждается результатами оценки показателей балансовой надежности, полученными по программе GE MARS для тестовой схемы ОЭС Востока для 2009 г. [12] – $LOLE =$

17,8 сут./год, а $LOLH = 87,55$ ч/год; для 2011 г. $LOLE = 1,745$ сут./год, а $LOLH = 7,26$ ч/год. Коэффициенты различия 4,92 и 4,16 соответственно. В [12] не приводится информация о том, каким образом производится процесс моделирования этих показателей балансовой надежности, но, на наш взгляд, приведенные выше коэффициенты показывают не что иное, как среднее число часов в сутках, когда наблюдался дефицит мощности в ЭЭС.

Закключение

Приведенный анализ методических принципов и программных средств оценки показателей балансовой надежности многозонных ЭЭС показал, что их основа (вероятностная природа случайных состояний системы и методы их оценки) в отечественных и зарубежных модельных разработках в значительной степени совпадает. Показана взаимосвязь вероятностных показателей балансовой надежности, принятых за рубежом ($LOLE$, $LOLH$) с отечественными показателями в виде интегральных вероятностей появления дефицита мощности (J_n). На этой основе сформированы требования к показателям балансовой надежности, которые позволят более обоснованно подходить к формированию уровней резервирования ЭЭС России, в том числе для условий реформирования электроэнергетики страны и внедрения конкурентного рынка электроэнергии и мощности.

Работа выполнена по Программе УрО РАН 12-М-127-2049.

Литература

1. Дубицкий М.А., Руденко Ю.Н., Чельцов Б.Н. Выбор и использование резервов генерирующей мощности в электроэнергетических системах. М.: Энергоатомиздат, 1988. 272 с.
2. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. М.: Наука, 1986. 252 с.
3. Волков Г.А. Оптимизация надежности электроэнергетических систем. М.: Наука, 1986. 117 с.
4. Иванов В.В., Колосок Г.В. Результаты исследования надежности ЭЭС по тестовой схеме с помощью программы ПОТОК-3 // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1991. Вып. 41. С. 40–53.
5. Иткин Е.А., Шадрин В.А. Построение модели анализа надежности сложной электрической системы с использованием аппроксимирующих кривых для описания случайных величин // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1976. Вып. 12. С. 44–50.
6. Ковалев Г.В., Сеннова Е.В., Чельцов М.Б. и др. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы / Под ред. Н.И. Воропая. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение РАН, 1999. 434 с.
7. Кучеров Ю.Н., Федоров Ю.Г. Развитие нормативного и методического обеспечения надежности сложных энергосистем и энергообъединений в условиях либерализованной энергетики // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2010. № 6. С. 6–17.
8. Чукурев Ю.Я. Модели обеспечения надежности электроэнергетических систем. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1995. 176 с.
9. Чукурев Ю.Я., Чукурев М.Ю. Обеспечение надежности при управлении развитием электроэнергетических систем для условий реформирования электроэнергетики / Известия РАН. Энергетика. 2008. № 4. С. 39–48.
10. Чукурев Ю.Я., Чукурев М.Ю. Обеспечение надежности электроэнергетических систем при управлении их развитием в условиях реформирования электроэнергетики. Сыктывкар, 2009. 44 с. (Новые научные методики и информационные технологии / Коми научный центр УрО Российской академии наук; Вып. 63).
11. *Мировой опыт выбора* факторов, показателей определения исходных данных по расчету вероятностных характеристик потери энергоснабжения потребителей и оценка возможности применения критериев и показателей для расчета вероятности потери энергоснабжения потребителей ЭЭС России в целом и ее частях // Научный отчет компании «Charles River Associates», Boston Massachusetts 02116, USA. 2009. 76 с.
12. *Расчет вероятностных характеристик* потери энергоснабжения в ЭЭС России в целом и ее частях с учетом известных на момент расчета планов развития генерирующих и сетевых мощностей. Проект методических указаний // Научный отчет компании «Charles River Associates», Boston Massachusetts 02116, USA. 2009. 40 с.
13. Billinton R., Allan R.N. Reliability Evaluation of Power Systems. Second Edition. New York and London, Plenum Press, 1996. 509 p.
14. CIGRE Technical Brochure on Review of the Current Status of Tools and Techniques for Risk-Based and Probabilistic Planning in Power Systems. Working Group 601 of Study Committee C4. – International Conference on Large High Voltage Electric Systems, March 2010.
15. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. М.: Энергоатомиздат, 1990. 440 с.
16. Маркович И.М. Режимы энергетических систем. М.: Энергия, 1969. 351 с.
17. *Справочник по проектированию* электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. М.: Энергоатомиздат, 1985. 352 с.

Статья поступила в редакцию 28.05.2012.

УДК 517.2 : 622.276.652

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПРОГРЕВЕ ТРЕЩИНОВАТОГО ПЛАСТА

И.Ф. ЧУПРОВ, Е.А. КАНЕВА

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
bk.if08@mail.ru*

Получено решение уравнения теплового баланса при граничных условиях первого рода. Применительно к задачам теплового воздействия на нефтяные пласты, оно описывает температурное поле трещиноватого нефтяного пласта, насыщенного высоковязкой нефтью.

Ключевые слова: тепловое воздействие, трещиноватый пласт, теплопроводность, конвекция

I.F. CHUPROV, E.A. KANEVA. THE SOLUTION OF THE PROBLEM ON WARMING UP OF FRACTURED RESERVOIR

The solution of equation of thermobalance under boundary conditions of first sort is obtained. With reference to problems of thermal effect on oil reservoirs, the obtained solution explains the temperature field of fractured oil reservoir saturated with high-viscosity oil.

Key words: thermal effect, fractured reservoir, thermal conductivity, convection

Как показала практика, добыча высоковязких нефтей и природных битумов неэффективна без теплового воздействия на пласт. Многочисленными теоретическими, лабораторными и промысловыми исследованиями установлено, что искусственным созданием заданных термодинамических условий в пласте можно существенно повлиять на подвижность нефти. Поэтому основной целью термических методов воздействия является нагрев пласта и содержащихся в нем флюидов.

Рассмотрим трещиноватый пласт, рассеченный системой параллельных трещин, насыщенного нефтью anomalно высокой вязкости или битумом (рисунок).

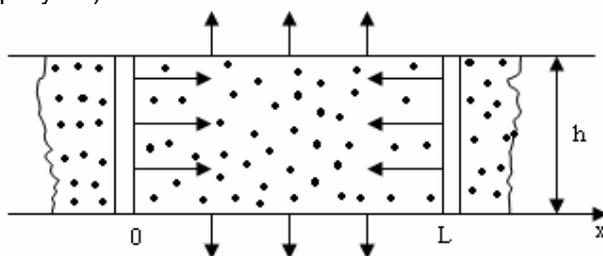


Рис. Схема трещиноватого пласта.

Опыт разработки таких месторождений показывает, что при больших фильтрационных сопротивлениях пористых блоков, закачиваемый в пласт теплоноситель на начальном этапе прогрева распространяется по трещинам. После повышения температуры до определенного уровня фильтрационные сопротивления блоков уменьшаются и теплоноситель будет проникать в блоки пласта. При этом пласт начнет прогреваться не только за счет теплопроводной составляющей, но и конвекцией.

Рассматривается задача о прогреве блоков пласта, рассеченного системой параллельных трещин (рисунок). Расстояния между трещинами L метров. Прогрев осуществляется теплопроводностью (коэффициент температуропроводности a^2), конвекцией (скорость фильтрации V). Между пластом и окружающими породами происходит теплообмен (коэффициент теплоотдачи α). В трещинах поддерживается температура T_{II} . Начальная температура пласта T_0 .

Уравнение теплового баланса при таких предположениях имеет вид

$$a^2 \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + V \cdot \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\alpha}{c \rho \tilde{h}} \cdot (T - T_0) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

при краевых условиях

$$T_{t=0} = T_0; \quad T_{x=0} = T_{x=L} = T_{II}. \quad (2)$$

В уравнении (1) c, ρ – соответственно теплоемкость и плотность пород пласта, \tilde{h} – отношение площади трещины к периметру боковой поверхности.

Обозначим $T - T_0 = \Delta T$. Откуда $T = \Delta T + T_0$.

При такой замене уравнение (1) запишется в виде

$$a^2 \cdot \frac{\partial^2 \Delta T}{\partial x^2} + V \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x} - \frac{\alpha}{c \rho \tilde{h}} \cdot \Delta T = \frac{\partial \Delta T}{\partial t}, \quad (3)$$

при граничных условиях

$$\Delta T_{x=0} = (T - T_0)_{x=0} = T_{II} - T_0 = \Delta T_{II} \quad (4)$$

$$\Delta T_{x=L} = (T - T_0)_{x=L} = T_{II} - T_0 = \Delta T_{II}$$

и начальном условии

$$\Delta T_{t=0} = (T - T_0)_{t=0} = T_0 - T_0 = 0. \quad (5)$$

Будем искать решение уравнения (3) в виде

$$\Delta T(x, t) = e^{\mu x + \lambda t} \cdot u(x, t). \quad (6)$$

После подстановки (6) в уравнение (3) получим

$$a^2 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (V + 2\mu a^2) \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + (a^2 \mu^2 + V\mu - \beta - \lambda) \cdot u = \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (7)$$

где $\beta = \frac{\alpha}{c\rho\tilde{h}}$.

Подберем μ и λ таким образом, чтобы выражения в скобках в уравнении (7) обратились в нуль. Это будет при

$$\mu = -\frac{V}{2a^2}; \quad \lambda = -\left(\frac{V^2}{4a^2} + \beta\right). \quad (8)$$

При полученных μ и λ уравнение (7) принимает вид

$$a^2 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (9)$$

Преобразуем краевые условия (4) и (5) с помощью подстановки (6)

$$u_{x=0} = e^{-\lambda t} \cdot \Delta T_{II}, \quad u_{x=L} = e^{-(\mu L + \lambda t)} \cdot \Delta T_{II}. \quad (10)$$

$$u_{t=0} = 0. \quad (11)$$

Поставленная задача (3) трансформировалась в однородное уравнение (9) при неоднородных граничных условиях (10) и начальном условии (11).

Рассмотрим функцию

$$u(x, t) = v(x, t) + \left(\Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t} + \frac{\Delta T_{II} \cdot e^{-(\mu L + \lambda t)} - \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t}}{L} \cdot x \right), \quad (12)$$

где $u(x, t)$ – решение уравнения (9) при условиях (10) и (11).

Найдем значения функции $v(x, t)$ при $x=0, x=L$ и $t=0$.

$$v_{x=0} = 0, \quad v_{x=L} = 0. \quad (13)$$

$$v_{t=0} = -\Delta T_{II} \cdot \left(1 - \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x \right). \quad (14)$$

Преобразуем уравнение (9) согласно подстановке (12)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial t} - \lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \left(1 + \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x \right);$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}.$$

Уравнение (9) относительно $v(x, t)$ принимает вид

$$\frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \left(1 + \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x \right) \quad (15)$$

при условиях (13) и (14).

Полученное уравнение (15) является неоднородным, но при однородных граничных условиях.

Методика решения неоднородного уравнения (15) такая же, как и для обыкновенных дифференциальных уравнений. Решение (15) будем искать в виде двух слагаемых

$$v(x, t) = P(x, t) + \omega(x, t), \quad (16)$$

где $P(x, t)$ является решением задачи

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial t} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}, \\ P(0, t) = P(L, t) = 0, \\ P_{t=0} = -\Delta T_{II} \cdot \left(1 - \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x \right). \end{cases} \quad (17)$$

$\omega(x, t)$ – решение задачи

$$\begin{cases} \frac{\partial \omega}{\partial t} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \left(1 + \frac{-e^{-\mu L} + 1}{L} \cdot x \right), \\ \omega_{x=0} = \omega_{x=L} = 0, \quad \omega_{t=0} = 0. \end{cases} \quad (18)$$

Решение задачи (17) хорошо известно, как решение однородного уравнения при нулевых граничных условиях [1].

$$P(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \exp\left(-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t\right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x, \quad \text{где} \quad (19)$$

$$A_n = \frac{2}{L} \int_0^L P_{t=0} \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x dx = -\frac{2\Delta T_{II}}{L} \int_0^L \left(1 - \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x \right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x dx = \frac{2\Delta T_{II}}{n\pi} \left((-1)^n \cdot e^{-\mu L} - 1 \right).$$

$$P(x, t) = \frac{2\Delta T_{II}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left((-1)^n \cdot e^{-\mu L} - 1 \right)}{n} \cdot \exp\left(-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t\right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x - \text{решение задачи (17)}. \quad (20)$$

Решение задачи (18) будем искать в виде ряда [1].

$$\omega(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x. \quad (21)$$

Решение (21) удовлетворяет граничным условиям $\omega_{x=0} = \omega_{x=L} = 0$.

Для того, чтобы выполнялось начальное условие, необходимо

$$T_n(0) = 0. \quad (22)$$

Последнее слагаемое в правой части уравнения (18) удовлетворяет условиям Дирихле и ее можно разложить в ряд Фурье по синусам

$$\begin{aligned} f(x,t) &= \lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \left(1 + \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x\right) = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n(t) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x, \text{ где} \\ \varphi_n(t) &= \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t}}{L} \int_0^L \left(1 + \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x\right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x \, dx = \\ &= \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t}}{n\pi} \left(1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}\right). \end{aligned}$$

Последнее слагаемое уравнения (18) представляется в виде

$$\begin{aligned} f(x,t) &= \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}}{n} \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x. \end{aligned} \quad (23)$$

Подставим ряд (21) в уравнение (18) и учтем (23), получим

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \left(T_n'(t) + \left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 \cdot T_n(t) - \right. \\ \left. - \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t}}{n\pi} \left(1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}\right) \right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x = 0. \end{aligned}$$

Для определения $T_n(t)$ получим линейное дифференциальное уравнение первого порядка

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} + \left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 \cdot T_n(t) = \\ = \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t}}{n\pi} \left(1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}\right), \end{aligned} \quad (24)$$

общее решение которого

$$\begin{aligned} T_n(t) &= C \cdot \exp\left(-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t\right) + \\ &+ \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot \left(1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}\right)}{n\pi \left(\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 - \lambda\right)} \cdot e^{-\lambda t}. \end{aligned} \quad (25)$$

Подчиним решение (25) начальному условию (22). Получим

$$\begin{aligned} T_n(t) &= \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot \left(1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}\right)}{n\pi \left(\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 - \lambda\right)} \cdot \\ &\cdot \left(\exp(-\lambda t) - \exp\left(-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t\right) \right), \end{aligned}$$

Решение задачи (18)

$$\begin{aligned} \omega(x,t) &= \frac{2\lambda \cdot \Delta T_{II}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}\right)}{n \left(\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 - \lambda\right)} \cdot \\ &\cdot \left(\exp(-\lambda t) - \exp\left(-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t\right) \right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x. \end{aligned} \quad (26)$$

Выполнив обратные подстановки, получим

$$\begin{aligned} u(x,t) &= \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t} + \frac{\Delta T_{II} \cdot e^{-(\mu L + \lambda t)} - \Delta T_{II} \cdot e^{-\lambda t}}{L} \cdot x + \\ &+ \frac{2\Delta T_{II}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot e^{-\mu L} - 1}{n} \exp\left(-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t\right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x + \\ &+ \frac{2\lambda \Delta T_{II}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(1 - 2(-1)^n + (-1)^n \cdot e^{-\mu L}\right)}{n \left(\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 - \lambda\right)} \left(\exp(-\lambda t) - \exp\left(-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t\right) \right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x. \end{aligned} \quad (27)$$

Выполняя подстановку (6) и учитывая, что $\Delta T = T - T_0$, получим $T = T_0 + e^{\mu x + \lambda t} \cdot u(x,t)$. В подробной записи решение поставленной задачи принимает вид

$$\begin{aligned} \theta = \frac{T - T_0}{T_{II} - T_0} &= e^{\mu x} \left(1 - \frac{1 - e^{-\mu L}}{L} \cdot x + \right. \\ &+ \frac{2e^{\lambda t}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot e^{-\mu L} - 1}{n} \times \\ &\times e^{-\left(\frac{an\pi}{L}\right)^2 t} \sin \frac{n\pi}{L} x + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{2\lambda e^{\lambda t}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - 2(-1)^n + (-1)^n e^{-\mu L})}{n \left(\left(\frac{an\pi}{L} \right)^2 - \lambda \right)} \times \\
 & \times \left(e^{-\lambda t} - e^{-\left(\frac{an\pi}{L} \right)^2 t} \right) \sin \frac{n\pi}{L} x \quad (28)
 \end{aligned}$$

Рассмотрим частные случаи:

$$1. V = 0 \Rightarrow \begin{cases} \mu = 0 \\ \lambda = -\beta \end{cases}, \text{ прогрев теплопровод-}$$

ностью, но учитываются потери тепла в окружающие породы. Из (28) получаем

$$\begin{aligned}
 \theta = 1 + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n - 1}{n} \exp \left(- \left(\left(\frac{an\pi}{L} \right)^2 - \beta \right) t \right) \\
 \sin \frac{n\pi}{L} x + \\
 + \frac{2\beta}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n \left(\left(\frac{an\pi}{L} \right)^2 + \beta \right)} \left(1 - \exp \left(- \left(\left(\frac{an\pi}{L} \right)^2 - \beta \right) t \right) \right) \\
 \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x.
 \end{aligned}$$

2. При условии прогрева пласта только теплопроводностью ($V = 0 \Rightarrow \mu = 0$) без потерь тепла в окружающие породы ($\alpha = 0 \Rightarrow \beta = 0 \Rightarrow \lambda = 0$) решение (28) принимает вид

$$\begin{aligned}
 T = T_0 + (T_{II} - T_0) \\
 \left(1 + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n} \cdot \exp \left(- \left(\frac{an\pi}{L} \right)^2 t \right) \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x \right).
 \end{aligned}$$

Получили решение уравнения линейной теплопроводности при краевых условиях (2).

Выводы

1. Для одномерного случая (температура по толщине пласта считается постоянной) при граничных условиях 1-го рода получено решение уравнения, описывающего температурное поле нефтяного пласта при термовоздействии через трещины с учетом факторов теплопроводности, конвекции и потерь тепла в окружающие пласт породы.

2. В качестве частных случаев получены зависимости для вычисления температуры только при прогреве теплопроводностью с учетом и без учета потерь тепла в окружающие пласт породы.

3. Полученные в работе результаты могут быть использованы при проектировании разработки месторождений высоковязкой нефти или природных битумов, пласты которых имеют вертикальные и крутопадающие параллельные трещины.

Литература

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 735 с.

Статья поступила в редакцию 30.01.2012.

УДК 622.276.652

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ВОДОПЛАВАЮЩЕЙ ЗАЛЕЖИ АНОМАЛЬНО ВЯЗКОЙ НЕФТИ

Л.М. РУЗИН, И.Ф. ЧУПРОВ, М.С. ХОЗЯИНОВА

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
mhozyainova@ugtu.net

Рассматривается вариант разработки водоплавающей залежи аномально вязкой нефти с использованием подстилающего водоносного пропластка для предварительного прогрева продуктивного пласта. Показано, что пласты небольшой толщины (до 10-15м) можно прогреть через водоносный пропласток до температуры, при которой появится возможность перейти к площадному вытеснению нефти.

Ключевые слова: закачка пара, высоковязкая нефть, паротепловое воздействие на пласт, водоносный пропласток

L.M.RUZIN, I.F.CHUPROV, M.S.KHOZYAINOVA. ENGINEERING DESIGN PRINCIPLES OF BOTTOM WATER-DRIVE RESERVOIR WITH NON-NEWTONIAN VISCOUS OIL

Version of design of bottom water-drive reservoir with non-Newtonian viscous oil with the use of underlying watered layer for stand-by heat of pay zones is considered. It is shown that layers with shallow thickness (to 10-15 meters) can be warmed up through watered layer to temperature that permits the switch to pattern drive.

Key words: steam injection, high-viscosity oil, vapor and thermal treatment, watered layer

К основным особенностям геолого-физической характеристики пласта на Лыяельской площади Ярегского месторождения относятся: небольшая толщина – 10–15 м, аномально высокая вязкость нефти – 15–20 тыс. $\mu\text{Па}\cdot\text{с}$ и наличие на значительной части площади подстилающего водоносного горизонта. Подобные запасы углеводородов зачастую относят к забалансовым и не разрабатывают. Основная проблема, с которой пришлось столкнуться при проведении опытных работ по тепловому воздействию на пласт – освоение скважин под закачку пара и обеспечение приемлемых темпов закачки. Практически все скважины характеризовались крайне низкой проницаемостью. Фильтрационные сопротивления пласта, насыщенного аномально вязкой нефтью, настолько велики, что, как показывают расчеты, невозможно обеспечить существенную скорость фильтрации закачиваемого теплоносителя при максимально допустимых давлениях нагнетания.

Одним из вариантов разработки нефтяного пласта в таких условиях может быть предварительная закачка пара в прилегающий к нефтяному пласту водоносный пропласток (рис. 1).

При изложенном выше варианте прогрева продуктивный пласт прогревается за счет теплопроводной составляющей, а водоносный пропласток – в основном за счет конвективного переноса

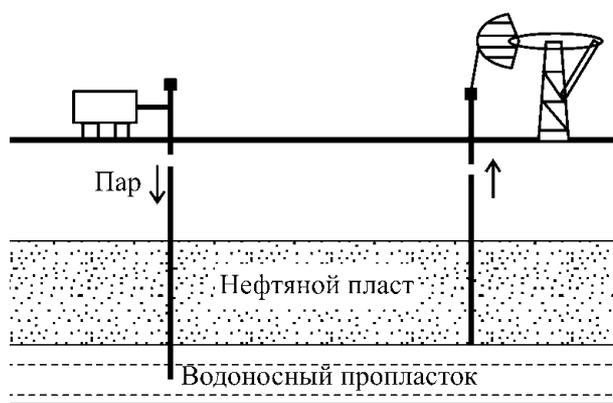


Рис. 1. Схема прогрева продуктивного пласта через водоносный горизонт.

тепла. Цель закачки теплоносителя в водоносный горизонт – снижение фильтрационного сопротивления продуктивного горизонта до уровня, обеспечивающего необходимые темпы закачки теплоносителя или другого вытесняющего агента непосредственно в нефтяной пласт. Поэтому прогрев пласта через водоносный горизонт следует рассматривать как необходимую подготовительную технологическую операцию, предшествующую активному гидродинамическому вытеснению нефти из прогретого пласта.

Для исследования динамики температуры в продуктивном пласте при закачке теплоносителя в подстилающий водоносный горизонт была использована схема Х. Ловерье [1].

$$\begin{cases} \frac{c_{II} \cdot h}{\lambda} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} + \frac{q_{жс} \cdot c_{жс}}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} - 2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial z} \right)_{z=\pm \frac{h}{2}} = 0, \\ \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda}{c_2} \cdot \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \end{cases}$$

при условиях

$$T_1 = T_2 = T_0 \text{ при } t = 0, \quad T_1 = T_2 \text{ при } |z| = \frac{h}{2},$$

$$T = T_{жс} \text{ при } r = 0, \quad T_1 = T_2 = T_0 \text{ при } r \rightarrow \infty,$$

$$T_2 = T_0 \text{ при } |z| \rightarrow \infty,$$

где T_1 – температура пласта; T_2 – температура окружающих пород; T_0 – начальная температура пласта; $T_{жс}$ – температура горячей воды; h – толщина нефтяного пласта, c_{II} и c_2 – теплоёмкость пласта и окружающих пород соответственно; $c_{жс}$ – теплоёмкость горячей жидкости; $q_{жс}$ – темп закачки горячей жидкости; λ – теплоёмкость пород; r – расстояние от оси скважины, t – время закачки.

Расчётные формулы имеют вид:

а) для пласта

$$\theta_1 = \frac{T_1 - T_0}{T_{жс} - T_0} = \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2 \cdot \sqrt{\alpha(\tau - \xi)}} \right) \cdot \sigma(\tau - \xi);$$

б) для окружающих пород

$$\theta_2 = \frac{T_2 - T_0}{T_{жс} - T_0} = \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + |\eta| - 1}{2 \cdot \sqrt{\alpha(\tau - \xi)}} \right) \cdot \sigma(\tau - \xi),$$

($|\eta| > 1$).

$$\text{Здесь } \xi_{\theta} = \frac{4\pi \cdot \lambda \cdot r^2}{h \cdot q_{жс} \cdot c_{жс}}, \quad \tau = \frac{4\lambda t}{c_{II} \cdot h^2},$$

$$\eta = \frac{2 \cdot z}{h}, \quad \alpha = \frac{c_{II}}{c_2}, \quad \sigma(\tau - \xi) = \begin{cases} 0 & \text{при } \tau - \xi < 0, \\ 1 & \text{при } \tau - \xi > 0, \end{cases}$$

$$\operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u), \quad \operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-x^2} dx.$$

При закачке пара

$$\xi_{II} = \frac{4\pi \cdot \lambda \cdot \Delta T_{II} \cdot r^2}{h_{\theta} \cdot q_{II} \cdot (c'_{II} \cdot \Delta T_{II} + x_{II} \cdot c_r)},$$

где q_{II} – массовый расход нагнетаемого пара, h_{θ} – толщина водоносного пропластка, x_{II} – степень сухости пара, c'_{II} – теплоёмкость пара при заданной температуре, c_r – скрытая теплота парообразования, $\Delta T_{II} = T_{II} - T_0$ избыточная температура пара.

Замена ξ_{θ} на ξ_{II} означает, что нагнетаемый

пар заменяется эквивалентным количеством горячей воды с равными температурой и теплосодержанием.

Средняя безразмерная температура продуктивного пласта при заданных ξ и τ выразится формулой:

$$\begin{aligned} \bar{\Theta}(\xi, \tau) &= \frac{1}{h} \int_{\frac{1}{2}h_{\theta}}^{\frac{1}{2}h_{\theta}+h} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + \frac{2}{h_{\theta}}z - 1}{2\sqrt{\alpha(\tau - \xi)}} \right) dz = \\ &= \left(1 + \frac{\xi \cdot h_{\theta}}{2h} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{2h + h_{\theta} \cdot \xi}{2h_{\theta} \sqrt{\alpha(\tau - \xi)}} \right) - \\ &- \frac{\xi \cdot h_{\theta}}{2h} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\alpha(\tau - \xi)}} \right) + \frac{h_{\theta} \sqrt{\alpha(\tau - \xi)}}{\sqrt{\pi} \cdot h} \\ &\left(\exp \left(-\frac{\xi^2}{4\alpha(\tau - \xi)} \right) - \exp \left(-\frac{\xi^2 \cdot h_{\theta}^2 + 4h^2 + 4\xi \cdot h_{\theta} \cdot h}{4h_{\theta}^2 \alpha(\tau - \xi)} \right) \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Математическая модель (1) в дальнейшем была использована для исследования влияния геологических и технологических факторов на эффективность прогрева продуктивного пласта через водоносный горизонт. Установленные закономерности изложены в работе [2].

Для определения момента перехода к вытеснению нефти из пласта необходимо исследовать динамику фильтрационного сопротивления продуктивного пласта по мере его прогрева. Изучение динамики фильтрационных сопротивлений в процессе прогрева позволяет определить момент перехода к площадному вытеснению нефти из прогретого пласта.

Начальный расход теплоносителя до теплового воздействия при круговом течении определяется по формуле:

$$q_{нач} = \frac{2\pi k \cdot h}{\mu_n} \cdot \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{R}{r_0}}, \quad (2)$$

где k – проницаемость пласта, μ_n – вязкость нефти, $P_k - P_c$ – перепад давления между зоной нагнетания и отбора, R – радиальная координата, r_0 – радиус скважины.

Текущий расход теплоносителя в период прогрева с учетом зависимости вязкости нефти от температуры может быть определен по приближенной формуле:

$$q_{тек} = 2\pi k \cdot h \cdot \frac{P_k - P_c}{\sum_{i=1}^n \mu_{ni} \cdot \ln \frac{R_{i+1}}{R_i}}, \quad (3)$$

где μ_{ni} – вязкость нефти в интервале ($R_i; R_{i+1}$).

Составим соотношение начального расхода к текущему, характеризующее степень снижения фильтрационных сопротивлений пласта в результате теплового воздействия:

$$\eta_{\phi} = \frac{q_{нач}}{q_{тек}} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ni} \cdot \ln \frac{R_{i+1}}{R_i}}{\mu_n \cdot \ln \frac{R}{r_0}} \quad (4)$$

В качестве примера выполнен расчёт динамики фильтрационных сопротивлений при следующих данных: $h = 10$ м, $r_0 = 0,05$ м, $\mu_H = 10060$ мПа·с (вязкость нефти Ярегского месторождения при 10°C), $R = 50$ м,

$$T_{II} = 150^{\circ}\text{C} \text{ и } 200^{\circ}\text{C}, \quad T_0 = 10^{\circ}\text{C}, \quad \lambda_{II} = 2,32 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}},$$

$$c_{II} = 2212 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}, \quad c_{\sigma} = 1940 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}, \quad c_r = 1941 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$c_{II}' = 1,89 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \quad x_{II} = 0,7, \quad q_{II} = 50 \text{ т/сут.}$$

Радиус прогрева $R = 50$ м разобьём на 10 частей. Примем $R_{i+1} = 5i$, $R_i = 0,05i + 5(i-1)$. В формуле для определения η_{ϕ} верхний индекс суммирования будет равняться 10.

Методика расчёта состоит в следующем: вначале для каждого заданного радиуса находим среднюю температуру нефтяного пласта по формуле (1), затем по температуре определяем вязкость нефти и в дальнейшем по формуле (4) находим динамику снижения фильтрационных сопротивлений (рис. 2).

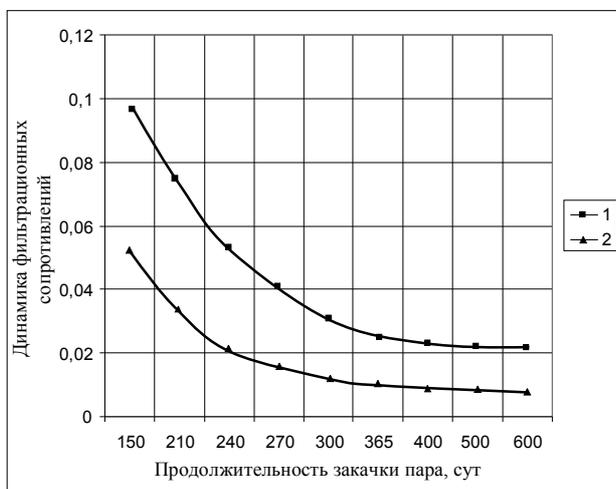


Рис. 2. Динамика фильтрационного сопротивления пласта в радиусе 50 м при $h_e = 4$ м, 1 - $T_{II} = 150^{\circ}\text{C}$, 2 - $T_{II} = 200^{\circ}\text{C}$

На приведенном выше рисунке можно выделить два этапа: период резкого снижения фильтрационного сопротивления продуктивного пласта и период умеренного снижения и последующей стабилизации фильтрационного сопротивления, который наступает примерно через год после начала прогрева. Через год можно перейти к вытеснению нефти из пласта.

Определение необходимого времени предварительного прогрева пласта, после которого мож-

но переходить к площадному вытеснению нефти, выполняется следующим образом:

– для заданных значений проницаемости коллектора, толщины пласта и максимально возможного давления нагнетания пара вычисляется начальный расход теплоносителя $q_{нач}$ до теплового воздействия на пласт по формуле (2). Так, при проницаемости коллектора $3 \cdot 10^{-12}$ мкм² и давлении нагнетания 3 МПа с учетом ранее принятых значений других параметров величина $q_{нач}$ составляет 0,48 м³/сут.;

– задаваясь расходом теплоносителя $q_{тек}$, по формуле (4) определяем степень снижения фильтрационных сопротивлений пласта η_{ϕ} для обеспечения заданного расхода $q_{тек}$. Например, для $q_{тек} = 50$ м³/сут значение η_{ϕ} составляет примерно 0,01;

– используя рис. 2, для заданных значений R и h_e , определяем время закачки пара в водоносный пропласток, соответствующее моменту перехода к площадной закачке пара. При температуре пара 200°C время перехода к площадному вытеснению нефти составляет 365 суток.

Как известно, при закачке пара в пласте последовательно перемещаются три зоны: зона насыщенного пара, зона горячей жидкости и зона начальных пластовых температур. Сопоставим динамику снижения фильтрационного сопротивления пласта с характером продвижения указанных зон.

Радиус зоны пара зависит от темпа закачки q_{II} , параметров закачиваемого пара, толщины водоносного пропластка, теплофизических параметров пласта и вычисляется по формуле [3].

$$r_{II} = \sqrt{\frac{q_{II} \cdot c_r \cdot t}{\pi \cdot h_e \cdot c_{y\delta}}}$$

где $c_{y\delta} = m \cdot c_r \cdot \rho_{II} + (1 - m) \cdot c_{ск} \cdot \rho_{ск} \cdot \Delta T_{II}$ –

удельная теплоемкость пласта, m – пористость, ρ_{II} – плотность пара, $c_{ск}$, $\rho_{ск}$ – удельная теплоемкость и плотность скелета водоносного пропластка.

Выполним оценку скорости продвижения паровой зоны для следующих исходных данных:

$$q_{II} = 50 \text{ т/сут}; \quad \rho_{ск} = 2200 \text{ кг/м}^3; \quad m = 0,26;$$

$$\rho_{II} = 300 \text{ кг/м}^3; \quad c_r = 1941 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$c_{ск} = 2212 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}; \quad h_e = 4 \text{ м}; \quad \Delta T_{II} = 190^{\circ}\text{C}.$$

При расстоянии между нагнетательной и добывающими скважинами $R = 50$ м и принятых выше условиях прорыв пара в добывающие скважины произойдет через 170 суток, т.е. раньше, чем фильтрационное сопротивление пласта снизится до необходимого уровня.

Дальнейшее нагнетание пара после прорыва приводит к утечкам тепла за пределы разрабатываемых элементов и неэффективному использованию энергии теплоносителя. Исходя из этих соображений, после прорыва пара необходимо прекра-

тить на некоторое время нагнетание теплоносителя. После прекращения закачки пара температура продуктивного пласта будет повышаться до момента выравнивания с температурой водоносного пропластка. При этом пар сконденсируется и давление в водоносном слое уменьшится. Следующий цикл нагнетания пара необходимо начать в момент равенства средней температуры пласта и водоносного пропластка (рис. 3).

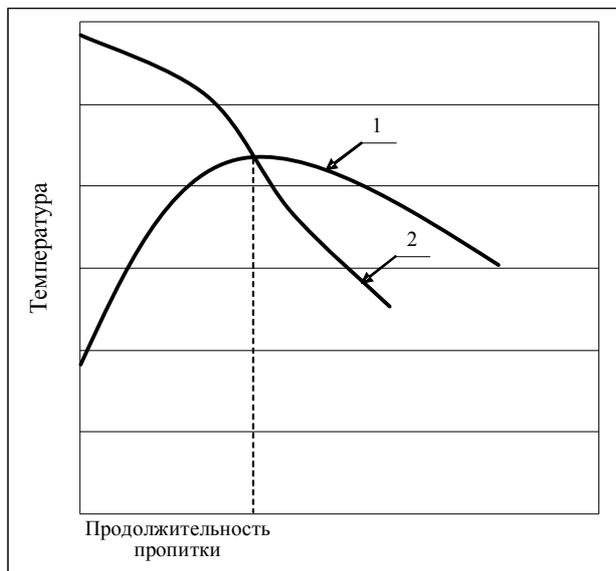


Рис. 3. Динамика температуры пласта и водоносного пропластка после прекращения закачки пара. 1 – температура пласта, 2 – температура водоносного пропластка.

Такой режим закачки пара позволяет значительно повысить тепловую эффективность процесса и снизить паронефтяное отношение.

В заключение отметим, что опытный участок ОПУ-1 Лыаёльской площади Ярегского месторождения разрабатывался по вышеописанной технологии в течение 20 лет. За это время на площади 6 га была достигнута нефтеотдача – 35% при приемлемом паронефтяном отношении 5,6 т/т. Приведенные результаты исследований свидетельствуют о том, что технология, включающая в начальной стадии использование водоносного пропластка для предварительного прогрева нефтяного пласта, является одним из эффективных вариантов разработки залежей anomalно вязкой нефти или битума.

Литература

1. Бурже Ж., Сурио П., Комбарну М. Термические методы повышения нефтеотдачи пластов. М.: Недра, 1986. 424 с.
2. Рузин Л.М., Чупров И.Ф. Технологические принципы разработки залежей anomalно вязких нефтей и битумов: монография / Под ред. Н.Д. Цхадая. Ухта: УГТУ, 2007. 244 с.
3. Шейнман А.Б., Малофеев Г.Е., Сергеев А.И. Воздействие на пласт теплом при добыче нефти. М.: Недра, 1969. 254 с.

Статья поступила в редакцию 29.02.2012.

«СЛОВО О ЗАБЫВШИХ ГРЕШНЫХ»: К ВОПРОСУ О ПОМИНОВЕНИИ В УСТЬ-ЦИЛЕМСКОЙ КУЛЬТУРНОЙ ТРАДИЦИИ

Т.И. ДРОНОВА

Институт языка, литературы, истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

t_i_dronova@mail.ru

В статье рассматриваются традиционные представления русских староверов-беспоповцев, проживающих в Усть-Цилемском районе Республики Коми, о поминовении усопших. Источником для написания статьи послужили полевые материалы, собранные автором, – это устные рассказы усть-цилемских крестьян и рукописный текст «Слово о забывших грешных», раскрывающие народное понимание и роль церковных обрядов в поминовении усопших.

Ключевые слова: староверы, поминовение, устная и письменная традиции, земная и загробная жизнь

T.I.DRONOVA. «SLOVO O ZABYVSHIH GRESHNYH (THE WORD OF FORGOTTEN SINNERS)»: TO THE PROBLEM OF COMMEMORATION IN UST-TSILMA CULTURAL TRADITION

The article deals with traditional ideas of Russian priestless Old Believers, who live in the Ust-Tsilma district of the Komi Republic, about tradition of commemoration of the departed. The article is based on the field data, collected by the author: oral stories of Ust-Tsilma peasants and a handwritten text – "Slovo o zabyvshih greshnyh" – that reveal folk understanding and the role of religious rites in "commemoration of the departed".

Key words: Old Believers, commemoration, oral and written tradition, earthly life and after-life

Введение

Русские староверы-беспоповцы, проживающие в Усть-Цилемском районе Республики Коми, составляют общность конфессионального типа с самоназванием *староверы*. Окружающее русское и иноэтничное население называет староверов *устьцилёма* – по топониму самого древнего и крупного их поселения, ставшему со временем вторым групповым экзонимом, под которым общность вошла в научную литературу. Группа характеризуется устойчивым воспроизводством культуры, и поминальный обряд является тому подтверждением. Сравнение собранных полевых данных в 1990–2011-х гг. с материалами середины XX в. позволяет утверждать, что поминальная обрядность не претерпела существенных изменений на протяжении конца XIX – начала XXI в. Изменения коснулись, прежде всего, некоторых внешних признаков, связанных с условиями современной жизни. Погребение и поминовение совершаются традиционным

способом даже в семьях, где проживают маловерующие люди, но смерть близких (особенно преждевременная) резко меняет их отношение к вере и жизни–смерти в целом. В такие дни становится естественным полное повиновение старшим, возглавляющим проведение обряда. Комплекс поминальных обычаев регулируется строгими древле-церковными правилами, отступление от которых рассматривается деревенскими жителями как нарушение не только самого обряда, но и религиозно-социальной жизни общины в целом. В нем наиболее полно проявляются родственные и соседские отношения, поддерживающие бытовой уклад сельского коллектива.

В предлагаемой работе рассматриваются представления усть-цилемских староверов о значении поминовения усопших, закрепленные в устной и письменной традициях. Тема раскрывается на основе устных полевых материалов (ПМА) и рукописного текста «Слово о забывших грешных», выявленных автором в период 1990–2011 гг.

Поминовение как способ самосохранения рода

В старообрядческой традиции главнейшая роль в поминовении усопших по-прежнему отводится исполнению церковного правила, включающего панихиду (*панафиду*) с поминальной трапезой, литию, чтение Псалтыри и канонов, подавания милостыни. Цель проведения церковных обрядов заключается в поддержании контакта живых с умершими, в улучшении их загробной судьбы. Вместе с тем, их исполнение связывается и с сохранением рода, поскольку бытует мнение, что неотмоленные грехи покойного оскверняют род и могут искоренить его. Поэтому живые, совершая поминальные молитвы, заботятся и о себе, и об общине в целом. В связи с таким пониманием о мироустройстве социума усть-цилемские крестьяне в поминальные дни совершают поминовение не только по родным и близким, но и по прочим сельчанам, умершим естественной смертью. О.А. Седакова, раскрывая литургическое богословие смерти, пишет: «Мысль об устройстве земного социума была бы не полна, если бы она не имела в виду этой его невидимой части, ушедших, не прерывающейся связи с живущими, их включенности не только в настоящее, но и в будущее – в *земное* (курсив в тексте – Т.Д.) будущее, как ни странно это звучит, – в движение истории к будущему» [1, с. 278].

«По христианскому учению, смерть есть предел (разрядка в тексте – Т.Д.), которым оканчивается “время подвигов человека” и начинается время воздаяния» [2, с. 167]. В народном понимании «прямая дорога» к Богу уготована мученикам за веру и Отечество: «*Которы за Христа пострадали, те сразу в рай попадают. Опеть, которы на войны пали, зашшитники тоже в рай попадают. Говорят: во время войны для зашшитников двери в рай на каждый час открыты. Без вины гинут люди потому что*» (ПМА. Записано от П.Г. Чупровой, 1925 г.р. в с. Трусово в 2005 г.). Прочие усопшие нуждаются в духовной (молитвенной) поддержке, особенно в первые сорок дней, когда душа восходит в Царствие Небесное. Усть-цилемские крестьяне подчеркивают, что обрядам поминального цикла придается большее значение, чем собственно погребению, объясняя: в период трехдневного нахождения усопшего на земле воздаются почести человеку, а после погребения – душе. Как гласит усть-цилемское присловье: «*Не важно, как хоронить будут, важнее, как поминать будут*». Смерть не прерывает отношений между живыми и мертвыми – предки занимают сакральную позицию в социуме и в зависимости от ситуации способны благотворно или негативно воздействовать на живых. Чтобы заслужить расположение усопших (*благодать родителей*), живым необходимо не только совершать по ним поминовение, но и соблюдать правильное поведение, выражавшееся, в том числе, и в *милостливом* отношении к нищим, больным, убогим как Божиим посланникам: «*Мы ныне боимсе нищим худым людям помогчи. Мамка сказывала: “Бедны да нишшы богатому на спасень*

Богом даны”. Ране люди ходили милостину просили и давали. Из Ижмы даже приезжали собирали и давали. Через бедных, больных спасаемсе, родителей поминать надо» (ПМА. Записано от А.М. Бабиковой, 1922 г.р. в д. Чукчино в 2004 г.).

Исполнение комплекса поминальных обрядов для верующего человека включает и важнейший момент в его собственной подготовке к загробной жизни, через которую раскрывается смысл земной, представляемой как временной: «*человек рождается на век, а умрет на жизнь*», «*истинная жизнь – на небесах*» и др. Такое понимание жизни-смерти, открывающей истинную жизнь души, основывается на глубокой вере в загробную жизнь, тесно связанное с темой «Страшного суда».

Эти предварительные замечания о значении поминовения в усть-цилемской культурной традиции в полной мере раскрываются в «Слове о забытых грешных», что свидетельствует о начитанности усть-цилемских крестьян и стремлении соблюдать заповеди «святых отцов» Церкви. Текст выявлен в 2008 г. в крестьянской семье. Автор текста не определен, по мнению П.А. Поздеевой, владельца тетради, взят из Златоуста – книжного памятника, являвшегося для нее, как и для прочих христиан, авторитетным произведением – «*книга, где всё правда*». Тетрадь досталась ей в наследство от родственников мужа, почитавшихся в Усть-Цильме «грамотными», т.е. владевшими церковной грамотой. В процессе исследования по выявлению авторства текста пришлось проработать многие «Слова» Иоанна Златоустого (или Златоуста), однако среди его проповедей такое «Слово» не значится.

В январе 2012 г., занимаясь организацией проведения выставки «И пусть не рвется времен связующая нить», посвященной старообрядческим родам Усть-Цильмы, Т.Д. Вокуева – представитель рода «Анхиных», показала мне тетради своей мамы – Н.Я. Носовой – первого председателя старообрядческой общины с. Усть-Цильмы, одна из которых была адресована детям: «*Моим детям! Памятка пожизненная*». Первым напутствием к детям был обращен вышеназванный текст, озаглавленный как «Слово из книги “Измарагд камень”, глава 30, слово 93. “О западных. Сиречь о забытых грешных”». Ни в одной из известных двух редакций Измарагда «Слово» не встречается, однако со сходным названием текст представлен в различных старообрядческих сборниках, в том числе и страннического согласия [3]. В.И. Малышев, описывая рукописи, привезенные им с Печоры, называет рукописную тетрадь от 1913 г. под названием «Слово о забытых грешниках» в шести листах, где на первом листе значится «Слово из книги Измарагд камень...». В нашем случае очень важной является приписка Владимира Ивановича «В старообрядческом издании Измарагда (М., 1912 г.) этого слова нет. По содержанию больше подходит к Синодику» [4].

В тетради П.А. Поздеевой «Слово» написано в подражание печатному шрифту, в тетради Н.Я. Носовой – прописью. Мое желание переписать текст было воспринято Прасковьей Андреевной положительно, при этом высказывалось пожелание:

«И всем расскажи, как надо поминать родителей. Начисто ныне люди все Perezабывали». При опросе жителей о загробной жизни многие из них с интересом подробно рассказывали о загробных мытарствах преподобной Феодоры, описанных в Житии Василия Нового, пересказывали Сказание св. Макария Александрийского о загробном пребывании души в первые сорок дней от кончины, о путях восхождения ее в Небесные Царствия. Повествования прерывались размышлениями информантов об утрате веры в Бога их детьми и внуками и высказывалось предположение, что наступят времена, когда умершие будут лежать камнем, т.е. без поминаения и тогда настанут «последние времена».

«Слово» написано простодушным языком в живом понятном крестьянству народном стиле, повествование в котором идет от лица усопших, отошедших к Господу не подготовленными, т.е. без покаяния, не исполнивших духовных дел. Рукописное слово для просвещенных староверов всегда было и остается важнейшим «единственным непререкаемым авторитетом, объясняющим, хранящим и воспроизводящим на уровне личности старообрядца и старообрядческой общины отеческие традиции» [5]. Понимая это, крестьяне и оставляли письменные напутствия потомкам, часто не указывая источник, но горячо желая сохранить веру и благочестие.

«Слово» начинается так: «Аще который христианин род забывший не поминает, того родители просят всех родственников, чтобы постарались о душах наших. О друзья, братие и сестры попечитесь о душах наших» (ПМА. «Слово о забывших грешных») и воспринимается как призыв. С характерной выразительностью в нем раскрываются народные представления о загробной жизни, о неупокоившихся душах, пребывающих в мучениях, ожидающих «Страшного суда»: «горе нам окаянним изжившим его (состояние – Т.Д.) напусто на пьянство и на ризное украшение и на угощение друзей, а на доброе дело скупостью одержались, и о душах своих не пеклись, комо чаяли помощника к царю небесному, не искали себе на он свет друзей духовных. Кто нас теперь измолит или кто изручит или кто из вечных мук избавит» (ПМА. «Слово о забывших грешных»).

В рассказах крестьян народные суждения о «том» свете часто расходятся с каноническими и тяготеют к конкретизации. Как и повсеместно, единственным отчетливым представлением народа о загробной жизни является вечность [6]. Рай мыслится как место, где «всегда весна», произрастают дивные сады, обитатели ходят в красивых одеждах и т.д. В «Слове» местом пребывания усопших грешников, как и в устных текстах, называется некое «темное место», «под землей», «под морем»: «у немилостивого человека родители грешные души лежат под землею и под морем за грехи своя во темницах адовых до второго и страшного пришествия Господня вниц лицом левая рука, адесная (правая – Т.Д.) сверху, и льют оне слезы кровавые, и просят оне всех своих сродников, о друзья вы наши братие, и сестры, постарайтесь о нас грешных

до будущего суда Господня, доколь можно нам от вас помош получить и отраду душам нашим» (ПМА. «Слово о забывших грешных»). Согласно тексту, на «том» свете действуют формы экономических отношений, как, например, «братъ займы»: «А если, которые сродницы имеют стяжания, о родителей своих не пекутся, бесовскою скупостью одержими бывают <...> ти родители, которых не поминуют <...>, восплачутся и возрыдают и возглаголют тем о которых молятся: братия дайте нам займы милостыни вашей аще ли пришлют сродницы наши, то мы отдадим вам» (ПМА. «Слово о забывших грешных»).

Основная часть «Слова» построена на противопоставлении: усердие в молитве – уклонение от исправления правила поминаения, в рамках которого раскрываются темы спасения, вознаграждения за труды и гибель души, гнев родителей (предков), обнаруживающийся через различные наказания. Благочестивым христианам, пребывающим в молитве, исполняющим правило поминаения, сулится спасение: «Аще ли будешь о святом писаньи изисковать и стараться от души, о души своей и родителей своих, то за сие получишь оставление грехов, и в сем веце и избавлен будешь напастей, а в будущем веце наследит царство небесное <...> Господи, воздаждь ему продление лет и всякого обилия наполни» (ПМА. «Слово о забывших грешных»). А нерадивым сродникам предки зывают Господа о наказании: «И посему возопию ко Господу нашему на своих сродников, которые их не поминуют и просят бед и напастей и глаголют сице из глубины сердечныя, о Господи, Господи, пошли ты на наш род они имеют в поли с хлебом, то градом побей. Аще ли скот имеют, то мором умори, аще ли дом имеют, то огнем сожги, аще ли торговлю имеют и именье, то обворуют <...> аще пчел имеют, то даждь им Господи боли полной, аще ли кое ремесло имеют, отими от них» (ПМА. «Слово о забывших грешных»). Подобные суждения встречаются во многих авторитетных Святоотеческих писаниях, и они известны усть-цилемским староверам-книжникам. Завершается устрашение словами: «Мертвые у врат не стоят, а свое возьмут» – это суждение в настоящее время активно используется усть-цилемскими крестьянами, приводится ими в назидание детям и подкрепляется конкретными примерами из жизни. Например, внезапная смерть близких рассматривается как способ напоминания о себе забытыми предками, не получившими должного поминаения. При этом умершие, по мнению устьцилемов, забирают к себе благочестивых людей – «худы-ти Богу не нужны». В этом случае и говорят: «Покойник не стоит у ворот, а свое уводит». Записанный мной комментарий сельской жительницы о самоубийстве мужчины и скоропостижной кончине всех его братьев свидетельствует об этом: «Вот-эть родители умерли, ни один сын руку не протянул (не сотворил поминаение –Т.Д.) вот Господь и отвернул от него (о самоубийстве – Т.Д.). Ведь быстро все Конихины выумирали, всех как выкосило. За родителей молиться надо» [НА Коми НЦ УрО РАН.

Ф. 5.Оп. 2. Д. 568. Л.30]. О благотворном отношении усопших к живым говорится в следующем рассказе: «У моей внучки уши болели, сё к врачам ходили. И оставили девку мне водиться, а родители на юг уехали. И у девки уши разболелись, да разболелись. Я испугалась, и никакого спаса нету. По-овещалась я съездить покадить могилы в Криво-между, была така деревня, могилы есь и ныне мало никто там не биват и могилы не кадят. Съезжу покажу только бы девка больше не болела. Ну и у девки, бохрони, ухо прошло, потом Семен и Катя приехали и мы все ездили могилы покадили. Боле ухо не баловало. Овет выполила и покойны помогли» [ПМА. Записано от К.А. Тихоновой, 1923 г.р., м/р. Едома, м/п. Филиппово, Трусово; 2011 г.]. Повсеместно признается, что урожай, приплод скота, появление здорового потомства и другие ценности поступают в мир людей из мира мертвых. Все это – дар предков, предполагающий взаимность.

Духовный опыт подвижников благочестия укоренял народные представления о бессмертии души и то, что предки являются частью рода и «принимают» участие в его жизни. Об этом свидетельствуют размышления усть-цилемских староверов: усопшие в благодарность за поминание молятся за живых, а в поминальные дни их души «прилетают» на землю и в течение трех дней: «с вечера пятницы до полдён понедельника» наблюдают за живыми сродниками, радуются встрече. Возможно, такое рассуждение крестьян сформировалось по прочтении рассматриваемого текста, в котором говорится: «Кто бы из нашего роду и племени выбрался бы сию годину исправить и от сего бывает нам свет от пятничного вечера и до рассветающегося понедельника, и душам нашим великая польза и большая отрада» (ПМА. «Слово о забывших грешных»).

Призыв к молитве и поминовению многократно встречается в «Слове»: «О любимые вы наши сродницы, мы ни злата ни сребра от вас просим, ни ризнаго оукрашения, лишь искреннего сердечного моления» или «О, друзи, вы подумайте о нас, своих рабех, и сродников, и всех седми колленех, о отцех и братьех, о друзех и сестрах, и дедах, и прадедах, исполните заповеди сии неоставте моления нашего и слезного рыдания. Искреннаго из глубины воздыхания и тако мы нестерпимо ждем от вас святых милостины, как драгоценнаго неоценимаго дара или жемчуга – тако мы ждем от вас сия годовая милостыни» (ПМА. «Слово о забывших грешных»). Цену милостыни знали еще в Ветхозаветной Церкви – об этом, в частности, свидетельствуют слова благочестивого Товита: «Милостыня от смерти избавляет, и может очищать всякий грех, и не попускает сойти во тьму» [7, с.19]. Позднее высокое значение милостыни было дано Иоанном Златоустом: «Милостыня двери Царствия Небесного открывает» [8]; «Хочешь ли почтить умершего? Почти его милостынями и благотворениями» [9]. Этнографические материалы и исследования по русской культуре свидетельствуют, что за творением милостыни скрывался глубочайший мир религиозно-нравственных представлений русских людей о душе и ее

спасении [10]. Не случайно эта форма поминовения после молитвы называется самой спасительной как для души усопшего, так и будущего спасения души преподобившего милостыню. Метафорой «жемчуг» усиливается значение милостыни, ибо в фольклорной традиции его светоносная символика раскрывает тему божественного Света [11, с. 259]. Подаянием тайной милостыни для бедных можно было близким поминать даже умерших без крещения, об этом писали преподобный Федор Студит и святитель Иоанн Златоуст.

В «Слове» перечисляются виды поминовения, в числе которых называется чтение канонов и Псалтыри – *душеполезной книги*, сопровождающей христианина с обретения им навыка в чтении «до последнего часа». О важности чтения псалмов по усопшему известно из Священного Предания, повествующего, как апостолы провели три дня в псалмопении у гроба Божией Матери. Апостольские постановления предписывают: «Погребая умерших, изнесите их с псалмами» [7, с.35]. В древлеправославии поныне сохраняется традиция непрерывного чтения Псалтыри над телом усопшего (за исключением времени, когда совершаются панихиды) до его погребения и в дальнейшем до 40 дня (сорокоуст). В тексте говорится о значительности поминовения чтением Псалтыри и канонов: «За сие и себе от Господа большую мзду получите салтырь бо и каноны яко близкий друг царев, тако и салтырь и канон близки царю небесному и великую пользу сотворити могут душам нашим и всех родителей своих избавят от муки вечныя, и сами за сие избавлены будут от бед и напастей а в будущем веце мук вечных» (ПМА. «Слово о забывших грешных»). В строгих староверческих регламентациях, разработанных с целью сохранения чистоты древлеправославной веры, запрещается служить панихиды по умершим без покаяния. Вероятно, поэтому в «Слове» ни разу не упоминается поминовение панихидой. Таких усопших принято поминать чтением Псалтыри и следующих канонов: «Канон преп. Паисию», «Канон мученику Уару» и «Канон первомученице Фекле» – эти молитвенники имели особую благодать от Бога облегчать страдания умерших, не исполнивших правило благочестия. Чтению канонов придается большое значение в поминовении, в котором усть-цилемские крестьяне видят *«принесение света»* для усопших.

Всеобщее благополучие: рождение детей, приплод скота, успешность в делах объясняются тем, что живые живут праведной жизнью и получают воздаяние от Бога и от предков: «который сродник исправит годовую и будет поминать весь род по вся субботы и сие вельма душа грешных. А когда ее поминуют возведена будет от места темна в места светлая и который человек родителей своих поминает наполнится гумно его пшеници и всякого обилья и во младенчестве много поживет и избавлен бед и напастей и в будущем веце наследник царствию небесному, а когда поминовение бывает родителей тогда у них радость неизреченная всегда и ныне и присно и вовеки веков» (ПМА. «Слово о забывших грешных»).

Заключение

Тема смерти во все времена волновала людей и по-разному воспринималась: от духовной радости до душераздирающего огорчения. К кончине следовало всегда быть готовым, критериями готовности были покаяние, добродетельное житие. Народное понимание смерти-поминовения, ритуалов, связанных с ними, стало различным и формировалось как на основе святоотеческих писаний, так и жизненных наблюдений. Уместно предположить, что «Слово о забывших грешных», будучи апокрифом, по форме изложения понятным крестьянству и поэтому стало популярным в народной среде. В нем отражено понимание Святоотеческих правил о поминовении категории усопших, не исполнивших христианский долг покаяния, дополненное размышлениями и трактовками неизвестного автора. Сами же поминовения понимались крестьянством как улучшение загробной судьбы усопших и, вместе с тем, рассматривались залогом успешного воспроизводства, сохранения, поддержания стабильности и благополучия сельской общины. Поминовением очищали души усопших – отмаливали «грехи рода», способствуя его обновлению. Не случайно, для перехода усопшего в категорию *запоминанных предков*, т.е. отмоленных, в усть-цилемской культурной традиции требовалось 30 лет поминовения полным чином – времени, необходимого для обновления поколений.

Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ № 11-11-11001 а/С.

Литература

1. *Седакова О.А.* Поэтика обряда. Погребальная обрядность восточных и южных славян. М.: Индрик, 2004. 320 с.
2. *Бернштам Т.А.* Молодость в символизме переходных обрядов восточных славян. Учение и опыт Церкви в народном христианстве. СПб., 2000. 400 с.
3. *Маркелов Г.В.* Латгальские рукописные находки 1981 и 1982 гг. // <http://odrl.pushkin-skijdom.ru>
4. *Мальшев В.И.* Усть-Цилемские рукописи XVII–XIX вв. исторического литературного и бытового содержания // Труды отдела древнерусской литературы. Т. XVII. М., 1959. С. 595.
5. *Поздеева И.В.* Традиции и новации в истории, культуре и жизни русского старообрядчества // Старообрядчество: история и современность, местные традиции, русские и зарубежные связи. Улан-Удэ, 2007. С. 14.
6. *Власова М.Н.* Представления о «посмертном бытии» в быличках Новгородской области (по записям 1985–1996 гг.) // Русский фольклор. Материалы и исследования. Т. XXXI. СПб.: Наука, 2001. С.123–139.
7. *Как помочь душам умерших?* Рига, 2008.
8. «Слово Иоанна Златоустого еже не плакаться по умерших».
9. «Слово Иоанна Златоустого. Беседа 42 на Евангелие от Иоанна».
10. *Тульцева Л.А.* «Царица добродетели», или Милостыня как категория русской духовности // Трибуна русской мысли. 2002. №1. С. 121.
11. *Тульцева Л.А.* «У Бога Света всего dospeto»: сакральное-световое пространство русских святок и новые поколения рода-племени // Церковные праздники русского народа: от прошлого к настоящему / Отв. ред. О.В. Кириченко. М., 2011. 459 с.

Статья поступила в редакцию 23.01.2012.

УДК 392.17: 316.61: 37.017.7

РЕБЕНОК КАК СУБЪЕКТ СОЦИАЛИЗАЦИИ И ЛИЧНОСТНОГО РАЗВИТИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ТРАДИЦИОННЫХ ВОСПИТАТЕЛЬНЫХ ПРАКТИК НАРОДА КОМИ)

Н.Е. СЛЕПЧИНА

Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
nasl@presidium.komisc.ru

В статье дается психологическая интерпретация некоторых этнографических материалов, касающихся процесса воспитания и социализации детей в традиционной культуре народа коми. Выявляются традиционные способы включения субъектного фактора для стимулирования процесса психического и умственного развития ребенка, присвоения им культуры и формирования определенных личностных качеств. Подчеркивается, что субъектная, авторская позиция детей в этом процессе во многом обеспечивала его эффективность. Проводятся параллели с современными представлениями о развитии и социализации детей и воспитательными практиками.

Ключевые слова: традиционная культура, социализация, субъектная сторона развития, креативность, моделирование социальных отношений, образцы поведения

N.E. SLEPCHINA. A CHILD AS THE SUBJECT OF SOCIALIZATION (ON THE MATERIALS OF THE KOMI TRADITION)

The article proposes a psychological interpretation of some ethnographic materials on upbringing and socialization of children in the Komi tradition. The focus is made on the factors providing subjectivity (authorship) of children in their personal development. It is shown that these factors ensure the effectiveness of the whole process. Parallels with modern conceptions of children's development and socialization are drawn.

Key words: traditional culture, socialization, subjective side of development, modeling of social relations, creativity, behavior models

*Я и садовник, я же и цветок,
В темнице мира я не одинок.
На стекла вечности уже легло
Мое дыхание, мое тепло.
Запечатлеется на нем узор,
Неузнаваемый с недавних пор.
(Осип Мандельштам)*

«Я и садовник, я же и цветок» – строка из знаменитого стихотворения Осипа Мандельштама*. Идея, заключенная в ней, стала знаковой в современной парадигме педагогики. Гениальной метафорой поэт высветил, пожалуй, главное условие обретения человеком личности: субъектность (авторство) собственного развития, о котором отечественная педагогика и психология громко заговорили только в последнее время, в связи с общей тенденцией гуманизации образования.

Действительно, только в последние десятилетия исследователи в области гуманитарных наук начали отходить от традиционной парадигмы культуры как набора фиксированных социальных эталонов, жестко определяющих индивидуальное сознание. В современных работах акцент делается на понимании культуры как «креативного потенциала рода», как «... исторически заданного ... универсума кристаллизованных, опредмеченных творческих возможностей людей» [1, с.12]. Подобное смещение представлений исключительно важно для наук, касающихся вопросов передачи культуры следующим поколениям, таких как психология, педагогика, этнография детства. Новая парадигма не позволяет говорить о прямой передаче общественно выработанных норм и предписаний, акцент делается скорей на межпоколенной трансляции созидательных возможностей: «... от поколения к поколению транслируются как уже реализованные, так и непроявленные и даже избыточные возможности (замыслы, проекты) деятельности» [2].

Все вышесказанное предполагает творческое отношение ребенка к «внешней среде», которая перестает быть чем-то, к чему он должен просто адаптироваться. В качестве образа «взрослого», в

* Тема данной статьи возникла под влиянием работ В.П. Зинченко, автора термина «поэтическая антропология», вдохновленного в большой степени, очевидно, поэзией О.Мандельштама.

котором персонифицирована для ребенка культура, объективно выступает не обобщенное представление о «Другом», а образ будущности самого ребенка, заданный через образ «Другого». Воспринимаемая любой культурный эталон, ребенок неизбежно преломляет его через отношение к себе и своим возможностям. Процесс «врастания в культуру» (термин Л.С.Выготского) в таком понимании требует проблематизации социального опыта, творческого самоопределения ребенка в культуре, которые и являются движущими силами психического развития детей. Ребенок инициативно расширяет границы собственного опыта, преодолевает наличные социальные ситуации развития, превращая их в «надситуативные» (по В.А. Петровскому). Особенно выразительны в этом смысле ролевые игры детей 5-12 лет, постоянно сопровождавшиеся импровизацией и экспериментированием, словотворчеством. Но и на самом раннем этапе развития, как будет показано дальше, детям обеспечивалось то, что сейчас принято называть развивающей средой и развивающими игрушками, стимулирующими самостоятельность, воображение и творчество.

По всей видимости, это универсальные закономерности социализации, характерные в большей или меньшей степени для любых обществ, в т.ч. традиционных. Такие представления о процессе взросления находили отражение в воспитательных практиках и организации жизни и обучения детей. Попробуем проиллюстрировать этот тезис на примере традиционной культуры народа коми.

В традиционной коми семье родители, при всей своей занятости, обеспечивали детям с самого раннего возраста вполне достаточный набор средств для физического, психического и умственного развития. Как известно, в первый год жизни идет интенсивное развитие мозга, в первую очередь через развитие перцептивной сферы. Хватание и манипулирование предметами знакомит ребенка с их свойствами, дает представление о соотношении их в пространстве, при этом внешние движения и действия служат основой для развития внутренних психических процессов, органов чувств и мышления. Традиционные воспитательные практики предусматривали обязательное присутствие различных предметов (сначала в поле зрения, а позднее – в пределах досягаемости младенца), предоставляющих достаточное количество и разнообразие тактильных, зрительных и звуковых впечатлений, что обеспе-

чивало его психическое развитие, в том числе через стимулирование моторной активности.

Поскольку большую часть времени новорожденный ребенок находился в колыбели, для него на специальной жерди или веревке подвешивали разнообразные по цвету и форме предметы. Это могли быть кусочки шуршащей, иногда специально крашенной в красный цвет бумаги, цветная тесьма, лоскутки, кисти, сделанные из цветных ниток, погремушки из бересты, внутрь которых клались речные камушки, а также самодельные фигурки из бересты и дерева в форме животных, птиц, рыбок. Раскрашенные катушки, бараньи косточки (шеги), либо гладкие крашенные деревянные палочки и даже деревянные ложки, нанизанные на веревку в виде бус, служили подвесками над колыбелью. В качестве игрушек, выполняющих одновременно функцию оберега, к люльке иногда привязывали клюв утки. Мочевой пузырь коровы или овцы, вымытый и затем надутый и перевязанный ниткой, использовался как надувной шар. Младенцу его подвешивали над люлькой, а дети более старшего возраста играли им как мячом. Иногда из дерева, преимущественно березового, вырезалась игрушка в форме кости, зауженная посередине для удобного захвата маленькой детской ручкой. Она использовалась как прорезыватель в период появления зубов.

Примечательно, что в выборе игрушек для мальчиков и девочек наблюдалась определенная дифференциация: деревянные игрушки, лоскутные мячики чаще делались для мальчиков; лоскутки, катушки, куклы давались девочкам. При этом строго соблюдалось требование безопасности: все предметы в люльке были гладкими и довольно крупными, с тем, чтобы ребенок мог их грызть, но не мог проглотить. Они были разного цвета, веса и фактуры, иногда способные при манипулировании издавать звук, и предоставляли широкий диапазон тактильных, зрительных и слуховых восприятий, что совершенно необходимо для развития соответствующих анализаторов и мышления. Фигурки зверей и людей давали повод лишней раз заговорить с ребенком, показать ему части тела и лица, развивая его речь и обеспечивая то, что в детской психологии называется познанием мира.

В контексте обсуждаемой проблемы очень важно, что игрушки в коми семье, как правило, были самодельные. В их изготовлении участвовали

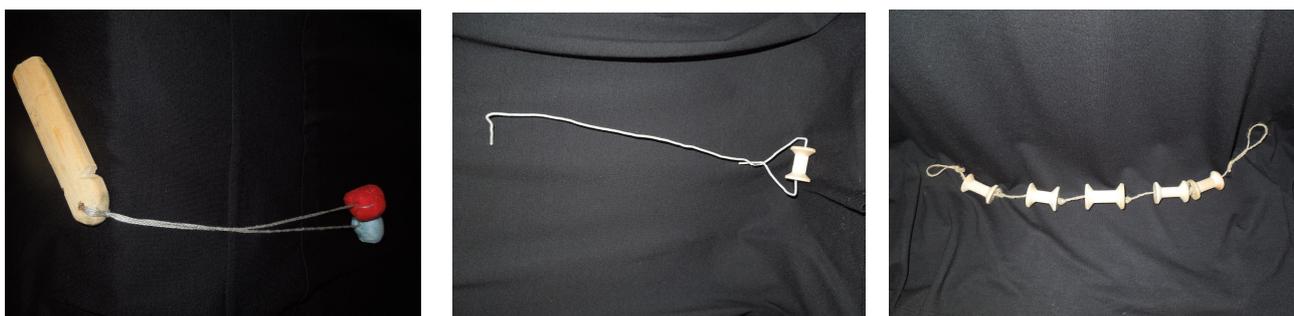


Фото 1: Точные аналоги традиционных игрушек для новорожденных. Личный архив автора.

бабушки и дедушки, старшие братья и сестры, родители. Даже те отцы, которые мало общались с маленькими детьми, поскольку не считали это «мужским делом», уходя в лес, возвращались оттуда с подарком: вырезанными из дерева фигурками людей, животных, дудочками, свистульками из ивы, либо хвостиком белки, пойманной на охоте. Самодельные игрушки (в отличие от серийных современных), сделанные для конкретного ребенка, несли в себе эмоцию и тепло, обращенные именно к нему. Однако самым ценным было то, что зачастую изготовление игрушек становилось совместным занятием детей и взрослых, сближающим их и создающим ситуации развивающего общения. Участие детей в этом процессе, безусловно, являлось фактором, положительно сказывающимся на формировании мелкой моторики, фантазии, мышления ребенка и, что не менее важно, оно включало его в модель социальных взаимоотношений.

Этнографические материалы фиксируют поразительную изобретательность взрослых членов семьи в изготовлении детских игрушек. В ход шли щепки, тряпочки, кости сваренной дичи, пустые катушки, спичечные коробки, проволока – любой подручный материал мог стать частью новой детской забавы. Все эти самые обычные предметы, трансформируясь и обретая новые неожиданные воплощения в совместных со взрослыми игровых ситуациях, несомненно, не только знакомили детей со свойствами материалов, но и служили огромным стимулом для развития детского воображения и фантазии. Именно в таких ситуациях дети получали первый опыт творчества и креативного отношения к миру.

Здесь уместно провести параллель с представлениями современных специалистов в области детского развития. В одном из официальных документов Министерства образования России сформулированы требования к развивающей среде дошкольников. В нем отмечается, что игрушки и материалы должны обеспечивать всестороннее развитие ребенка и обладать определенными качествами. Первым в перечне этих качеств значится полифункциональность игрушки. Это означает, что детская игрушка должна давать возможность гибкого вариативного использования в разных игровых ситуациях, а также в соответствии с игровым сюжетом и замыслом ребенка [3]. Очевидно, что «самодельная простота» традиционной игрушки как нельзя лучше отвечала этому требованию, предоставляя простор фантазии и творчеству. Сошлемся на мнение современных психологов: «Детям больше нравятся простые игрушки и они гораздо дольше ими занимаются. Это происходит не потому, что дети непритязательны, а скорее благодаря возможности удовлетворить исследовательский интерес и воображение» [4, с.34]. В этом смысле, несколько утрируя, можно предположить, что в своем предельном выражении в наибольшей степени **развивающими** (полифункциональными, креативными) игрушками следует считать веревку, палочку и мяч. «Упрощенная, лишь намекающая, но характерная образность» [5, с.8] крестьянской игрушки, непрорисованное лицо куклы не ограничивали алго-

ритм игры и поведения, а наоборот, расширяли диапазон игровых сюжетов, развивали в детях креативность, инициативу, воображение и речь. Раннее приобщение к домашнему труду предполагало действия с простыми инструментами и орудиями труда, что также оказывало мощное развивающее действие. Не случайно в арсенале классических игрушек и пособий для обучения детей знаменитой Марии Монтессори есть дощечка с болтами, откручивая и закручивая которые, ребенок развивает мелкую моторику руки. В настоящее время в магазинах продается простая, но востребованная игрушка, смысл которой заключается в том, что ребенок с двух сторон – правой и левой рукой – накручивает на деревянную ось деревянные гайки. Предлагаются также разнообразные «стучалки», формирующие у ребенка координацию «глаз – рука» в процессе забивания деревянным молоточком деревянных «гвоздиков». Очевидно, что эти и подобные им игрушки призваны восполнить пробел в воспитании городских детей, не имеющих дела с инструментом. Аналогичным образом детская «шнуровка» компенсирует исчезновение шнурков на обуви и одежде, сложной и очень полезной для моторики рук наукой завязывания которых детям когда-то приходилось овладевать. Примеров можно привести много. Важно подчеркнуть главное: лучшие образцы развивающей, креативной игрушки современных детей основаны на принципах, отработанных традиционной культурой на протяжении столетий.

Вернемся к методике развития детей Марии Монтессори, глубоко продуманной, системной, действительно эффективной. Ее классические пособия исключительно просты, тем не менее, они очень увлекают детей. «Розовая башня», сооружающаяся из деревянных кубов разной величины; «коричневые штанги» – простые деревянные параллелепипеды разной длины, дающие понятие о составе числа; коробочки, шарики из разного материала для продавливания в отверстия и кольца; веревочки для плетения, шнурки, пуговицы, замочки; занятия с крупой, песком, водой и т.п. – все как будто пропитано простотой и целесообразностью народной игры и игрушки.

Все описанные качества выгодно отличают традиционные игрушки от многих современных. Фабричные изделия часто излишне детализированы, что, несомненно, сужает ситуации применения и разнообразие игровых сюжетов, т.е. в меньшей степени предполагает креативность, «авторство» самого ребенка. В то же время, лучшие образцы сегодняшних детских развивающих игрушек, как показывает даже поверхностный анализ, выполнены согласно принципам, по которым изготавливались и бытовали их традиционные прототипы. Что же касается требований, сформулированных в упомянутом официальном циркуляре, то очевидно, что в их основе лежат идеи простоты и целесообразности, характерные для народной игрушки.

Подводя итог, еще раз подчеркнем, что все игрушки и предметы, которые давались ребенку, были не только безопасны, но и учитывали возрастные особенности и потребности детей, стимули-

ровали развитие всех психических функций, креативного мышления, давали опыт нестереотипного подхода в обращении с предметами быта и т.д. Их с полным правом можно отнести к обстоятельствам, «включающим» механизм субъектности в процессе развития и социализации детей раннего возраста.

С достижением периода ролевой игры фактор «субъектности» детей в процессе личностного роста становился все более выраженным. В классическом труде Д. Б. Эльконина «Психология игры» само происхождение ролевой игры связано с усложнением содержания и форм трудовой деятельности, которое сделало невозможным полноценное участие детей в ее осуществлении. Эта историческая метаморфоза и привела к выделению детства из мира взрослости. Перед детьми, таким образом, возникла новая социальная задача интеграции во взрослое сообщество, которая носит творческий характер, так как предполагает поиск и освоение, развитие и утверждение собственной человеческой сущности, образ которой не дан ребенку, а задан взрослым сообществом через идеальные формы культуры. В этой ситуации, по мысли Эльконина, функцию средства преодоления разрыва межпоколенной связи берет на себя игра, прежде всего – ролевая, где дети моделируют социальные отношения взрослых. Сюжетно-ролевая игра, по мнению ученого, – мощное средство социализации, в которой формируется сама потребность быть взрослым [6]. При этом, как отмечалось выше, образ взрослости предстает ребенку как проекция его собственных будущих возможностей, что предполагает творческое воспроизведение социальных ситуаций.

Известно, что в традиционных, в частности финно-угорских, культурах дети были включены в определенную модель взаимоотношений со взрослыми. Эта модель, с одной стороны, строго определяла их статус, место и роль в сельской общине и крестьянской семье; с другой стороны, она давала им свободу в организации труда, досуга, взаимоотношений между собой. Подобная позиция взрослых может быть рассмотрена не просто как отсутствие излишнего прессинга или как возможность для развития детской самостоятельности. Такая установка родителей создавала ситуацию, стимулировавшую процесс авторизации деятельности, моделей поведения, что и обеспечивало успешное овладение детьми не только практическими навыками, но и этикетом и культурой в целом. При этом ребенок оказывался в позиции *субъекта* не только той или иной практической деятельности, но и собственного «проектирования» и развития. В системе «ребенок – взрослый» вторая составляющая была представлена «обобщенным взрослым», т.е. традиционной культурой в целом. Многие занятия детей, особенно ролевые игры, как показывают полевые материалы, моделировали социальные отношения, повторяя и переосмысливая наблюдаемые образцы поведения. Центральным персонажем детской игры (ее «культурным героем») был взрослый, а идеальной формой развития – задаваемый образец поведения. Ориентируясь на обобщенный образ «взрослого», ребенок создавал и закреп-

лял свой «образ будущности» в процессе игры, варьируя его в множестве различных игровых сюжетов.

Сюжетно-ролевая игра – это тот механизм, который «переводит» требования социальной среды в потребности самого ребенка. К примеру, заботясь о «детях» в игре, девочка принимает для себя подобные нормы поведения в будущем. Усвоение социальных норм сопровождается чувством собственного удовлетворения и радости, вызванным выполнением своей игровой роли. Положительные переживания делают процесс принятия культурных норм еще более эффективным. Эмоциональная притягательность образцов и усвоенных с их помощью социальных норм превращает последние в сильные мотивы, направляющие поведение и деятельность ребенка.

Ролевая игра, как правило, во многом построена на импровизации в развитии сюжета и в словесном оформлении. Традиционная культура коми, как и любая другая, дает тому множество свидетельств. Пропуская через себя и, в то же время, отстраняясь через условность игры от реальных жизненных ситуаций, дети формировали свое отношение к ним и свою оценку. Приведем описание одного из пожилых информантов, убедительно демонстрирующее последнее положение: «В игре мы полностью копировали жизнь в доме. Девочки повторяли работу матери по хозяйству. Изображали, как муж приходит домой пьяным, кричит жене, чтобы раздела, сняла сапоги, накормила» [Информация записана со слов Киневой Ольги Егоровны, 1914 г.р., д. Чукаыб Сысольский р-н.]. Очевидно, что копирование работы матери по хозяйству и поведение пьяного отца приведены информантом в одном сюжете как полярные, противоположные по своему к ним отношению, закрепившемуся в игре.

В играх коми девочек с куклами явно преобладали «женские» персонажи, что в контексте рассматриваемой темы является весьма многозначительным фактом. Подобные предпочтения, по видимому, можно объяснить тем, что куклы – «женщины» и куклы – «девочки» давали больше возможностей для развития игрового сюжета, а также для образного оформления самой куклы: костюма, украшений. Иными словами, они открывали больший простор для творчества. В игре воспроизводился быт и этикет семьи, и девочка вместе с куклой исполняла в ней преимущественно женские роли, присваивая при этом образцы поведения. В тех случаях, когда требовал сюжет игры, изготавливались и куклы – «мужчины», «сыновья» и «женщины», иногда на скорую руку, на один раз. Аналогичное описание находим у удмуртов: «Часто такую куклу [куклу – «мужчину»] - Н.С.] заменяла обычная деревянная палка с поперечной перекладиной (руки), изредка одетая в рубашу и штаны. Иногда кукле-мужчине приделывали вторую ногу – привязывали к основной палке более короткую» [7, с.95]. Примечательно, что подобные предпочтения характерны и для игр современных девочек.

Яркий пример авторского отношения к игровым сюжетам находим в детской речи. В игре, укачивая кукол, девочки пели не только те колыбель-

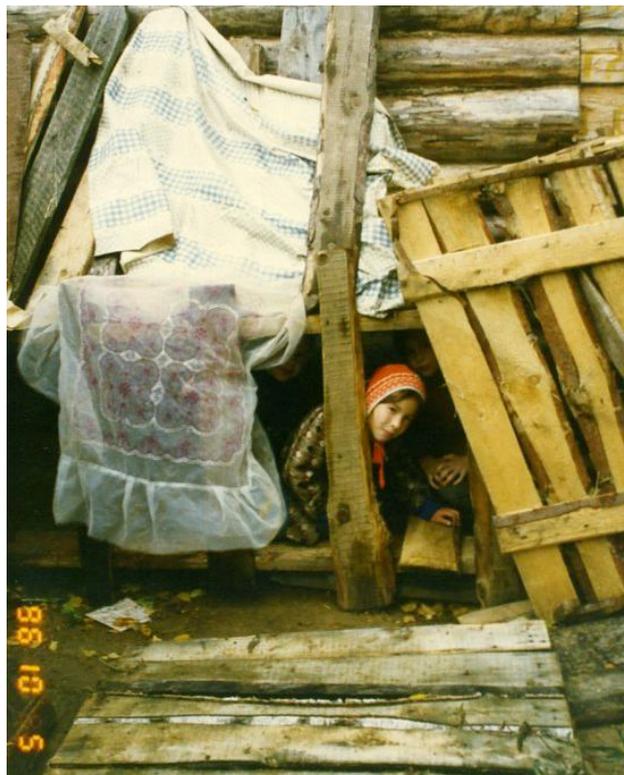


Фото 2. Современный "чомик" сохраняет ту же структуру и тот же смысл, что и традиционный. Фото сделано автором в одном из дворов по ул. Тентюковской г. Сыктывкара в 1996 г. Слева – вид внутри, справа – вид снаружи.

ные, которые слышали от взрослых, но и на ходу сочиняли свои. Примеры детского словотворчества и различного рода перевертышей и инверсий в разных культурах хорошо известны и описаны, достаточно вспомнить знаменитую книгу К.И. Чуковского «От двух до пяти». Исследователь детского фольклора Ю.Г. Рочев приводит примеры словесного экспериментирования детей у коми. Плясовые песни, величальные шуточного содержания изменялись сообразно детским вкусам и обретали элементы небылицы [8, с.110]. Большие возможности для импровизации давали детские считалки: в форму бытующей считалки подставлялись имена, факты, так что получалось новое произведение. Такие экспромтом возникающие считалки иногда были плохо рифмованы, - отмечает Ю.Г. Рочев, - но были возможны специальные словесные «выверты», когда нарушение рифмы было правилом, «и тогда не форма стиха, не безупречная ритмика, а неожиданно яркая образная мысль стимулирует жизнь считалке. ...здесь выдвигается идея словесного состязания. В этом случае содержание считалки усложняется, обращается внимание на поэтическую деталь, считалка подвергается как бы авторской обработке» [8, с.157]. Многочисленные дразнилки, поддевки, часто основанные на игре слов, скороговорки, которые в случае ошибки обретали другой смысл, способствовали упрочению знаний о подлинной природе вещей. Оперирование перевертышами позволяло ребенку через символическую инверсию не просто прочнее усвоить нор-

му, но также осмыслить источники ее происхождения и границы ее применимости. Благодаря этому в доступной форме данная норма обобщалась, при этом детьми постигалась ее относительность, возможность творческого применения к конкретным жизненным ситуациям. Так происходило активное, субъектное усвоение ребенком социально заданной деятельности.

Одним из наиболее выразительных примеров авторизации деятельности и моделей поведения в традиционной культуре коми является игра в «чом» (т.е. игра в «дом»). Слово «чом» в коми языке означает пристройку, шалаш; в русский язык оно перешло в варианте «чум» – жилище оленеводов. В коми деревне название игры в «чом», как и сама игра, бытует и сегодня. Традиционный ее вариант подробно описан и проанализирован, в частности, исследователем форм досуга молодежи у коми Д.А. Несанелисом [9, с.121–125].

«Чомики» сооружались из досок и другого подручного материала во дворах или возле амбаров девочками шести – одиннадцати лет. В обустройстве своих домиков дети старались по возможности повторить образцы взрослого жилища: в одной из стен было окно, в которое вставляли слюду или стекло, у входа сооружалась «печь», топившаяся прутиками, по диагонали от нее с помощью фотографий или картинок оформляли красный угол. На окнах имелись занавески, на полках стояла самодельная глиняная «посуда». Ситуация гласного или негласного соревнования между девочка-



Фото 3. На балконе современной квартиры в г. Кунгуре.
Фото автора. 2012.

ми – чей «чомик» лучше, красивей, аккуратней, «веселей» – стимулировала творчество девочек: «У кого было лучше, чище, аккуратнее, у тех чаще бывали «гости». У кого домики были грязными, плохими, к тем старались не ходить».

В то время как «чомики» девочек были на замкнутой территории двора, «штабики» мальчиков сооружались на краю деревни, либо на опушке леса – на территории символически «мужской», незамкнутой. В «чомиках» играли, как правило, только девочки, и «семьи» большей частью, как и в играх с куклы, состояли только из «дочек» и «матерей». Более того, часто девочки вообще препятствовали появлению мальчиков в своих «чомиках», мальчики же, наоборот, старались незаметно проникнуть туда и перевернуть все вверх дном. В комментариях к подобному противостоянию отмечается, что «исходной ситуацией, обусловившей возникновение игры в «чомик» и устойчивость ее правил, могли служить такие нормы домашнего этикета, в которых нашло выражение обособление полов. Согласно такому предположению, игровая ситуация давала девочкам возможность расширить женское («печное») пространство за счет вытеснения и исключения из него пространства мужского» [9, с.122–123]. В то же время, «если у взрослых обособление полов в рамках традиционного домашнего уклада сочеталось с другими, в том числе и противоположными линиями поведения, то в

«чомиках» оно становилось основным правилом, регулирующим взаимоотношения разнополых детей» [9, с.124].

Ситуация игры в «чомике» как нельзя лучше способствовала тому, что девочки не просто копировали систему взаимоотношений взрослых, но и трансформировали их во множестве разнообразных игровых сюжетов. В рамках смоделированного ими «в известном смысле независимого игрового этикета» «девочки осознавали себя не как учениц, овладевающих определенными навыками, а как самостоятельных и социально полноценных индивидуумов» [9, с.124]. Постоянная импровизация, живая ткань сюжета требовали настоящего авторского отношения к изображаемому. В игре происходила так называемая амплификация традиционных моделей поведения собственным авторским замыслом, что существенно обогащало их воспитательный потенциал.

Игра в «чомике» наилучшим образом позволяла осмыслить не просто идеальную форму взрослости, но и отношение идеального к реальному, что более всего и свидетельствует о субъектной, авторской позиции детей в процессе собственного взросления.

Необходимо подчеркнуть, что традиционные педагогические представления вполне учитывали эффективность этих и подобных игр для социализации детей. Несмотря на то, что родители практически не участвовали в процессе сооружения и обустройства «чомиков» (мать лишь могла дать старую посуду или старые вещи), они относились к этой игре вполне серьезно, отмечая результаты «хозяйственных усилий» своих дочерей и поощряя аккуратность и старание юных хозяек.



Фото 4. «Штабик» в парке им. Кирова г. Сыктывкар 1998 г. Фото автора.

Игры детей в «домик» («штабик») у мальчиков) представляют собой редкий пример сохранения и даже определенного развития элемента традиционного детского досуга в игровых практиках современных детей в разных культурах. В исследованиях современной детской субкультуры имеется множество описаний всевозможных игровых домиков – от символически обозначенных колышком (на улице) или одеялом (в помещении) границ «дома» и до действительно огороженных с четырех сторон сооружений во дворах, обустроенных и разделенных на «комнаты». Специально изучаются и получают определенное место в символической картине мира «штабики» мальчиков и «дома» на деревьях.

Традиционные «домики» получили продолжение и в аналогичных сооружениях на современных игровых площадках – во дворах, детских садах и т.п. Индустрия детских игрушек также поддерживает стремление детей в создании «автономной» территории, выпуская разного рода игровые домики и палатки. Сюжеты игр в них, как и прежде, воспроизводят повседневную семейную и обрядовую жизнь, т.е. в них происходит овладение будущими социальными ролями. Это и определяет их важное место в процессе социализации детей и подтверждает универсальный характер «дома» как игрового пространства.

Необходимость подобных локусов в детских игровых практиках объясняется тем, что они в «известном смысле слова ... являются проекцией «пространства личности» в «пространстве игры» [10], иными словами, именно в них создаются наилучшие условия для интериоризации и творческого «присвоения» культурной информации. Осознанно или неосознанно такие игры поощрялись и поощряются взрослыми, тем самым обеспечивая субъективную сторону социализации детей. «Присвоение», внутреннее преобразование, «авторизация» представлений, принятых моделей поведения и т.д. – необходимый элемент индивидуализации и становления личности в социуме. Без них не мог бы (и не может) состояться человек как носитель культуры, как тип и как индивидуальность, чье «дыхание» и чей «неузнаваемый узор» вплетаются в общую картину «на стеклах вечности» неповторимой нитью.

Литература

1. *Кудрявцев В.Т.* Исследования детского развития на рубеже столетий // Вопросы психологии. 2001. № 2. 17 с.
2. *Там же.* С. 12.
3. *Приложение к письму* Министерства образования России от 15.03.2004 № 03-51-46 ин / 14-03 «Примерные требования к содержанию развивающей среды детей дошкольного возраста, воспитывающихся в семье»: [Электронный ресурс]. URL: // http://imz.ucoz.ru/index/doshkolnoe_obrazovanie/0-38 (Дата обращения: 25.04.2012).
4. *Авдеева Н.Н., Мещерякова И.А., Ражников В.Г.* Психология Вашего младенца: у истоков общения и творчества. М.: Издательство АСТ, 1996. 379 с.
5. *Богомазова Т.Г.* О роли игрушки в передаче традиции: украинская народная игрушка // Народные игры и игрушки. СПб: МАЭ РАН (Кунсткамера), 2000. С.8
6. *Эльконин Д.Б.* Избранные психологические произведения. М.: Педагогика, 1989. 560 с.
7. *Никитина Г.А.* Народная педагогика удмуртов. Ижевск: Удмуртия, 1997. 135 с.
8. *Рочев Ю.Г.* Детский фольклор коми: дисс... канд. фил. наук. Саранск: Мордовский госуниверситет, 1974. 178 с.
9. *Несанелис Д.А.* Раскачаем мы ходкую качель: Традиционные формы досуга сельского населения коми края (вторая половина XIX – первая треть XX вв.) Сыктывкар, 1994. 167 с.
10. *Морозов И.А.* Игровой «дом» в контексте современных детских игровых практик: [Электронный ресурс]. URL: // <http://ethno-photo.livejournal.com/15227.html> (Дата обращения: 17.05.2012).

Статья поступила в редакцию 18.02.2012.

УДК 391. 985

АРХИТЕКТУРНО-ДЕКОРАТИВНЫЕ УКРАШЕНИЯ В ДОМОСТРОИТЕЛЬСТВЕ ВАШКИНСКИХ КОМИ

Т.И. ЧУДОВА

Кафедра истории России и зарубежных стран Института гуманитарных наук СыктГУ, г. Сыктывкар
ChudovX@mail.ru

Архитектурный декор вашкинских коми характеризуется минимализмом, вносящим своеобразие в эстетику пространства деревни. Приемы декорирования подчеркивают конструктивные детали дома, а сюжетное и колористическое решение соответствует культурным традициям. Пограничная территория проживания коми и русских predetermined заимствование у последних отдельных архитектурных украшений.

Ключевые слова: архитектурные украшения, роспись домов, коми (зыряне)

T.I. CHUDOVA. ARCHITECTURAL-DECORATIVE ORNAMENTS IN HOUSEBUILDING OF VASHKINSKY KOMI

The architectural decor of Vashkinsky Komi is characterized by minimalism, bringing originality in aesthetics of space of the village. Methods of decoration emphasize constructive details of the house, and subject and coloristic way of decoration corresponds to cultural traditions. The boundary territory of residing of the Komi and Russians predetermined borrowings in the latter of separate architectural ornaments.

Key words: architectural ornaments, list of houses, Komi (Zyryans)

Дом представляет собой один из способов освоения природной среды обитания, выступая определенным культурным символом и этнографическим маркером. Система декора крестьянского жилища несет как функциональную (конструктивно-архитектурные детали), так и эстетическую (декоративно-расписные украшения) нагрузки, отражая культурные и эстетические предпочтения представителей той или иной культурной группы, одновременно выполняя и охранительную функцию. В целом внешнее оформление домов коми (зырян) не отличается богатством и разнообразием. Однако архитектурные детали и декоративные приемы выявляют фактуру деревянных конструкций и подчеркивают красоту дома в целом.

Цель работы – показать элементы архитектурных конструкций дома и приемы их декорирования в бассейне р. Вашка (приток р. Мезень). Выбор этого «микрорайона» не выглядит случайным. Названная территория в XIX в. входила в состав Яренского уезда Вологодской губернии, граничащей с Архангельской. В современном административно-территориальном делении населенные пункты по р. Вашка входят в состав Удорского р-на Республики Коми, составляя ее северо-западную часть. Эта пограничная территория была и остается старообрядческим центром, где среди коми населения распространено учение сторонников «древлего благочестия». Явление само по себе уникальное, так как на протяжении двух столетий

коми сохраняли слово и дух древнерусской книжности и веры, при этом не утратили свой язык и культуру [1].

Источниками для подготовки статьи послужили архивные данные и полевые материалы, собранные в 2009 г. в ходе этнографического обследования населенных пунктов среднего течения р. Вашка.

Общая характеристика домостроительства удорских коми (включая и вашкинских) в XVII – нач. XX вв. представлена в монографии Л.Н. Жеребцова [2]. Для указанного этнографического «микрорайона» характерны несколько типов домов, в число которых входят дома-двоини, дома с заулком и дома с зимовкой. Особенностью домов «микрорайона» является практика прорубания входа в подклеть снаружи, а не внутри жилого помещения, что типично для остальных этнографических групп коми (зырян). Село Важгорт поражает размерами двухэтажных домов старой постройки, что вполне объяснимо, так как в селе до революции проходила Крещенская ярмарка, куда съезжались купцы из Пустозерска, Ижмы, Устюга, Вологды, Яренска, Сольвычегодска, Каргополя и Усть-Сысольска [3]. Первый этаж таких домов отводился под лавки, их сдавали приезжим купцам, а второй этаж предназначался для жилья внаем. Семья владельца дома в это время ютилась в зимней половине дома.

Деревянный дом-двор был покрыт тесом на два ската. Безвоздевое оформление крыши, когда тес одним концом упирался в водосток, поддержи-

ваемый курицами, а другой прижимался желобом, вырезанным в охлупне, придавало ей (крыше) округлые очертания (рис. 1). Охлупень и курицы являются наиболее выразительными архитектурными деталями конструкции крыши, при оформлении которых использовалась скульптурная резьба. Один



Рис. 1. Округлые очертания крыши. с. Важгорт, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

конец охлупня, обращенный в сторону фасада дома, оформлялся скульптурно вырезанной фигуркой в виде коня с сильно развитой грудью, напоминающей зоб птицы (рис. 2). Традицию моделировки образа коня на двухскатных крышах домов в домостроительстве коми с некоторой долей осторожности можно соотнести с ранее существовавшей прак-



Рис. 2. Охлупень. с. Пучкома, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

тикой использования при возведении односкатной крыши замка-скрепа, называемого «чиби» (букв. 'жеребенок'). При оформлении такого замка-гнета образ коня только номинировался, но еще не моделировался. Развитие строительной технологии и инструментария позволило в дальнейшем модели-



Рис. 3. Курица. с. Важгорт, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

ровать из дерева образы-символы. Г-образные окончания куриц, выступающие из-под свеса крыши, фигурно оформлялись в виде птиц (рис. 3), стилизация образа которых не позволяет идентифицировать их как конкретных представителей семейства пернатых.

В традиционной культуре дом являет собой структурную единицу освоенного пространства. Универсальная модель мира, желание эстетически оформить среду обитания и обезопасить себя и свое жилище от недобрых сил материально воплощались в декоре домов в виде магических знаков-символов. Маркеры-символы располагались в наиболее опасных локусах дома, где, по народным представлениям, возможно проникновение недобрых сил. Магическую силу придавали орнито-зооморфным образам при оформлении конструктивных элементов крыши, которые сохранились неравномерно на территории проживания коми (зырян). Преобладают они в районах, где долгое время промыслы сохраняли свое значение в хозяйственной стратегии. Позднее такую силу стали приписывать и абстрактным изображениям взамен реалистических форм.

Кронштейны, конфигурация которых отдаленно напоминает образ коня, поддерживают выносы крыши. Они (кронштейны) представляют собой вогнутые или округлые упоры, визуально придающие лёгкость и изящество крыше. На выносах кронштейнах указывалась дата постройки или инициалы хозяина дома. Контур крыш дополнительно украшался причелинами в 1–2–3 ряда и полотенцами (рис. 4), в декорировании которых отмечаются волнистые, зубчатые или ступенчатые (городчатые) очертания. Кроме эстетических функций, причелины и полотенца выполняли и утилитарные, защищая торцы слег и князевского бревна от воздействия при-



Рис. 4. Причелины и полотенце. д. Вильгорт, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.



Рис. 5. Полотенце. д. Муфтыга, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

родных стихий. В д. Муфтыга одно из полотенец оформлено в виде гребня (рис. 5).

В этом этнографическом «микрорайоне» встречается практика сооружения балконов, появление которых, по мнению исследователей, связывается со сменой декоративной доминанты от кровли с ее скульптурными элементами (коньки, курицы, кронштейны) к балкону, что усиливало акцент на фасад и ориентировало на фронтальное восприятие дома [4]. Появление балконов связывается со строительством дома с заулком, когда два бревна при сооружении фронтона выдвигаются вперед, тем самым, создавая основу для площадки балкона. Но очень

часто оформление балкона не доводили до конца, останавливаясь на этой стадии или настилая только площадку без перильного ограждения. Нужно отметить, что выход на балкон не предусмотрен. Это позволяет предполагать, что балкон имел только декоративную функцию.

Площадка оформленных балконов была открыта сверху или имела арочное перекрытие, решетка перильного ограждения выполнена из реек, расположенных прямо или крестообразно. В декорировании ограждения балкона дома в д. Муфтыга дополнительно использованы две фигурки лебедя, головки которых обращены в противоположные стороны (рис. 6). Образ лебедя-солнца можно соотнести с практикой изображения солнца в технике трехгранно-выемчатой резьбы на полотенцах, встречаемых в декоре домов вымских коми.



Рис. 6. Балкон. д. Муфтыга, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

В традиционном декоре коми редко используются резные колонки в арочном перекрытии балкона, а также роспись на фронтоне. Хотя отдельные примеры такого декорирования имеются. Так, в доме (д. Острово), построенном в 90-е гг. XIX в., витые колонки поддерживают арочное покрытие балкона, в декоре которого дополнительно используются фигурно вырезанные подзоры, а весь фронтон украшен росписью, симметрично расположенным по обе стороны фигурно оформленного балкона (рис. 7). В настоящее время дом разобран, поэтому представляется важным дать полное описание дома, составленное в 1973 г. известным искусствоведом Г.П.Гунном (Гуныкиным): «Дом представляет собой двужирный шестистенок внушительных размеров, стоящий примерно в центре уличного ряда, окнами на Важгортскую дорогу. По лицезовому фасаду в верхнем этаже традиционно семь окон со средним широким окном, соответствующим трем верхним горницам с печами. По боковым фасадам верхнего этажа располагаются зимняя горница и холодное помещение. У зимника три окна, одно сдвоенное, в интерьере русская печь и переборка между печью и стеной. У холодной горницы одно окно. Между боковыми клетями проход на поветь, на которую снаружи ведет взвоз. В нижнем этаже,



Рис. 7. Роспись фронтона и балкон. д. Острово, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

соответствующем в плане верхнему, в жилой части два помещения с печами и помещение бывшей торговой лавочки, куда ведет дверь с улицы. Окна нижнего этажа запираются на ставни. Прочая часть нижнего этажа использовалась как подсобные помещения и хлев. Оба этажа имеют сквозные сени и входы с обоих боковых фасадов. На верхний этаж ведет высокое крыльцо (прежде их было два по боковым фасадам, ныне одно разобрано). Внутри этажи сообщались лесенкой. Уникальной достопримечательностью дома является его расписной фронтон с балкончиком, богато декорированным резьбой, точеными столбиками, косо поставленной решеткой перильного ограждения. Подзор щедро декорирован причелинами, состоящими из трех наложенных одна на другую резных досок. Карниз обшит и раскрашен цветными ромбами красно-сине-желто-белого цветов. На обшитом фронтоне по обе стороны балкона изображены львы с раскрытыми пастьями, цветы и круги, несколько выцветшие от времени. Навес балкона обшит снизу и расписан изящным цветочным узором. Кровля тесовая на курицах. Рубка с остатком. Габариты: 13,5 x 18,0» [5]. Дополнительно нужно указать, что потолок первого этажа этого дома был украшен розеткой (рис. 8).



Рис. 8. Розетка на потолке. д. Острово, Удорский р-н, Республика Коми. Фото Павлюшина С.Е. 2010 г.

В Паспорте недвижимых памятников истории и культуры СССР содержится следующая информация: строитель неизвестен, заказчик Созонов Андрей Петрович. Нынешняя владелица – Роноева Мария Алексеевна. Раскрашивал фронтон Парпентьев Михаил Сергеевич из соседней д. Чирик. Красил через два года после постройки дома. Представляет исключительный интерес как один из двух домов с расписным фронтоном, сохранившихся в Удорском р-не. Необходимо подчеркнуть, фамилии Созонов, Роноев и Парфентьев распространены на данной территории. В тексте Паспорта фамилия Парпентьев, скорее всего, приведена в коми огласовке, и нужно ее читать как Парфентьев, вкрадась опечатка, д. Чирик в Удорском р-не отсутствует, а вот д. Кирик расположена примерно в 3 км от д. Острово.

Следующий дом с балконом и росписью находится в д. Вильгорт, недалеко от д. Острово. По композиционно-пространственному решению, габаритам этот дом аналогичен вышеописанному. Поэтому искусствовед Г.П. Гунн приходит к выводу, что эти два дома строили одни и те же мастера в одно время, а роспись настолько близка, что, вернее всего, они принадлежат кисти одного мастера – Парпентьеву (Парфентьеву) Михаилу Сергеевичу из д. Чирик (Кирик). Как и дом в д. Острово этот дом принадлежал местному торговцу, при доме была организована лавочка. Заказчиком выступал Сивков Тимофей Калинич, владельцем – Смолина Лилия Ивановна. Дом сохранился до наших дней, но его хозяева роспись по фронтону закрасили белой краской, объясняя это тем, что краска росписи осыпалась и портила внешний вид дома.

Сведения о доме с расписным фронтоном в ныне заброшенной д. Верхозерье имеются в работе В.Э. Шарапова [6]. К сожалению, в его статье отсутствует подробное описание, поэтому невозможно сравнить сюжетное и колористическое решение современного оформления фронтона с выше представленными.

По стилистике декора (резные столбики, решетчатое перильное ограждение) и росписи (львы, розетки-круги) балконы названных домов близки оформлению балконов бассейна р. Пинега. Стилистические особенности декора балконов были явно заимствованы из практики оформления балконов русскими крестьянами северных территорий, которые, в свое очередь, испытали влияние городских архитектурных форм стиля ампир [7].

Роспись фронтона дома из д. Острово состоит из стилизованных изображений животных (лев и львица), деревьев, цветов и розеток (кругов). В северной традиции образ льва передается как добродушный зверь, преданный друг человека. Изображение дерева трактовалось как мировое древо, а розетки (круги) как символ бесконечности. Используемые образы составляли основу северной архитектурной живописи, а цветовая гамма (сочетание желтого с красным и синим) рисунка соответствовала колористическому решению северной росписи русских. В данном контексте небезынтересен факт, что мир людей в представлениях и фольклоре коми

(зырян) обозначается такими же основными хроматическими маркерами (желтый, красный и синий) [8].

По мнению Т.А. Бернштам [9], внешняя домовая роспись в своем развитии имела несколько этапов. Вначале окрашивались масляной краской конструктивные детали на фасаде строения (наличники, ставни, обшивки торцов), что имело магическую и прагматическую, защитно-предохранительную цели, поскольку масляная краска противостоит разрушению. Позднее на Русском Севере стали расписываться ставни, наличники, фронтоны, балконы, которые были защищены от дождя свесом кровли.

Роспись фронтона акцентировала внимание на фасад дома, при этом сюжетное и колористическое решение выполняло задачу эстетического оформления среды обитания. В вашкинском «микрорайоне» скульптурные детали (курицы, коньки), подчеркивающие контуры крыши, сочетались с фигурно оформленным балконом. На сопредельной территории наблюдается такая же картина. Например, крыша украшенного росписью со львами дома В.Я. Клокотова постройки 1879 г. венчается охлупенем со скульптурно вырезным коньком [10]. Фронтальная роспись на территории этого «микрорайона», судя по данным Г.П. Гунна, появляется только в конце XIX в., а время появления скульптурных деталей не определено, однако, они явно более раннего происхождения.

Стилистика росписи домов и наличие в данном районе единственного мастера архитектурной росписи, что выявлено в процессе исследования, скорее всего, свидетельствуют о заимствовании (хотя здесь нужно подчеркнуть, что этнографическое изучение традиционного домостроительства в этом «микрорайоне» начинается с конца 50-х гг. XX в., и, возможно, ранее существовавшие росписи просто не сохранились.) Заимствования в декоре не выглядят случайными, так как вашкинские коми и русские жили на сопредельной территории, имели единые духовные ценности и хорошо налаженные этнокультурные контакты [11]. Расписные фронтоны располагались на домах, хозяева которых занимались коммерцией. Финансовое состояние позволяло им нанимать и строителей, и художников, что согласуется с высказыванием исследователей о том, что распространение однотипной росписи на большой территории свидетельствует о несомненном участии профессионалов в ее распространении [12].

О.Г.Севан в книге «Росписи жилых домов Русского Севера» на карте-схеме Архангельской и Вологодской областей обозначила историко-культурные земли с распространением домовой росписи [13]. Однако в карту-схему с северо-востока вклинивается треугольником территория, которая не включена в ареал распространения архитектурной росписи. Этот географический треугольник занимает территория Удорского р-на Республики Коми, где локализовался один из четырех очагов коми старообрядчества. Близость с районами старообрядчества на Русском Севере (Пинега, Мезень, Северная Двина) обусловила усвоение удорцами

веры «древнего благочестия», а по мнению Т.А. Бернштам, именно старообрядцы «сделали живопись достоянием крестьянского быта» [14]. Вместе с верой были восприняты и некоторые культурные традиции, в число которых входит и архитектурная роспись, тяготеющая к традициям росписи Пинеги. Указанная территория не была учтена О.Г. Севан, вероятно, в силу ее этнической специфики, так как проживают на ней коми, а не русское население. Но, скорее всего, этот «микрорайон» может быть включен в зону распространения росписи жилых домов на европейском Севере России, где русские и финно-угорские народы длительное время соседствуют и взаимодействуют, обогащая свои культурные традиции.

В контексте рассмотрения архитектурного декора интерес представляет роспись фронтона дома в д. Кривой Наволок. Центральное место в росписи занимает пятиконечная звезда темно-бордового цвета в белом круге, остальная часть фронтона украшена чередующимися рядами прямоугольников, окрашенных в сине-зелено-темно-бордово-желтую гамму цветов, а в оформлении подзора выступов крыши дополнительно использовалась белая краска (рис. 9). В целом сохраняет колористическое решение росписи, однако сюжетное наполнение отражает уже реалии советского времени. Расцветивание подбоев крыши из прямоугольных или ромбовидных фигур красного, белого и черного цветов, реже синего, желтого, зеленого, характерно для домостроительства Пинеги [13], сопредельной территории проживания русских. Оформление геометрического узора и использование красок разного цветового спектра в декоре свидетельствует о стремлении украсить дом, создать радостную обстановку бытия.



Рис. 9. Роспись фронтона. д. Кривой Наволок, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

Окна, имея репрезентативную функцию, подчеркиваются фигурно оформленными наличниками, которые имеют не только эстетическую, но и практическую функцию, так как они (наличники) закрывают щели между домом и окном, образующиеся при строительстве. В декоре окон используется скульптурная резьба, не отличающаяся, однако,

разнообразием. Очелье наличника состояло из двух изящно вырезанных завитков, стилизованно передающих образ голубков, а в разрыве между ними помещалась резная вставка в виде вазы (рис. 10). Такое стилистическое решение очелья встречается в северных русских архитектурных традициях. Фигурное декорирование окон было характерно для конца XIX в. В современной практике используют наличники простой формы, отвечающие только практическим целям.



Рис. 10. Наличники. с. Важгорт, Удорский р-н, Республика Коми. Фото автора. 2009 г.

Таким образом, скульптурные детали дома и его роспись отражают культурные традиции и эстетические предпочтения вашкинских коми. Скульптурно оформленные конструктивные детали дома имеют давние традиции, а архитектурная роспись была заимствована вместе с учением «древлего благочестия» у соседнего русского населения.

Литература

1. *Старообрядческий центр на Вашке*. Материалы и исследования. Сыктывкар: Сыктывкарский госуниверситет, 2002. 251 с.
2. *Жеребцов Л.Н.* Крестьянское жилище в Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1971. 96 с.
3. *Жеребцов Л.Н.* Хозяйство, культура и быт удорских коми в XVIII – начале XX в. М.: Наука, 1972. 127 с.
4. *Мильчик М.И.* Росписи крестьянских домов на Ваге. Традиции и новации // Народное искусство. Исследования и материалы / Сост. И.Я. Богуславская. СПб.: Palace Edition, 1995. С. 25–41.
5. *Паспорт «Двужирная изба с расписным фронтоном»* / Составитель искусствовед Г.П. Гунькин (Гунн) // Архив отдела по охране объектов культурного наследия Министерства культуры Республики Коми.
6. *Шарапов В.Э.* Графическая и свободнокистевая роспись на территории Коми края в XIX – нач. XX в. // Музеи и краеведение. Труды Национального музея Республики Коми. Вып. 1. Сыктывкар: Национальный музей Республики Коми, 1997. С. 104–111.
7. *Чижилова Л.Н.* Архитектурные украшения русского крестьянского жилища // Русские: историко-этнографический атлас. М.: Наука, 1970. С. 7–60.
8. *Уляшев О.И.* Цвет в представлениях и фольклоре коми. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1999. 156 с.
9. *Бернштам Т.А.* Старообрядцы и крестьянская бытовая роспись на Севере и Поволжье: XVIII – XX вв. // Коллекции отдела Европы: Выставочные проекты. Каталоги. Исследования. СПб.: Наука, 2008. С. 144–202. (Сборник МАЭ. Т. LIV).
10. *Дмитриева С.И.* Фольклор и народное искусство русских Европейского Севера. М.: Наука, 1988. 240 с.
11. *Жеребцов Л.Н.* Хозяйство, культура и быт удорских коми в XVIII – начале XX в. М.: Наука, 1972. 127 с.
12. *Дмитриева С.И.* Фольклор и народное искусство русских Европейского Севера. М.: Наука, 1988. 240 с.
13. *Севан О.Г.* Росписи жилых домов Русского Севера. М.: Прогресс-Традиция, 2007. 216 с.
14. *Бернштам Т.А.* Старообрядцы и крестьянская бытовая роспись на Севере и Поволжье. С.144–202.

Статья поступила в редакцию 02.03.2012.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 631.111.332 (470.13-22)

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА

В.А. ИВАНОВ

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
ivanov@iespn/komisc.ru*

В статье уточнено содержание устойчивого развития сельской местности. Выявлены факторы и предложена система показателей (индикаторов) устойчивого сельского и аграрного развития. Исследованы актуальные проблемы развития сельских территорий северного региона. Показана роль аграрного сектора в устойчивом развитии сельской местности. Дан анализ факторов стабильности сельского хозяйства Республики Коми. Для обеспечения устойчивого развития аграрного сектора предложен комплекс мер, включающих обновление сельскохозяйственного законодательства, модернизацию производства на основе применения новейших технологий, усиление государственной поддержки сельхозтоваропроизводителей, формирование многофункционального хозяйства на селе.

Ключевые слова: устойчивое развитие, сельская местность, аграрный сектор, государственная политика, социально-экономические проблемы, Республика Коми

V.A. IVANOV. PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS OF THE NORTHERN REGION

The maintenance of sustainable development of rural areas is specified. Factors are revealed, the system of indicators of sustainable rural and agrarian development is proposed. Actual problems of development of rural territories of the northern region are investigated. The role of agrarian sector in sustainable development of rural areas is shown. The analysis of stability factors of agriculture of the Komi Republic is given. For providing sustainable development of agrarian sector the package of measures, including updating of the agricultural legislation, production modernization on the basis of application of the latest technologies, strengthening of the state support of agricultural producers, formation of multipurpose economy in the village is proposed.

Key words: sustainable development, rural areas, agrarian sector, state policy, social and economic problems, the Komi Republic

Сущность устойчивого развития

Теория устойчивого развития в последние десятилетия стала самой популярной. Анализ научной литературы показывает наличие множества определений (более 60) устойчивого развития. Большинство толкований этого термина так или иначе основывается на определении, данном Комиссией Г.Х. Брундтланд: «Устойчивое развитие – это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способности будущих поколений удовлетворять свои потребности» [1, с. 50]. Данное определение можно считать классическим.

В соответствии с решениями Всемирного саммита по устойчивому развитию в Йоханнесбурге (2002 г.) период с декабря 2005 г. по 2014 г. является началом перехода международного сообщества к устойчивому развитию. Каждая страна согласно Плану выполнения решений этого саммита должна содействовать достижению устойчивого развития посредством принятия и обеспечения соблюдения в его поддержку четких и эффективных законов, а также осуществлять другие меры по укреплению институциональной базы [2, с. 186].

В 1996 г. Президентом России на основании рекомендаций ООН принят Указ «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому раз-

витию, обеспечивающий решение социально-экономических задач и проблем сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений людей».

К настоящему времени не сложилось единого определения по устойчивому развитию сельской местности. В Федеральном законе «О развитии сельского хозяйства» (2006 г.), «Концепции устойчивого развития сельских территории Российской Федерации на период до 2020 г.» (2010 г.) устойчивое развитие сельской местности связано лишь с динамичным развитием агропродовольственного сектора без учета устойчивости отраслей сельской экономики. Нами разделяется позиция А.В. Петрикова, который под устойчивым сельским развитием понимает стабильное развитие сельского общества, стимулирующее рост эффективности сельской экономики, повышение уровня и качества жизни сельского населения, поддержание экологического равновесия, сохранение и улучшение ландшафта в сельской местности [3, с. 93].

Устойчивое развитие сельской местности представляет собой процесс взаимодействия трех тесно взаимосвязанных составляющих – экономической, социальной и экологической (рис. 1).

улучшением качества окружающей среды и сохранением природных ресурсов. Только при сбалансированности экономической, социальной и экологической составляющих обеспечивается устойчивое развитие сельских территорий в течение длительного времени.

Устойчивое (неустойчивое) развитие сельской местности зависит от воздействия внешних и внутренних факторов и условий. Определяющую роль в устойчивости (неустойчивости) играют внешние факторы и условия, которые принято обозначать понятием «внешняя среда»: институциональная среда; доступность ресурсов; конкурентная среда; развитость внутреннего спроса; государственная поддержка; условия межотраслевого обмена; масштабы и развитие рынков сбыта; государственная научно-техническая политика; инвестиционный климат; ценовая и налоговая политика; природные условия; состояние окружающей среды и природных ресурсов; социальное развитие села; внешнеэкономические условия.

Воздействие внутренних факторов на устойчивость хозяйствующих субъектов сельской экономики происходит в зависимости от наличия (отсутствия) высококвалифицированной управленческой команды, способной (неспособной) применять со-



Рис. 1. Взаимосвязь составляющих устойчивого развития сельской местности.

Основными критериями устойчивого экономического развития являются устойчивый рост и повышение экономической эффективности сельской экономики на основе сбалансированного воспроизводства производственного потенциала и его рационального использования. Социальная составляющая устойчивого развития включает повышение уровня и качества жизни сельского населения, стабилизацию демографических и миграционных процессов на селе, сохранение культуры и традиций, активное участие населения в принятии решений по устойчивому развитию территории. Стабильное, равновесное природопользование связано с обеспечением в настоящее время и долгосрочной перспективе устойчивости агросистем,

временные технологии, модернизировать и диверсифицировать производство, эффективно использовать ресурсный потенциал, адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды.

На устойчивое развитие сельских территорий влияют также такие внутренние факторы и условия, как размещение, специализация и концентрация производства в соответствии с местной спецификой; потенциал экономических и интеллектуальных ресурсов; внутренняя инфраструктура; использование потенциала; качество и конкурентоспособность продукции; организационно-хозяйственные формы предприятий; организация производства и управления; инвестиционно-инновационная активность; учет колебания спроса, предложения и цен

на рынке; наличие резерва мощностей, ресурсов, сырья; мотивация труда.

Для оценки степени устойчивости территориальных систем и хозяйствующих субъектов используется система показателей (индикаторов), отражающих экономические, социальные и экологические аспекты. Комиссия ООН по устойчивому развитию в 1995 г. одобрила рабочую программу по разработке показателей устойчивого развития. В их перечень входит около 130 показателей [4, с. 50]. В России апробированы различные методики построения устойчивого развития на федеральном, региональном, местном и секториальном уровнях. Система показателей, позволяющих вести мониторинг устойчивого развития, содержит 48 индикаторов, в том числе 29 основных и 19 дополнительных [4, с. 184].

Мониторинг степени устойчивости хозяйствующих субъектов и сельских территорий позволяет осуществлять следующие основные показатели: структура и объем различных видов деятельности; укомплектованность квалифицированными кадрами всех служб и подразделений; обеспеченность и сбалансированность ресурсов; наличие собственного оборотного капитала, достаточного для текущей деятельности; структура и направления инвестиций в основной капитал; показатели инновационной активности хозяйствующих субъектов; показатели уровня жизни жителей села, соотнесенные с показателями жизни городского населения; показатели обеспеченности объектами инфраструктуры сельских жителей в сравнении с горожанами; показатели рынка труда на селе, соотнесенные с показателями рынка труда в городах, показатели уровня образования сельского населения; характеристики состояния экосистем сельских районов.

Выбор показателей зависит от специфики отдельных отраслей. Например, для количественной характеристики устойчивости аграрного сектора предлагается использовать систему показателей (индикаторов), базирующихся на натуральных, стоимостных и относительных показателях [4, с. 36–38].

Перечень показателей устойчивости должен удовлетворять следующим критериям:

- обеспечивать возможность количественного выражения и использования на уровне страны, региона, местного самоуправления, отрасли, предприятия;
- опираться на имеющуюся статистическую отчетность;
- использовать ограниченное количество основных индикаторов.

Современные проблемы развития сельских территорий

Любая территория подразделяется на сельскую местность и высокоурбанизированные, промышленные зоны. Сельской территорией (сельским районом, селом) принято называть социально-территориальный комплекс, включающий в себя сельское сообщество с присущей ему системой экономических, социальных и культурных отношений, а также территорию с совокупностью расположенных на ней природных и антропогенных объектов [5, с. 90].

Роль сельской местности многофункциональна. Она является источником продовольствия и сельскохозяйственного сырья, кладовой природных ресурсов, местом проживания, рекреационным объектом, местом ассимиляции отходов. Село как самобытный социально-территориальный комплекс выполняет многообразные народнохозяйственные функции: производственную, социально-демографическую, культурную, природоохранную, рекреационную, пространственно-коммуникационную, социального контроля над территорией, политическую [5, 6].

Северное село в настоящее время переживает системный кризис, порожденный как историческими причинами, так и влиянием современных рыночных реформ. Сельским районам Республики Коми характерны следующие социально-экономические проблемы:

- сокращение численности населения за счет оттока и естественной убыли. За 1989–2010 гг. численность сельского населения снизилась более чем на треть. Смертность на селе превышает рождаемость в 1,2 раза;

- низкие доходы сельского населения, существенный разрыв в уровне оплаты труда между работниками сельского и лесного хозяйств и других отраслей, работающее население находится за чертой бедности. В 2010 г. среднемесячная зарплата в сельском, лесном и охотничьем хозяйствах составляла 58% от средней по экономике республики. Особенно низкие среднегодовые доходы в сельских периферийных районах. В Ижемском, Койгородском, Троицко-Печорском, Удорском, Усть-Куломском и Усть-Цилемском районах зарплата в агропроизводстве ниже прожиточного минимума трудоспособного населения;

- высокий уровень безработицы и слабая социальная защищенность сельских жителей. В настоящее время уровень безработицы на селе составляет 15%;

- нехватка квалифицированных кадров, низкий уровень менеджмента в организациях сельской экономики. Отток квалифицированных кадров из сельского хозяйства привел к тому, что в аграрных предприятиях агрономическая, зоотехническая, инженерная, экономическая службы представлены по одному человеку, либо вообще отсутствуют. За последние 20 лет численность занятых в аграрном производстве сократилась в два раза;

- значительное отставание сельской местности от города по развитию социальной инфраструктуры и качеству сферы услуг. Индивидуальный жилой фонд на селе практически не имеет коммунальных удобств. Доля ветхого и аварийного жилищного фонда в сельской местности составляет 22% против 9 в городе. Жилищный фонд села обеспечен водопроводом – в четыре, канализацией – в пять, центральным отоплением – в три, газом – в два, горячим водоснабжением – в девять, ванной – в восемь раз меньше, чем в городе. Особенно велика доля ветхих и аварийных помещений в таких удаленных районах, как Троицко-Печорский (41% всего жилого фонда), Койгородский (35%), Усть-Куломский (34%) [4];

- низкая транспортная доступность сельского населения и возможности получения основных видов социальных благ (услуг образования, здравоохранения, культуры, бытового обслуживания). Крайне недостаточна обеспеченность удаленных сельских районов дорогами. Из шести периферийных районов лишь два (Койгородский и Усть-Куломский) имеют транспортную связь с г. Сыктывкаром по дорогам с твердым покрытием. За 1990–2010 гг. число дошкольных учреждений сократилось на 45%, образовательных учреждений – на 33, больничных учреждений – на 50, учреждений культурно-досугового типа – на 24%. Обеспеченность сельского населения врачами по сравнению с городским ниже в три, а медицинским персоналом – в два раза;

- значительный спад производства в отраслях сельской экономики. За 20-летний период заготовка древесины упала в три, производство основных видов аграрной продукции сократилось в два-три раза;

- большая зависимость села от аграрного сектора, низкая эффективность и конкурентоспособность лесного и сельского хозяйств;

- крайне низкая инновационная активность в ведущих отраслях сельской экономики – лесном и аграрном секторах. Ограничение использования нововведений связано с неустойчивым финансовым состоянием хозяйствующих субъектов, недостатком высококвалифицированных менеджеров, специалистов и кадров массовых профессий, недостаточностью господдержки, отсутствием государственной инновационной политики и инновационной инфраструктуры;

- современная политика, основанная на использовании отраслевого подхода к территориальному развитию, сдерживает устойчивое развитие сельских территорий;

- отсутствие системы научного и информационного обеспечения и подготовки кадров для управления устойчивым развитием сельской местности.

В последнее время делается попытка формирования государственной политики устойчивого развития сельских территорий. Распоряжением Правительства РФ от 30 ноября 2010 г. утверждена Концепция устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020 г. Сейчас разработан проект Концепции сохранения и комплексного развития сельских территорий Республики Коми на 2012–2020 гг. Но этого явно недостаточно. Нужен национальный проект модернизации всей инфраструктуры в сельской местности.

Ведущую роль в реализации устойчивого развития сельской местности должно играть Министерство экономического развития при тесном взаимодействии с Минсельхозпродом и другими министерствами и ведомствами Республики Коми. В формировании эффективной государственной политики в области устойчивого развития сельской местности огромная роль принадлежит региональной науке и информационно-консультационным службам, местным органам самоуправления с ши-

роким вовлечением заинтересованных групп населения в этот процесс.

Эффективный аграрный сектор как основа устойчивого развития сельских территорий

Аграрный сектор наряду с лесным хозяйством является базисом развития сельских территорий. Сельское хозяйство в районах Севера не только обеспечивает население свежими биологически полноценными продуктами питания, но и стимулирует развитие пищевой промышленности, стабилизирует занятость, препятствует монополизации локальных продовольственных рынков отдельными поставщиками продукции, сдерживает цены на продовольствие, завозимое из-за пределов региона, выполняет функции традиционного уклада жизни сельского населения, способствует сохранению коренными народами духовности, культуры, традиций, нравственности, улучшению демографической ситуации, системы расселения людей, сохранению окружающей среды и природного ландшафта. Сельское хозяйство – одновременно и отрасль незаменимых материальных благ, и сфера жизнедеятельности людей. Ликвидация сельскохозяйственного производства означает смену места жительства или даже образа жизни.

В истории развития сельского хозяйства Республики Коми наиболее благоприятными были 1960–1980-е гг. Анализ показателей эффективности сельскохозяйственного производства за 30-летний период показал, что среднегодовые темпы прироста производства продукции на душу населения в республике составили 1,5%, единицу земельной площади – 4,3%. Производительность труда в общественном секторе выросла за этот период на 4,4%. Среднегодовые темпы роста урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности коров в среднем превышали соответствующие показатели по Северному экономическому району. В 1970–1980-е гг. было создано промышленное производство яиц, мяса птицы, свиней, овощей защищенного грунта, внедрялись промышленные технологии в молочном скотоводстве. Происходили положительные изменения в сближении условий и уровня жизни сельского и городского населения, а также в финансовом состоянии отрасли. В предреформенный период все сельхозпредприятия были рентабельны. Уровень рентабельности агропроизводства соответствовал оптимальной норме (40–50%), позволяющей осуществлять процесс расширенного воспроизводства.

Переход к рынку негативно отразился на аграрном секторе. За 1990–2010 гг. производство молока во всех категориях хозяйств сократилось в 3,4 раза, мяса (в убойном весе) – 2,1, в том числе говядины – 4,5, свинины – 5,2, оленины – 3,0, яиц – в 2,2 раза. Наблюдался лишь рост мяса птицы, составивший 27%. Этот результат был обеспечен развитием мясного птицеводства на ОАО «Птицефабрика Зеленецкая». Особенно сильное падение производства продукции зафиксировано в коллективных хозяйствах (рис. 2).

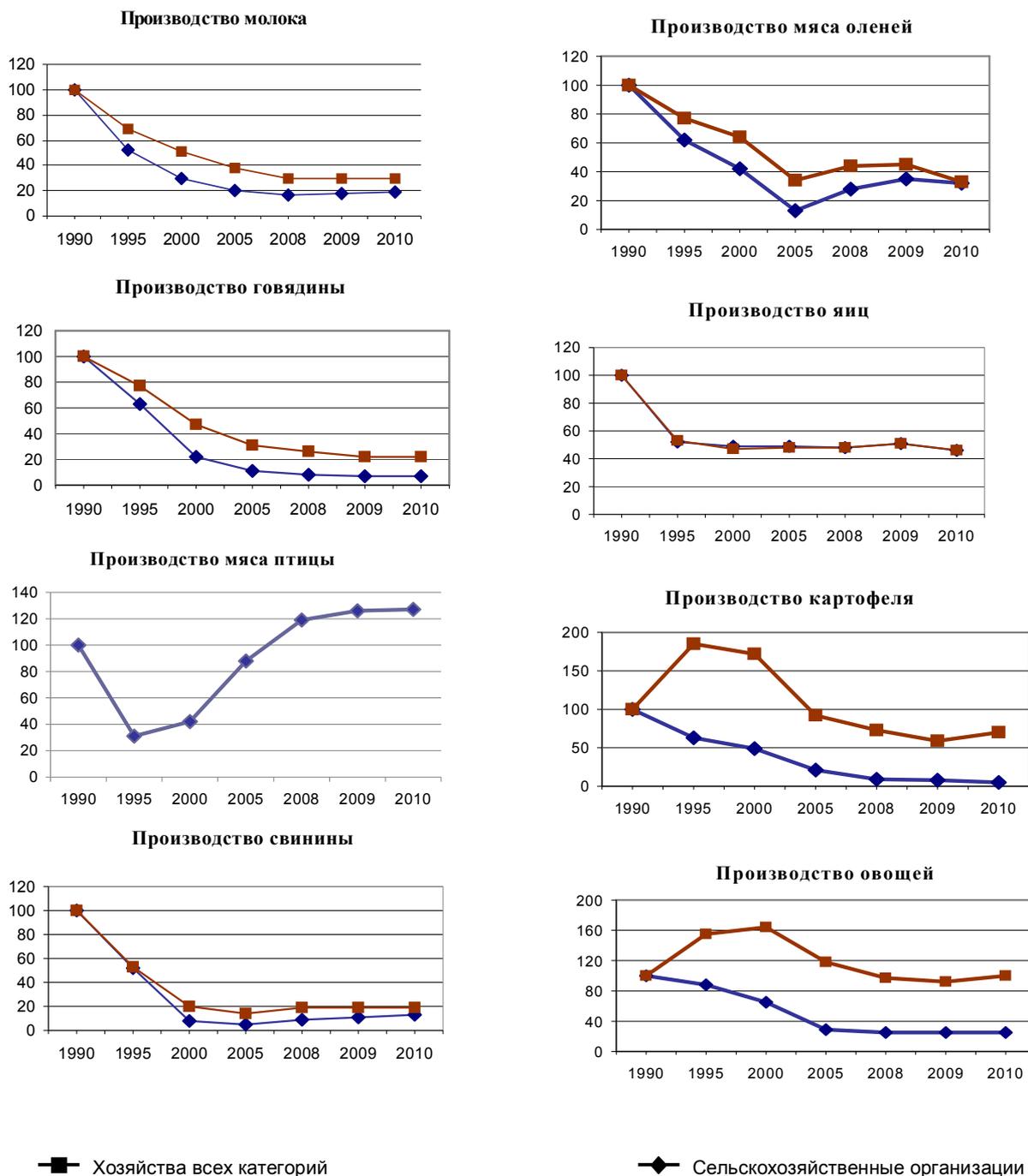


Рис. 2. Динамика производства продукции за 1990–2010 гг. (1990 г. = 100).

За годы реформ произошло снижение производственного потенциала отрасли, которая во многом утратила индустриальный характер. Сельхозугодья за рассматриваемый период сократились с 353 тыс. га до 191, посевные площади – со 100,5 тыс. до 40,5 тыс. га, поголовье крупного рогатого скота уменьшилось со 173,5 тыс. до 38,7 тыс. гол., в том числе коров – с 71,0 до 18,3, свиней – со 136,3 до 25,0, оленей – со 123,6 до 83,8 тыс. гол. Наиболее высокими темпами снижались площади посевов и поголовье скота в сельхозорганизациях. Численность работников в сель-

хозорганизациях сократилась более чем в три раза.

В сельхозорганизациях и фермерских хозяйствах оказался нарушен принцип самоокупаемости и самофинансирования. Современный уровень рентабельности в четыре–пять раз ниже нормы, необходимой для осуществления расширенного воспроизводства. Крайне низким остается уровень рентабельности продукции скотоводства.

Основные сдерживающие факторы и условия динамичного развития аграрного сектора показаны на рис. 3.



Рис. 3. Сдерживающие факторы и условия устойчивого развития аграрного сектора.

Основные направления устойчивого развития сельского хозяйства

Современное экономическое, социальное и экологическое состояние аграрного сектора, прежде всего периферийных (удаленных) сельских районов, характеризуется как неустойчивое, которое может приобрести крайне негативную форму, связанную с ликвидацией сельхозпроизводства и сокращением обжитой сельской территории. В качестве приоритетных направлений для преодоления кризисного состояния и перехода сельского хозяйства на устойчивое развитие предлагается:

1. Создание обновленного аграрного законодательства. Прежде всего, необходимо разработать и принять полноценный Федеральный закон «О сельском хозяйстве Российской Федерации» прямого действия [7], направленный на ужесточение требований по целевому использованию сельхозугодий и нейтрализацию монополистических структур на сельское хозяйство; ресурсное обеспечение отрасли; активную протекционистскую политику. При этом важно акцентировать особое внимание на поддержке доходов сельхозтоваропроизводителей через субсидирование аграрных цен, составляющих в развитых странах 70–80% общих сумм господдержки; поддержание паритетности цен сельхозтоваропроизводителей за счет компенсационных выплат из бюджета, уменьшение доли экспортируемых продуктов; расширение доступа крестьян к финансовым рынкам. На уровне республики предстоит принять законы о восстановлении и развитии сельского хозяйства, об инновационной политике и стратегии в АПК, в которых следует четко обозначить стратегические направления государственной аграрной политики, признать сельское хозяйство приоритетным сектором экономики, определить направления, методы, механизмы и размеры государственной поддержки отрасли, стимулирование инновационной деятельности АПК.

2. Модернизация аграрного производства с использованием новейших технологий и селекционно-генетических инноваций.

3. Полное финансовое обеспечение развития сельского хозяйства потребует увеличения бюджетных средств в два-три раза по сравнению с докризисным периодом. 70–80% бюджетных ассигнований необходимо направлять через субсидирование аграрных цен. Следует обеспечить участие предприятий промышленности в финансировании аграрного и сельского развития, доступ сельхозорганизаций и хозяйств на финансовые рынки, повышение роли долгосрочного кредита. Льготный кредит на строительство и модернизацию животноводческих помещений следует предоставлять на 20–25 лет, а на приобретение сельхозтехники и оборудования – на 6–8 лет. Расширить систему кредитной кооперации и применение лизинга на селе.

4. Списание задолженности сельхозтоваропроизводителей, отмена сельхозорганизациям налогов на пять лет, заменить фермерским хозяйствам налоги патентами на ведение хозяйственной деятельности.

5. Компенсация потерь сельхозтоваропроизводителям из-за роста цен на потребляемые ресурсы промышленного изготовления.

6. Повышение доходов работников аграрного сектора до уровня по народному хозяйству. Кардинальное улучшение социальной среды обитания: удовлетворение потребности в благоустроенном жилье, повышение доступа к образовательным, медицинским, культурным и торгово-бытовым услугам, улучшение дорожно-транспортных условий.

7. Ликвидация монополии заготовительных, посреднических и перерабатывающих структур, что потребует перевода на кооперативную основу цикла производства, переработки и реализации продукции сельского хозяйства. Приоритет местных сельхозтоваропроизводителей при закупках продукции в региональные фонды. Доступ сельхозтоваропроизводителей к объектам розничной торговли и продовольственным рынкам. Участие государства в залоге продукции (картофеля, овощей) путем выделения бюджетных средств и льготного кредита.

8. Формирование многофункционального хозяйства на селе: интеграция сельского, лесного

хозяйства и промыслов, переработка сельхозсырья и дикоросов, рекреационное использование сельской местности.

9. Создание системы индикативного планирования и прогнозирования агропродовольственного сектора. Разработка и принятие концепции и программы устойчивого аграрного и сельского развития Республики Коми.

Подводя итог вышеизложенному, отметим следующее:

- устойчивое развитие сельских территорий является важнейшей частью регионального социально-экономического развития;

- существовавшая до последнего времени политика в области развития сельской местности, основанная на использовании отраслевого подхода к территориальному развитию, сдерживает устойчивое развитие;

- необходимо активизировать шаги по совершенствованию государственного управления развитием сельской местности, разработать эффективные механизмы и осуществлять мониторинг реализации Концепции устойчивого развития сельских территорий РФ на период до 2020 г. и Концепции сохранения и комплексного развития сельских территорий на 2012–2020 гг. Республики Коми.

Литература

1. *Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР): пер. с англ.* М.: Прогресс, 1989. 376 с.
2. *План выполнения решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию // Использование и охрана природных ресурсов в России.* 2002. № 10. С. 142–187.
3. *Петриков А.В.* Устойчивость сельского развития // *Экономист*, 2006. № 7. С. 86–93.
4. *Факторы и условия устойчивого развития агропродовольственного комплекса и сельских территорий Севера / В.А.Иванов, В.В.Терентьев, И.С.Мальцева и др.: [отв. ред. В.Н.Лаженцев].* Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2011. 256 с.
5. *Устойчивое развитие сельских территорий: региональный аспект: Науч. тр. ВИАПИ им. А.А.Никонова / Под общ. ред. А.В.Петрикова.* Вып. 25. М.: ВИАПИ им. А.А.Никонова: ЭРД, 2009. 272 с.
6. *Чепурных Н.В., Новоселов А.Л., Мерзлов А.В.* Региональное развитие: сельская местность. М.: Наука, 2006. 384 с.
7. *Буздалов И.Н.* Сельское хозяйство под пресом межотраслевых и макроэкономических реформаций // *Экономическая наука современной России.* 2009. № 3. С. 28–40.

Статья поступила в редакцию 26.04.2012.

УДК 332.1:338.45

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УРАЛА

А.Г. ШЕЛОМЕНЦЕВ*, В.Н. БЕЛЯЕВ*, С.В. ДОРОШЕНКО*, О.В. БУРЫЙ**

* *Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург*
chel61@mail.ru; bel.50@mail.ru; doroshenkos@mail.ru

** *Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
buryj@energy.komisc.ru

В статье обосновывается, что перспективы развития Уральского региона обусловлены обеспеченностью минерально-сырьевыми ресурсами. Выполнены прогнозные оценки по вариантам освоения минерально-сырьевой базы Урала: действующий, плановый, оптимальный (инновационный) и определены показатели, отражающие роль минерально-сырьевого комплекса на социально-экономическое развитие регионов. Выделены перспективные для освоения месторождения твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: минерально-сырьевой комплекс, минерально-сырьевые ресурсы, оценка влияния, социально-экономическое развитие регионов, месторождения полезных ископаемых

A.G. SHELOMENTSEV, V.N. BELYAEV, S.V. DOROSHENKO, O.V. BURIY.
MINERAL-RAW MATERIAL COMPLEX AS A BASIS FOR SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE URALS

It is proved that prospects for the development of the Ural region depend on its mineral-raw material resources. Projective estimates on options for development of the mineral-raw material base of the Urals are made: operating, planned, optimum (innovative), and indicators reflecting the role of mineral-raw material complex in social and economic development of regions are defined. Perspective for development hard-rock mineral deposits are singled out.

Key words: mineral complex, mineral resources, impact assessment, social and economic development of regions, mineral deposits

Роль минерально-сырьевого комплекса в экономике

Минерально-сырьевая база является естественным конкурентным преимуществом народного хозяйства и промышленного сектора России, донором российской экономики, обеспечивающим ее развитие и переход на новый технологический уклад. Экономические и геополитические интересы России и в долгосрочной перспективе будут существенно зависеть от состояния минерально-сырьевой базы, воспроизводство которой на современном технологическом уровне является центральной задачей геологической отрасли.

С развитием научно-технического прогресса изменился и продолжает меняться спектр используемых полезных ископаемых, отмечается сокращение потребления отдельных их видов, в сочетании с ростом других и появлением новых.

Минерально-сырьевой комплекс (МСК) играет важную роль во всех сферах жизнедеятельности государства и регионов. Он обеспечивает устойчивое снабжение отраслей экономики минерально-сырьевыми ресурсами и способствует формирова-

нию прочной промышленной базы, удовлетворяющей потребности как промышленности, так и сельского хозяйства. Предприятия, входящие в состав МСК, обеспечивают более 50% валового внутреннего продукта страны. Добыча сырья формирует спрос на продукцию десятков смежных отраслей промышленности, например, горношахтного машиностроения, производства бурового и энергетического оборудования и др. Металлургические грузы составляют около 35% грузооборота отечественных железных дорог, черная и цветная металлургия расходуют 25% ресурсов топлива и энергии, потребляемой промышленностью [1]. Мультипликативный эффект от освоения минеральных ресурсов отражается на работе всех базовых отраслей российской экономики и, как следствие, способствует созданию новых рабочих мест, улучшению условий труда, адаптации различных слоев населения и социальных групп к новым экономическим отношениям, повышению качества жизни.

Горнодобывающие и перерабатывающие предприятия играют существенную роль в социально-экономическом развитии как локальных территорий, так и целых регионов, обеспечивая их со-

циальную стабильность. В России практически все крупные компании, входящие в состав МСК или связанные с ним, являются градообразующими и обеспечивающими в ряде случаев до 75% рабочих мест.

На Урале добываются разнообразные полезные ископаемые – железные, медные, цинковые, марганцевые, хромовые руды, бокситы, уголь энергетический, цементное сырье, стройматериалы. Промышленный Урал производит до 45% продукции черной металлургии страны, около 40% медной продукции, более половины глинозема и др. В то же время обеспеченность собственным сырьем низкая: железными рудами – около 35%, энергетическим углем – около 17%, недостаточно медных, цинковых, а также хромовых и марганцевых руд, отсутствуют коксующиеся угли.

Перспективы развития российских регионов, в том числе уральских, в первую очередь обусловлены базовыми факторами, которые формируют преимущества или барьеры пространственного развития. В «новой экономической географии» (П. Кругман, А.Пилисов, Н.Зубаревич и др.) выделены две группы таких факторов.

К факторам «первой природы» традиционно относятся:

- обеспеченность природными ресурсами, которые востребованы рынком (минеральные, земельные и др.);

- выгодное географическое положение (в том числе размещение на путях глобальной торговли), снижающее транспортные издержки и облегчающее диффузию инноваций.

Факторы «второй природы», часто оказывающиеся своего рода барьерами развития:

- агломерационный эффект и высокая плотность населения, дающие экономию на масштабе;

- развитая инфраструктура, сокращающая экономическое расстояние (этот фактор для России особенно важен из-за протяженности ее территории);

- человеческий капитал (численность, образование, здоровье, трудовые мотивации, мобильность и адаптивность населения);

- институты, способствующие улучшению предпринимательского климата, росту мобильности населения, распространению инноваций и др.

Все факторы воздействуют на социально-экономическое развитие регионов России, хотя и в разных сочетаниях и в разной степени. В нашей стране особенностью регионального развития является повышенная роль факторов «первой природы», прежде всего, обеспеченности минеральными ресурсами, наиболее востребованными глобальными рынками (нефти, газа, металлов). Принципиальное воздействие на тип социально-экономической динамики регионов России оказывают их специализация на том или ином виде хозяйственной деятельности и продолжительность развития по определенному сценарию.

В настоящее время социально-экономическая ситуация в России характеризуется:

- малочисленностью крупных городов, в частности с населением более 200 тыс. чел. (90 из 1090 российских городов) и слабым проявлением

агломерационного эффекта, за исключением крупнейшей агломерации федеральной столицы;

- относительно неразвитой инфраструктурой и удаленностью от транспортных путей большей части территории страны;

- депопуляцией и низким качеством человеческого капитала;

- слабыми институтами, модернизации которых не способствует проводимая российскими властями политика.

При этом все факторы носят долговременный характер, поэтому пространственное развитие достаточно инерционно. Быстрых изменений, в том числе заметного ослабления барьерной функции факторов «второй природы», к 2020 г. вряд ли стоит ожидать. Влияние базовых факторов и барьеров на пространственное развитие следует учитывать при разработке долгосрочных прогнозов. Основой для прогноза являются сложившиеся социальные и экономические тенденции.

Так, согласно «Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г.» важнейший вызов для России в этот период – переход от экспортно-сырьевой модели к инновационному социально-ориентированному типу экономического развития.

В наибольшей степени актуальны результаты долгосрочных прогнозов для старопромышленных районов, где имеют место снижение объемов производства, высокий уровень безработицы, негативные демографические процессы, сложная экологическая обстановка, инерционность и консерватизм представлений региональных элит о перспективах развития. Как свидетельствует анализ региональных стратегий и программ, перспективы таких территорий региональными властями во многом видятся в традиционной, давно сложившейся специализации.

Стратегии социально-экономического развития субъектов Российской Федерации позволяют объединить регионы в следующие группы:

- *Регионы, стремящиеся сохранить уровень сырьевой специализации*: Белгородская область, Республика Коми, Астраханская область, Республика Башкортостан, Ханты-Мансийский АО, Приморский край, Республика (Якутия), Хабаровский край.

- *Регионы, в перспективе снижающие уровень сырьевой специализации*: Республика Татарстан, Пермский край, Оренбургская область, Томская область.

- *Регионы, повышающие уровень сырьевой специализации*: Забайкальский край, Красноярский край, Кемеровская область, Иркутская область, Республика Тыва, Республика Хакасия, Камчатский край, Республика Бурятия, Мурманская область, Амурская область, Сахалинская область, Еврейская автономная область, Магаданская область, Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Чукотский автономные округа.

- *Регионы, имеющие незначительный уровень развития МСК и связывающие перспективы развития с диверсификацией экономики*: Архан-

гельская область, Республика Дагестан, Кабардино-Балкарская Республика, Ставропольский край, Волгоградская область, Новосибирская область, Свердловская область, Челябинская область, Алтайский край, Омская область.

Освоение минерально-сырьевой базы Урала

Результаты прогнозных расчетов отражают три варианта развития минерально-сырьевой базы Урала:

1) действующий – используются традиционные технологии геологоразведки, добычи и переработки полезных ископаемых;

2) плановый – используются нововведения и модернизация технологий, реализация которых запланирована на ближайшую перспективу;

3) оптимальный (инновационный) – прогнозируется внедрение новых, «прорывных» технологий.

Выполненная геолого-экономическая оценка объектов недропользования включала расчеты различных показателей:

– экономической (товарная продукция, себестоимость, прибыль);

– инвестиционных (общие инвестиции, инвестиции в строительство, поддержание мощностей, геологоразведку, непроизводственную сферу);

– трудовых (численность персонала в основном и вспомогательном производстве, в строительстве, геологоразведке, а также непроизводственной сфере);

– бюджетной эффективности;

– коммерческой эффективности.

На основе оценки перспективных месторождений по каждому федеральному округу были определены показатели, отражающие влияние от освоения новых месторождений на рост индикаторов развития регионов: валовой региональный продукт (ВРП), численность занятых, налоговые поступления.

Как показало проведенное исследование, многие субъекты Федерации, обосновывая стратегию регионального развития, недостаточно адекватно оценивают перспективы и возможности региона, связанные с освоением минерально-сырьевой базы. Об этом можно судить на основании сравнения планового варианта развития и оптимального прогнозного варианта.

В частности, ведущая роль базовых факторов пространственного развития проявилась в период экономического роста 2000-х гг., а также в период кризиса 2008–2009 гг. В годы экономического роста более устойчиво развивались регионы с экспортно ориентированной структурой экономики и высокой долей ресурсных отраслей. К этой группе относятся республики Татарстан и Башкортостан, Красноярский, Пермский края, Самарская область и несколько ведущих металлургических регионов, доходы которых повышались благодаря быстрому росту мировых цен на металлы (Свердловская область).

В результате напрашивается вывод о том, что сырьевые регионы по показателю ВРП значительно более развиты, нежели регионы, имеющие специализацию, отличную от сырьевой. Во многом это связано с тем, что трансформация экономической системы повлекла снижение конкурентоспособности российских производителей на внутренних и мировых рынках. При этом данные о продуктивности труда (валовая добавленная стоимость на одного работника) в отраслях МСК Урала свидетельствуют о значительном росте абсолютных значений показателя (табл.1), в то же время среднегодовые темпы прироста снижаются.

Например, в Свердловской области за период 2005–2010 гг. среднегодовой прирост валовой добавленной стоимости на одного работника равнялся 43%, за 2010–2020 гг. – 11%, за период с 2020–2030 гг. прогнозируется лишь 8%.

Убывающий характер продуктивности и, как следствие, рентабельности труда в отраслях МСК (1 рубль валовой добавленной стоимости МСК на 1 рубль заработной платы занятых в соответствующих отраслях) свидетельствует о необходимости пересмотра стратегий развития регионов в направлении перехода на инновационную модель воспроизводства и внедрения трудосберегающих технологий. Это тем более актуально, поскольку для большинства российских регионов, особенно северных, рост численности работников, необходимый для освоения минерально-сырьевой базы, при среднем уровне роста производительности труда и капитала, заложенном в прогноз, становится нереальным в силу демографических и миграционных ограничений.

Рост налоговых поступлений в бюджетную систему напрямую связан с улучшением качества жизни в регионе через повышение доходов населения, заработной платы в бюджетной сфере, развитие социальной инфраструктуры и социального обслуживания населения, а также с сокращением региональных различий по уровню жизни (табл.2).

В группу регионов с низким уровнем налоговых доходов на душу населения входят, как правило, регионы, снижающие уровень сырьевой специализации или принявшие для себя стратегию диверсификации экономики, например, Челябинская или Оренбургская области.

Развитие минерально-сырьевой базы региона по оптимальному варианту, рекомендованному ВСЕГЕИ, могло бы способствовать значительному пополнению региональных бюджетов налоговыми поступлениями от деятельности отраслей МСК и росту бюджетной обеспеченности населения. В этом случае показатель налоговых доходов на душу населения по сравнению с плановым вариантом развития имел бы значительную тенденцию к росту. Реализация стратегий оптимального развития также может существенно повысить в сравнении с плановым сценарием налоговые отчисления регионов в федеральный бюджет.

Таблица 1

Валовая добавленная стоимость на одного работника, занятого в добывающих отраслях МСК, тыс.руб.

Субъекты РФ	Варианты прогноза	2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	2033 г.
Республика Коми	действующий	3409	3878	4184	4504	4894
	плановый	2717	3324	3838	4347	4550
	оптимальный	2441	2930	3393	3851	4040
Республика Башкортостан	действующий	3014	3669	3115	2981	2975
	плановый	2675	2759	2879	3015	2999
	оптимальный	2229	2179	2193	2120	2014
Республика Татарстан	действующий	6112	7148	8039	8919	9245
	плановый	6112	7148	8039	8921	9281
	оптимальный	6137	7211	8197	9215	9053
Пермский край	действующий	2878	2761	2869	2712	2701
	плановый	2868	2229	2634	2518	2515
	оптимальный	2860	2225	2517	2402	2401
Оренбургская область	действующий	3326	3358	3445	2746	2741
	плановый	3089	3396	3421	3359	3167
	оптимальный	3093	3363	3244	3182	3018
Свердловская область	действующий	1050	1060	1153	1161	1166
	плановый	979	1016	1078	1083	1098
	оптимальный	965	1121	1194	1198	1218
Челябинская область	действующий	605	631	700	760	784
	плановый	1099	1270	1552	1696	1762
	оптимальный	1070	1134	1086	1115	1132

Таблица 2

Динамика налоговых доходов на душу населения в субъектах Урала, руб./чел.

Субъекты РФ	Варианты прогноза	2005 г.	2010 г.	2033 г.
Республика Башкортостан	действующий	11978,9	26836,6	49353,7
	плановый	11978,9	26881,5	54282,8
	оптимальный	11978,9	26744,8	51921,9
Республика Татарстан	действующий	17003,2	41661,4	102188,4
	плановый	17003,2	41661,4	110171,4
	оптимальный	17003,2	41737,2	107616,4
Пермский край	действующий	15975,0	44081,7	115475,8
	плановый	15975,0	44110,8	116827,9
	оптимальный	15975,0	44134,7	116802,9
Оренбургская область	действующий	12043,5	32989,4	50395,2
	плановый	12043,5	33278,7	52696,8
	оптимальный	12043,5	33673,5	54225,6
Свердловская область	действующий	14386,1	36417,8	95764,9
	плановый	14386,1	36428,4	96889,6
	оптимальный	14386,1	36420,3	97533,1
Челябинская область	действующий	11856,4	28984,4	65344,1
	плановый	11856,4	29239,7	67066,1
	оптимальный	11856,4	29236,4	68524,9

Очевидно, что на показатель налогового потенциала как в прошлом, так и в будущем периоде, влияет структура экономики и ее зависимость от сырьевой направленности. Решение проблем встраивания ресурсных регионов в новую парадигму социально-экономического развития, определения конкретных механизмов адаптации их структуры к современным вызовам связываются с инвестициями. При этом инвестиционные показатели являются более информативными с точки зрения отражения экономической политики, проводимой в регионах (табл. 3).

намично развивающихся территорий (Пермский край, Республика Татарстан) за счет позитивного изменения баланса факторов и барьеров развития.

В целом региональное неравенство, особенно в начальной фазе реализации стратегий, будет усиливаться, так как регионы с низкими конкурентными преимуществами будут отставать. Проблемы отстающих должны будут решаться не только с помощью региональной стимулирующей политики, а, в первую очередь, с помощью перераспределительной социальной политики (социальной защиты населения) и политики, нацеленной на рост человеческого капитала.

Таблица 3

Изменение доли инвестиций в валовом региональном продукте, %

Субъекты РФ	Варианты прогноза	2010	2015	2020	2025	2030	2033
Республика Коми	действующий	25,4	26,4	28,6	32,2	34,5	36,4
	плановый	31,6	28,3	24,6	26,2	27,2	27,7
	оптимальный	28,0	32,6	26,5	28,1	28,7	28,6
Республика Башкортостан	действующий	27,6	31,9	34,2	38,2	40,0	40,1
	плановый	27,7	32,0	33,5	36,6	38,1	38,2
	оптимальный	27,7	33,4	34,0	39,9	39,0	39,2
Республика Татарстан	действующий	30,6	30,5	30,8	31,2	31,6	32,9
	плановый	30,6	30,6	30,8	31,1	31,4	31,6
	оптимальный	30,6	30,5	30,9	31,4	31,7	32,1
Пермский край	действующий	26,2	30,0	33,0	36,6	40,7	43,3
	плановый	26,3	30,0	33,3	35,9	39,9	42,6
	оптимальный	26,3	30,0	33,3	36,0	40,0	42,6
Оренбургская область	действующий	26,1	25,9	25,5	24,1	22,2	21,8
	плановый	28,2	26,3	25,5	24,3	22,5	22,1
	оптимальный	28,1	26,5	25,8	24,3	22,6	22,1
Самарская область	действующий	20,8	20,5	20,1	19,5	18,3	17,7
	плановый	20,9	20,5	20,0	19,4	18,3	17,7
	оптимальный	21,2	20,5	20,1	19,5	18,3	17,7
Свердловская область	действующий	19,4	19,0	18,9	18,9	18,9	18,8
	плановый	19,4	19,3	19,1	18,9	18,9	18,9
	оптимальный	19,4	19,9	19,4	19,2	18,9	18,9
Челябинская область	действующий	23,8	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
	плановый	23,9	23,4	22,6	22,7	22,7	22,7
	оптимальный	23,9	23,7	22,9	22,9	22,7	22,7

Как плановый, так и оптимальный сценарий развития МСК возможен только при значительном улучшении институтов (защита прав собственности, снижение коррупции и др.) и роста открытости экономики страны и регионов. Даже плохая инфраструктура является менее жестким барьером, так как она может развиваться по мере экономического роста. Снижение институциональных барьеров позволит привлечь необходимые инвестиции в инфраструктуру, что при координации с рациональными инфраструктурными проектами государства создаст необходимые условия для развития бизнеса. Точками роста, по крайней мере, до 2020 г. будут в основном те же территории, что и в настоящее время. Однако при снижении институциональных барьеров скорость и качество их развития могут повыситься. Кроме того, вырастет и число ди-

Направления совершенствования государственной политики

Поскольку ресурсные преимущества регионов России остаются наиболее значимыми, реализация по оптимальному сценарию ускорит воспроизводство минерально-сырьевой базы и на этой основе развитие МСК. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что основные надежды регионов на возрождение местной экономики связываются с внешними факторами, например, с привлечением иностранных и отечественных инвестиций, оптимизацией системы налогообложения добывающих предприятий на федеральном уровне и т.п. Все эти меры способны дать позитивный эффект. Однако, если при этом не будут актуализированы внутренние резервы самой территории, побуди-

тельные механизмы развития местной экономики через выработку направлений реструктуризации (в том числе за рамки сложившейся специализации), в которых учтен мировой опыт, эффект окажется непродолжительным. Это подтверждает прогнозная оценка влияния освоения минерально-сырьевой базы на социально-экономическое развитие регионов. Кроме того, игнорирование таких мощных ограничительных факторов, как депопуляция и отток населения, характерных для подавляющего числа сырьевых регионов, особенно сибирских и дальневосточных, а также отсутствие в стратегиях большинства регионов увязки перспектив развития МСК с региональной демографической, миграционной, социальной политикой, может сделать достижение стратегических целей нереальными.

Развитие производства, структурные преобразования в горнопромышленном комплексе региона можно осуществить только при активизации инвестиционной и инновационной деятельности, основными источниками финансирования которых являются:

- собственные (внутренние) средства предприятий: прибыль, амортизационные отчисления;
- внешние (привлекаемые) ресурсы: акционерный капитал, долгосрочные и среднесрочные кредиты банков, заемные средства предприятий-партнеров, другие финансовые инструменты;
- меры государственной поддержки: участие государства в создании производственной и социальной инфраструктуры, предоставление налоговых льгот.

Особенностью горнодобывающей промышленности является необходимость вложения значительных средств в поддержание производственных мощностей карьеров, рудников, шахт. Основным источником на сегодняшний момент являются собственные средства предприятий. Однако полностью покрыть потребность в инвестициях они не в состоянии. В результате происходит отставание по горноподготовительным работам, повышается износ фондов.

Акционерный капитал, который в развитых странах является главным источником инвестиций, в российской экономике не был задействован по ряду причин. Это и следствие ускоренной приватизации, когда у приобретателя контрольного пакета акций не было не только обоснованной стратегии развития предприятия, но и достаточных средств для стабильной работы приобретаемого производства. Это и раздельная приватизация горнодобывающих и металлургических предприятий, которая привела к нарушению сложившихся производственных связей, вследствие контроля над предприятиями групп собственников с различными порой интересами.

В западных странах важным источником развития являются иностранные инвестиции. В России их доля составляет незначительную величину – 4,2%. В первую очередь иностранные инвестиции идут в сырьевые отрасли: добычу нефти, газа, леса.

Нежелание основных акционеров «размывать» причитающуюся долю в общем капитале своих компаний приводит к тому, что акции при дополнительных эмиссиях распределяются среди тех же акционеров, т.е. формально в открытых эмиссиях подписка является закрытой.

Основные направления государственной политики по созданию благоприятного инвестиционного климата и привлечению инвестиций в развитие горнопромышленного комплекса страны и регионов, по нашему мнению, включают:

- государственное стимулирование внутренних инвестиций путем снижения уровня налогообложения, дифференциацию налога на добычу полезных ископаемых, введение налоговых льгот;
- увеличение источников инвестиций за счет применения ускоренной амортизации основных фондов;
- уменьшение инвестиционных рисков и увеличение привлекательности рынка ценных бумаг горных предприятий для институциональных и стратегических инвесторов;
- усиление законодательства по защите прав акционеров и повышение информационной открытости предприятий [3].

В данной работе на основе анализа материалов, представленных институтами ВСЕГЕИ, ВИЭМС, ЦНИГРИ, СОПС и др., а также экономической оценки перспективных объектов недропользования, были определены приоритеты в развитии минерально-сырьевых комплексов регионов страны, которые находятся в русле проводимой Министерством природных ресурсов (МПР) России политики недропользования. При этом обоснование целесообразности освоения минеральных ресурсов осуществлялось не только с позиции экономической эффективности разработки месторождений, но и с позиции влияния МСК на социально-экономическое развитие субъектов Федерации в составе федеральных округов.

Приоритеты в развитии МСК определяли:

- эффективность освоения минеральных ресурсов по видам полезных ископаемых и регионам;
- влияние освоения МСБ на социально-экономическое развитие регионов России;
- инфраструктурное обеспечение освоения минеральных ресурсов.

В региональном плане наиболее перспективными с точки зрения дальнейшего развития МСК являются:

- Дальневосточный федеральный округ (золото, серебро, алмазы, уголь, олово, железо);
- Сибирский федеральный округ (железо, медь, полиметаллы, золото, серебро, уголь, марганец, редкие металлы);
- Уральский федеральный округ (железо, хромиты, медь, полиметаллы, золото, серебро, уголь, марганец, редкие металлы, фосфориты);
- Северо-Западный федеральный округ (хромиты, алмазы, золото, бокситы, титан, молибден);
- Центральный федеральный округ (железо, уголь, цирконий);

- Южный федеральный округ (уголь, цирконий, титан, золото);
- Приволжский федеральный округ (уголь, бокситы, титан, марганец, бариты).

В табл. 4 приведены прогнозные показатели освоения месторождений твердых полезных ископаемых по федеральным округам.

По углю основные объемы поисковых, оценочных и разведочных работ намечаются в Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке; по железным рудам – на Южном, Приполярном, Полярном Урале, в Белгородской, Читинской и Сахалинской областях; по марганцевым рудам – в Красноярском крае, Иркутской и Кемеровской областях; по

Таблица 4

Прогноз показателей освоения перспективных объектов недропользования по федеральным округам (твердые полезные ископаемые)

Показатели	Годы	Федеральные округа						
		Центр.	Сев.-Зап.	Южный	Привол.	Урал.	Сибир.	Дальнев.
Прирост ВРП от освоения новых месторождений, млн. руб.	2020	2 285	19258	9906	9775	71416	89669	126348
	2025	2 285	19258	9906	9775	71416	98314	210262
	2030	2 285	19258	9906	9775	71416	98314	228566
Инвестиции в объекты нового освоения, млн. руб.	2020	373	1667	171	646	1464	4668	9015
	2025	373	1667	171	646	1464	2966	5713
	2030	373	1667	171	646	1464	2966	6957
Численность занятых на предприятиях МСК нового освоения, чел.	2020	6833	17785	3857	16557	36739	69381	88920
	2025	6833	17653	3857	16557	36739	71450	112147
	2030	6833	17858	3857	16557	36739	68932	112147
Величина налоговых поступлений от МСК нового освоения, млн. руб.	2020	925	8837	4707	4889	32638	56274	58092
	2025	960	8995	4724	4932	32777	60254	96930
	2030	995	9154	4740	4975	32916	60564	105337

По приросту ВРП от освоения новых перспективных объектов недропользования лидируют Дальневосточный, Сибирский и Уральский федеральные округа. Инвестиции в объекты нового освоения по этим округам также существенно больше, чем по другим. Численность занятых на новых объектах недропользования по Дальневосточному и Сибирскому округам превышает внутренние резервы по трудовым ресурсам и будет являться ограничителем развития МСК.

В соответствии с Основами федеральной минерально-сырьевой политики, направленной на устойчивое обеспечение экономики страны минеральным сырьем МПР РФ, была разработана Долгосрочная государственная программа изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы до 2020 г. Главными задачами Программы являются:

- укрепление и расширение сырьевой базы страны за счет выявления новых перспективных районов;
- выявление новых сырьевых баз с целью снижения импортной зависимости ряда ключевых отраслей промышленности;
- концентрация средств на геологоразведочные работы и создание условий для интенсивного освоения минеральных ресурсов в стагнирующих районах Дальнего Востока;
- обеспечение минеральным сырьем развивающейся экономики Сибири и поддержание на достигнутом уровне экономики Урала и других регионов [2].

титановым рудам – в Ставропольском крае, Республике Бурятия, Брянской, Тамбовской и Амурской областях; по хромовым рудам – в Ямало-Ненецком АО, республиках Башкортостан и Карелия, Мурманской, Челябинской и Читинской областях; по цветным металлам: по никелю – в Мурманской, Камчатской областях, в Красноярском крае и Уральском регионе; по меди и цинку – в Уральском регионе; по свинцу и цинку – в Архангельской области, в Красноярском и Приморском краях; по олову – в Республике Якутия, Хабаровском и Приморском краях и Еврейской АО; по бокситам – в Республике Коми и Свердловской области.

Проведенная оценка минерально-сырьевых ресурсов Урала выявила следующие перспективные для освоения месторождения твердых полезных ископаемых.

Свердловская область. Освоение собственно Качканарского месторождения и увеличение мощности по добыче железной руды Качканарского ГОКа. Освоение комплексных месторождений меди Шемур и Новый Шемур. Переход на подземный способ добычи медной руды на Сафьяновском месторождении.

Челябинская область. Освоение Круглогорского и Теченского железорудных месторождений, медно-цинковых месторождений Южное и Чебажье, Вишневогорского титанового месторождения.

Приполярный и Полярный Урал. Освоение месторождений Северо-Сосьвинского бурогоугольного бассейна, месторождений хромитов Западное и др., месторождений золота Новогоднее-Монто и

Дальнее, месторождений Новогоднее-2 и Пунгью в качестве сырьевой базы для производства цемента.

Пермский край. Освоение Усть-Яйвинского и Половодовского участков Верхне-Камского месторождения калийных солей, Екальшинского и Коспашского месторождений коксующихся углей.

Оренбургская область. Освоение Комсомольского медно-цинкового месторождения, Буруктульского никель-кобальтового месторождения, Изигского кварцевого месторождения, увеличение добычи на Гайском ГОКе за счет освоения новых участков Гайского медно-цинкового месторождения.

Республика Башкортостан. Освоение Восточно-Семеновского, Новоучалинского, Озерного, Западно-Озерного, Октябрьского медно-цинковых месторождений, Кужинского и Аршинского свинцово-цинковых месторождений, Ниезгуловского марганцевых руд; разведка и освоение хромовых руд Апшакской площади.

Республика Коми. Освоение Усинского месторождения коксующихся углей, Сейдинского и Воргашорского месторождений энергетических углей. На базе Усинского месторождения возможно строительство четырех новых шахт коксующихся углей, а на Воргашорском месторождении – трех новых шахт. Освоение Верхне-Щугорского и Восточного бокситовых месторождений. Увеличение добычи бокситовых руд на Вежаю-Ворыквинском месторождении более чем в два раза. Восстановление добычи марганцевых руд Парнокского месторождения, добычи золота в Кожимском районе. Освоение Ярегского месторождения титана, Койгородского месторождения фосфоритов, месторождения Чернокурка-I кварцевых (стекольных и формовочных) песков. Организация добычи на Хойлинском месторождении баритов.

Таким образом, применение регионально-отраслевого подхода к анализу и оценке освоения минерально-сырьевых ресурсов позволяет оценить не только уровень экономической эффективности минерально-сырьевого комплекса, но и степень социально-экономических последствий для территорий.

Вопросы взаимосвязи социально-экономического развития и минерально-сырьевого фактора являются предметом дискуссий как на теоретическом, так и на практическом уровне. Многие экономисты склонны рассматривать богатства российских недр как одну из основных причин экономической отсталости (так называемое, «ресурсное проклятие»). Однако существует реальная практика позитивного развития стран, имеющих развитый добывающий сектор в экономике и являющихся успешными в мировой хозяйственной системе (США, Канада, Австралия, Норвегия, Саудовская Аравия).

Стратегия перехода минерально-сырьевого комплекса России на инновационный тип технологического развития должна опираться на наукоемкие технологии в производственной сфере, на инновационное обновление социальной среды. Обеспечить такой переход призваны совершенствование государственной политики и разработка механизмов согласования стратегии освоения минерально-сырьевой базы и отраслей комплекса со стратегиями регионального развития.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Президиума УрО РАН, проект №12-И-7-2070 «Инструменты и механизмы реализации социально-экономической политики северных территорий».

Литература

1. Ягольницер М.А., Ситро Т.В. Роль минерально-сырьевого комплекса в экономике России // ЭКО. 2002. № 7. С. 92.
2. Шеломенцев А.Г., Дорошенко С.В., Козлова О.А. и др. Формирование социально-экономической политики северных регионов России с учетом фактора освоения природных ресурсов: Монография. Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2011. 140 с.
3. Государственное регулирование природопользования в России: механизмы и результаты: Монография. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. 280 с.

Статья поступила в редакцию 28.05.2012.

УДК 378:004.81

ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ

Т.А. ВОКУЕВА

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
tvok@mail.ru*

В статье дано определение когнитивных карт и когнитивных карт Силова в связи с их применением в моделировании социальных систем. Рассмотрен алгоритм Силова для вычисления матрицы взаимовлияния когнитивной карты и приведены его недостатки. Для их исправления предложен альтернативный алгоритм. Проведено сравнение матриц взаимовлияния, получаемых с помощью алгоритма Силова и предложенного алгоритма.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, нечеткая логика, теория графов, моделирование социальных систем, статический анализ

T.F. VOKUEVA. CALCULATION OF THE INTERACTION MATRIX FOR COGNITIVE MAPS

Definition of cognitive maps and Silov's cognitive maps are given in connection with their application in social system modeling. Silov's algorithm for computing interaction matrix of cognitive map is described, its limitations are considered. Alternative algorithm is proposed for their correction. Interaction matrices, obtained by Silov's algorithm and proposed algorithm, are compared.

Key words: fuzzy cognitive maps, fuzzy logic, graph theory, modeling of social systems, static analysis

Введение

Сложность процесса управления в социальных системах обусловлена рядом присущих им особенностей:

- многофакторностью происходящих в них процессов (экономических, социальных и т. п.) и их взаимосвязанностью, из-за чего невозможно вычленение и детальное исследование отдельных явлений – все происходящие в них события должны рассматриваться в совокупности;
- отсутствием достаточной количественной информации о динамике процессов, что вынуждает переходить к качественному анализу таких процессов;
- изменчивостью характера процессов во времени и т. д.

В силу указанных особенностей социальные системы называются слабоструктурированными системами. Для моделирования систем такого типа хорошо себя зарекомендовал когнитивный подход [1,2], который заключается в построении и анализе когнитивной карты ситуации.

Когнитивная карта представляет собой причинно-следственную сеть, имеющую вид:

$$G = \langle E, W \rangle,$$

где $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – множество факторов (называемых концептами), W – бинарное отношение

на множестве E , которое задает набор связей между его элементами [2].

Элементы e_i и e_j считаются связанными отношением W , если изменение значения концепта e_i (причины) приводит к изменению значения концепта e_j (следствия). При этом говорят, что концепт e_i оказывает влияние на концепт e_j (обозначается $w(e_i, e_j)$). Если увеличение значения концепта-причины приводит к увеличению значения концепта-следствия, то влияние считается положительным («усиление»), если же значение уменьшается – отрицательным («торможение»). Сами концепты могут задаваться как качественными показателями, такими как востребованность специалистов, так и количественными – средний балл поступающих, численность студентов. Когнитивная карта строится экспертами предметной области. В силу этого карта в большей мере отражает субъективный взгляд эксперта на ситуацию, несмотря на то, что некоторые связи могут быть подтверждены статистическими данными. Однако сам процесс её построения и последующий анализ в значительной мере помогают структурировать и наглядно представить накопленные экспертами знания.

Определенная таким образом когнитивная карта называется классической и имеет ограниченное применение в силу того, что не позволяет различать интенсивность взаимовлияния между концептами. Для учета данного обстоятельства исполь-

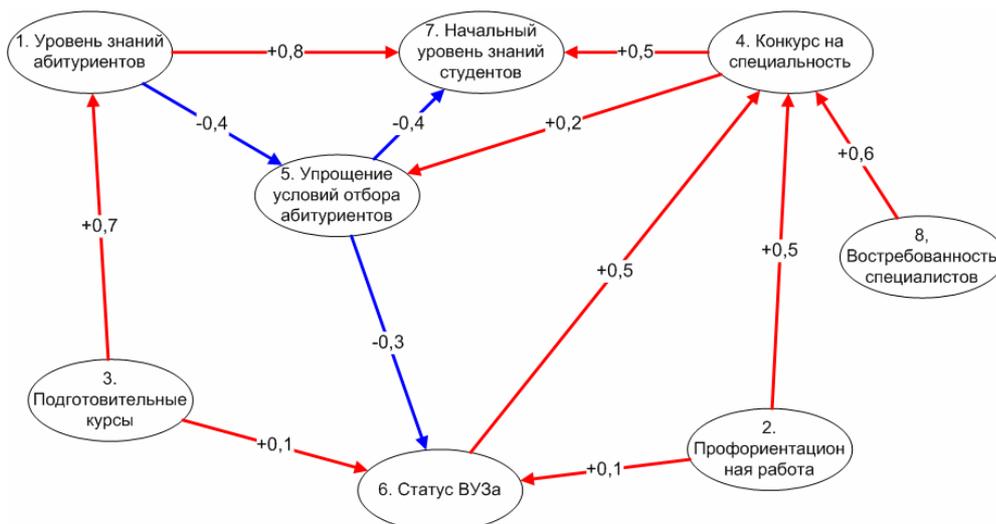


Рис. 1. Нечеткая когнитивная карта приемной кампании ВУЗа (слабо-связная).

прямое влияние, так и опосредованное, когда один фактор влияет на другой через цепочку промежуточных факторов. Строится матрица взаимовлияния.

2. По матрице итогового взаимовлияния рассчитываются системные показатели когнитивной карты, такие как влияние концепта на систему, влияние системы на концепт. Полный список по-

казателей приведен в работах [2,3].

зается нечёткая когнитивная карта Силова (см. рис. 1). Она представляет собой расширение классического понятия когнитивной карты, в которой вводится показатель интенсивности влияния, и вместо «обычного» (классического) отношения используется нечёткое отношение W , элементы w_{ij} которого характеризуют направление и степень интенсивности (вес) влияния между концептами e_i и e_j :

$$w_{ij} = w(e_i, e_j),$$

где w – нормированный показатель интенсивности влияния (характеристическая функция отношения W), обладающий следующими свойствами [2]:

1. $1 \leq w_{ij} \leq 1$;
2. $w_{ij} = 0$, если e_i не зависит от e_j (влияние отсутствует);
3. $w_{ij} = 1$ при максимальном положительном влиянии e_i на e_j ;
4. $w_{ij} = -1$ при максимальном отрицательном влиянии e_i на e_j ;
5. w_{ij} принимает значения из интервала $(-1, 1)$ при промежуточной степени положительного или отрицательного влияния e_i на e_j .

При анализе ситуаций, опирающемся на модели когнитивных карт, решаются два типа задач: статические и динамические. Статический анализ – это анализ текущей ситуации, включающий исследование влияний одних факторов на другие, исследование устойчивости ситуации в целом и поиск структурных изменений для получения устойчивых структур. Динамический анализ – это генерация и анализ возможных сценариев развития ситуации во времени. Математическим аппаратом анализа является теория знаковых графов и нечетких графов.

Статический анализ когнитивных карт Силова состоит из нескольких этапов:

1. Определение итогового (совокупного) взаимовлияния факторов друг на друга, учитывая как

казателей приведен в работах [2,3].

3. По полученным показателям проводятся анализы взаимовлияния факторов друг на друга, устойчивости карты.

Таким образом, статический анализ когнитивной карты основывается на матрице взаимовлияний.

Определение матрицы взаимовлияния концептов

Задача нахождения итогового взаимовлияния концептов заключается в определении совокупного причинного эффекта от концепта e_i до концепта e_j ($e_i \rightarrow e_{k_1} \rightarrow \dots \rightarrow e_{k_n} \rightarrow e_j$) на графе соответствующей когнитивной карты, задаваемой нечёткой матрицей. Формально причинно-следственный путь определяется следующим образом:

$$e_i \rightarrow e_j : (i, k_1^r, k_2^r, \dots, k_n^r, j) = P_r, \\ r = \overline{1, m}$$

Для нахождения причинно-следственного пути можно использовать операции T-нормы и S-нормы [1], моделирующие, соответственно, связки «И» и «ИЛИ» в нечеткой логике. Обозначим через $w'(e_i, e_j)$ совокупное взаимовлияние концептов e_i и e_j , тогда оно вычисляется по формуле:

$$w'(e_i, e_j) = S_{r=1}^m T_{p \in P_i} w(e_p, e_{p+1}), \quad (1)$$

где S – оператор S-нормы (аналог логического «ИЛИ»),

T – оператор T-нормы (аналог логического «И»).

Во всех рассмотренных нами работах в качестве T-нормы принимается либо оператор MIN, либо PROD (произведение составляющих), а в качестве S-нормы – оператор MAX. По мнению автора, это объясняется тем, что непосредственно для расчета итогового взаимовлияния применяется предложенный В.Б. Силовым алгоритм (более подробно алгоритм описан в [2,3]). Ограничительной особенностью алгоритма Силова является то, что для расчета используются нечёткие матричные операции [2], вследствие чего по нему можно опре-

делить только один причинно-следственный путь между концептами. Поэтому определяются максимальные отрицательные и положительные причинно-следственные пути между всеми концептами (a_{ij} и b_{ij} соответственно), затем вычисляется итоговое взаимное влияние факторов друг на друга (матрица P):

$$p_{i,j} = \text{sign}(a_{i,j} + b_{i,j}) * \max(|a_{i,j}|, |b_{i,j}|), \quad (2)$$

где $a_{i,j}$ – положительное влияние фактора i на j ; $b_{i,j}$ – отрицательное влияние фактора i на j ; $p_{i,j}$ – итоговое влияние фактора i на j .

Таким образом, в качестве итогового влияния между факторами принимается максимальное по модулю влияние. Так как при этом мы пренебрегаем остальными влияниями, то вычисляется уровень доверия (или консонанс) для полученных значений:

$$c_{i,j} = \frac{a_{i,j} + b_{i,j}}{|a_{i,j}| + |b_{i,j}|},$$

где $c_{i,j}$ – консонанс влияния фактора i на j .

Модификация алгоритма расчета матрицы взаимовлияния

Алгоритм В.Б. Силова имеет несколько существенных недостатков:

✓ При вычислении итогового взаимовлияния и консонанса используются только максимальные по модулю взаимовлияния между концептами, при этом не учитываются все остальные взаимовлияния (которых в большой и сильно-связной когнитивной карте может быть довольно много). Поэтому автором было предложено в формуле (1) в качестве T -нормы использовать оператор PROD (алгебраическое произведение), а вместо оператора MAX для S -нормы – оператор алгебраической суммы, который вместе с оператором PROD образует дуальную пару [1]. Тогда нормы будут следующими:

$$T(x,y) = xy;$$

$$S(x,y) = x + y - xy.$$

Понятно, что при применении данных норм будут использоваться все причинно-следственные пути между концептами, что в итоге даст матрицу взаимовлияния, более соответствующую связям когнитивной карты.

✓ Не учитывается запаздывание влияния концепта-причины на концепт-следствие вследствие длины пути (под длиной пути в данном случае понимается количество промежуточных концептов). Поэтому для

определения веса причинно-следственного пути предлагается использовать следующую формулу:

$$w^*(e_i, e_j) = \lambda^n w(e_i, e_j),$$

где λ – коэффициент запаздывания влияния, подбираемый экспертом для когнитивной карты, $0 < \lambda < 1$. Он зависит от того, насколько моментально в среднем распространяется влияние от концепта к концепту;

n – количество промежуточных концептов в причинно-следственном пути;

$w(e_i, e_j)$ – вес пути, рассчитанный по формуле (1).

Кроме того, использование коэффициента запаздывания влияния позволит ограничить рост итогового взаимовлияния между концептами, который в среднем будет больше аналогичного значения, вычисленного по алгоритму Силова. Это объясняется тем, что выбранный оператор S -нормы (оператор алгебраической суммы) в среднем дает более высокие значения, чем оператор максимума [6].

Таким образом будет вычисляться совокупное положительное и отрицательное влияние концептов друг на друга, а итоговое влияние по-прежнему будет определяться по формуле (2).

Экспериментальная часть

Автором разработан алгоритм для расчета совокупного положительного и отрицательного взаимовлияния между концептами по выбранным нормам, заключающийся в расчете всех причинно-следственных путей между концептами и применении к ним вышеуказанных операторов S и T -норм. Данный алгоритм и алгоритм Силова были реализованы в среде программирования Visual Studio 2010 на языке C#. Полученная программа использовалась для проведения эксперимента, целью которого являлось сравнение матриц итоговых взаимовлияний, полученных двумя вышеприведенными способами.

Для проведения эксперимента были выбраны две когнитивные карты приёмной кампании ВУЗа –

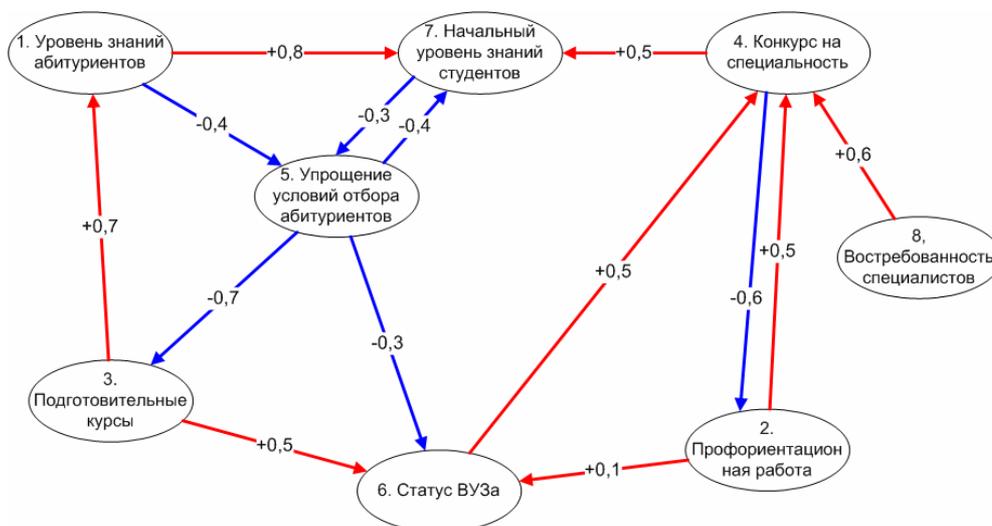


Рис. 2. Нечеткая когнитивная карта приемной кампании ВУЗа (сильно-связная).

Когнитивная карта (Силов)

Файл Действия

Матрица взаимовлияния Двойная матрица взаимовл Консонанс

	Уровень знаний абитури	Профор работа	Подг. курсы	Конкурс на специал	Упроще условий отбора	Статус ВУЗа	Нач. уровень знаний студент	Востреб специал	Система-элемент	Элемент-система
Уровень знаний абитуриентов	-	-	-	0,06	-0,40	0,12	0,80	-	0,07	-
Профор. работа	-	-	-	0,50	-	0,10	0,25	-	0,11	-
Подг. курсы	0,70	-	-	0,25	-0,28	0,50	0,56	-	0,22	-
Конкурс на специальность	-	-	-	-	-	-	0,50	-	0,06	0,08
Упрощение условий отбора	-	-	-	-0,15	-	-0,30	-0,40	-	-0,11	-
Статус ВУЗа	-	-	-	0,50	-	-	0,25	-	0,09	-
Нач. уровень знаний студентов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
Востребованность специалистов	-	-	-	0,60	-	-	0,30	-	0,11	-

Рис. 3. Матрица взаимовлияния слабо-связной когнитивной карты, рассчитанная по алгоритму Силова.

Когнитивная карта (алгебр. сумма)

Файл Действия

Матрица взаимовлияния Двойная матрица взаимовл Консонанс

	Уровень знаний абитури	Профор работа	Подг. курсы	Конкурс на специал	Упроще условий отбора	Статус ВУЗа	Нач. уровень знаний студент	Востреб специал	Система-элемент	Элемент-система
Уровень знаний абитуриентов	-	-	-	0,04	-0,40	0,10	0,83	-	0,07	-
Профор. работа	-	-	-	0,52	0,09	0,10	0,21	-	0,11	-
Подг. курсы	0,70	-	-	0,22	-0,22	0,53	0,53	-	0,22	-
Конкурс на	-	-	-	-0,02	0,20	-0,05	0,50	-	0,08	0,08
Упрощение условий отбора	-	-	-	-0,12	-0,02	-0,30	-0,43	-	-0,11	0,01
Статус ВУЗа	-	-	-	0,50	0,08	-0,02	0,20	-	0,10	0,00
Нач. уровень знаний студентов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03
Востребованность специалистов	-	-	-	0,60	0,10	-0,02	0,24	-	0,11	-
*										

Рис. 4. Матрица взаимовлияния слабо-связной когнитивной карты, рассчитанная по предложенному алгоритму.

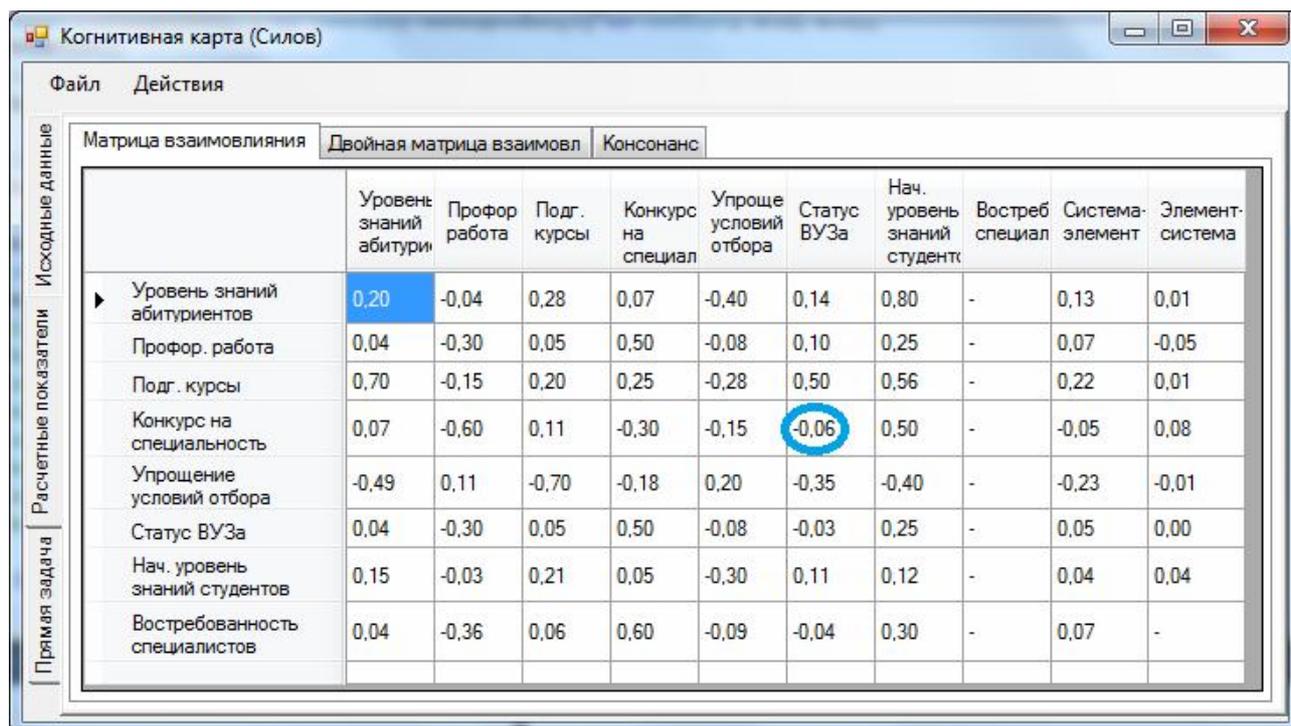


Рис. 5. Матрица взаимовлияния сильно-связной когнитивной карты, рассчитанная по алгоритму Силова.

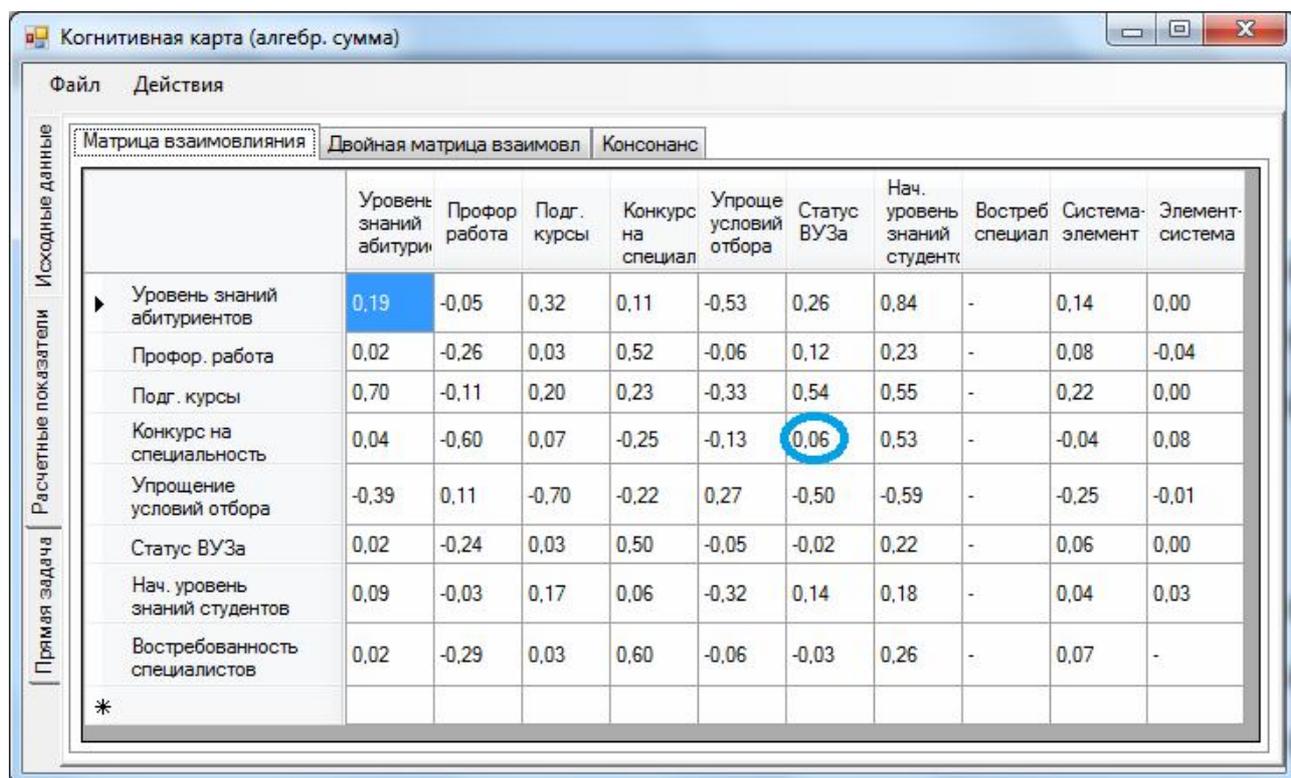


Рис. 6. Матрица взаимовлияния сильно-связной когнитивной карты, рассчитанная по предложенному алгоритму.

Когнитивная карта (Силов)

Файл Действия

Матрица взаимовлияния Двойная матрица взаимовл Консонанс

	Уровень знаний абитури	Профор работа	Подг. курсы	Конкурс на специал	Упроще условий отбора	Статус ВУЗа	Нач. уровень знаний студент	Востреб специал	Система-элемент	Элемент-система
Уровень знаний абитуриентов	1,00	0,54	0,99	0,54	0,98	0,94	0,97	-	0,75	0,77
Профор. работа	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	-	0,47	0,54
Подг. курсы	0,98	0,54	0,92	0,54	0,92	0,94	0,87	-	0,72	0,75
Конкурс на специальность	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,07	0,54	-	0,41	0,54
Упрощение условий отбора	0,99	0,54	0,98	0,54	0,92	0,94	0,88	-	0,72	0,75
Статус ВУЗа	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,07	0,54	-	0,41	0,56
Нач. уровень знаний студентов	1,00	0,54	0,99	0,54	0,98	0,94	0,88	-	0,73	0,72
Востребованность специалистов	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,07	0,54	-	0,41	-
►*										

Исходные данные
Расчетные показатели
Прямая задача

Рис. 7. Матрица консонанса сильно-связной когнитивной карты, рассчитанная по алгоритму Силова.

Когнитивная карта (алгебр. сумма)

Файл Действия

Матрица взаимовлияния Двойная матрица взаимовл Консонанс

	Уровень знаний абитури	Профор работа	Подг. курсы	Конкурс на специал	Упроще условий отбора	Статус ВУЗа	Нач. уровень знаний студент	Востреб специал	Система-элемент	Элемент-система
► Уровень знаний абитуриентов	1,00	1,00	1,00	0,68	1,00	0,98	0,98	-	0,83	0,92
Профор. работа	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,88	1,00
Подг. курсы	1,00	1,00	0,98	0,67	0,98	0,97	0,94	-	0,82	0,92
Конкурс на специальность	1,00	1,00	1,00	0,83	1,00	0,09	1,00	-	0,74	0,73
Упрощение условий отбора	1,00	1,00	1,00	0,66	0,97	0,96	0,94	-	0,82	0,92
Статус ВУЗа	0,68	1,00	0,68	0,68	0,70	0,00	0,67	-	0,55	0,62
Нач. уровень знаний студентов	1,00	1,00	1,00	0,69	1,00	0,97	0,95	-	0,83	0,89
Востребованность специалистов	0,68	1,00	0,68	0,66	0,68	0,00	0,65	-	0,54	-
*										

Исходные данные
Расчетные показатели
Прямая задача

Рис. 8. Матрица консонанса сильно-связной когнитивной карты, рассчитанная по предложенному алгоритму.

слабо-связная и сильно-связная. Карты состоят из одинаковых наборов концептов, но отличаются по количеству связей между концептами (см. рис. 1, 2). Коэффициент запаздывания влияния был принят равным 0,8. На рис. 3–4 и 5–6 представлены полученные матрицы взаимовлияния, на рис. 7–8 – матрицы консонанса для сильно-связной когнитивной карты.

Результаты и обсуждение

Как и ожидалось, для слабо-связной когнитивной карты результаты вычислений по алгоритму Силова и по предложенному алгоритму слабо отличаются (см. рис. 3 и 4). Максимальное отличие составляет -0,06 для концептов Подготовительные курсы (причина) и Упрощение условий отбора (следствие).

В то же время для сильно-связной когнитивной карты матрицы взаимовлияний различаются ненамного сильнее (см. рис. 5 и 6). Максимальное отличие составляет -0,19 для концептов Упрощение условий отбора (причина) и Начальный уровень знаний студентов (следствие).

Рассмотрев влияние концепта Конкурс на специальность на Статус ВУЗа, нами получено, что итоговое влияние по алгоритму Силова является отрицательным (-0,6), а по предложенному алгоритму – положительным (0,6). Это объясняется тем, что положительных причинно-следственных путей между этими концептами несколько (4→7→5→6, 4→7→5→3→6 и т.д.), а отрицательный только один (4→2→6). А так как отрицательный путь самый короткий и имеет самый большой вес, то уменьшив значение коэффициента запаздывания влияния до 0,7, по предложенному алгоритму получаем отрицательное итоговое влияние. Это говорит о том, что уровень доверия полученному значению итогового влияния концепта Конкурс на специальность на Статус ВУЗа – низкий, на что и указывает малое значение консонанса (0,09, см. рис. 8).

Выводы

Предложен алгоритм для вычисления матрицы итоговых взаимовлияний когнитивной карты. В данном алгоритме в отличие от используемого на настоящий момент алгоритма Силова учитываются все причинно-следственные пути между концептами и длина причинно-следственного пути для расчета веса влияния, что позволяет лучше отобразить структуру когнитивной карты. Планируется опробовать алгоритм в рамках приемной кампании УГТУ 2013 г., для чего необходимо будет дополнить разработанную программу функциями расчета прямой и обратной задачи когнитивного моделирования.

Литература

1. Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Марковский А.В. Анализ влияний при управлении слабо структурированными ситуациями на основе когнитивных карт // Человеческий фактор в управлении. М.: КомКнига, 2006.
2. Силлов В.В. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.
3. Чистоклетов Н.Ю. Управление качеством инновационной деятельности ВУЗа в научной сфере: автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.02.23. Брянск, 2008. 20 с.
4. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам/ Пер. с англ. А.М. Раппопорта, С.И. Травкина. Под ред. А. И. Теймана. М.: Наука, 1986. 496 с.
5. Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Марковский А.В. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт// Человеческий фактор в управлении. М.: КомКнига, 2006.
6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление/ Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 798 с.

Статья поступила в редакцию 10.05.2012.

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ БИОЛОГИЯ–НАУКА XXI ВЕКА

24 мая 2012 г. в Российском государственном университете им. Г.В. Плеханова состоялась Международная молодежная конференция «Биология – наука XXI века». Организаторами ее выступили Институт биоэкономики РЭУ им. Г.В. Плеханова и Общество биотехнологов России им. Ю.А. Овчинникова. Финансовую и организационную поддержку оказало Министерство образования и науки РФ.

В современных условиях формирования инновационной экономики в России актуальность темы конференции не вызывает никакого сомнения, чем и объясняется широкий отклик на ее проведение среди молодых ученых, специалистов-биологов и биотехнологов. В сжатые сроки подготовки мероприятия организаторы получили более 1500 писем от заинтересованных лиц, высказавшихся в поддержку конференции. Всего в работе приняли участие (учитывая очную и заочную формы) свыше 800 чел. Молодые ученые в процентном отношении составили более 80. Международный уровень конференции обеспечивался участием специалистов из Австрии, Вьетнама, Англии, Финляндии, Беларуси, Украины, Азербайджана, Казахстана, Узбекистана и др.

С приветствием к участникам обратились Председатель Комитета ГД РФ по науке и наукоемким технологиям академик РАН и РАНН В.А. Черешнев, ректор РЭУ им. Г.В. Плеханова профессор В.И. Гришин.

В пленарной части конференции прозвучали выступления ведущих специалистов в области биологии и биотехнологии, системного анализа и компьютерного моделирования: проф. Р.Г.Василова (директора НИИ биоэкономики Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, президента Общества биотехнологов России им. Ю.А.Овчинникова), проф. Г.Г.Малинецкого (заместителя директора Института прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН), проф. А.В.Чемериса (заместителя директора Института биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН), д.б.н. Т.В.Наседкиной (Институт молекулярной биологии им. В.А.Энгельгардта РАН), проф. А.К.Гапоненко (Институт биологии развития им. Н.К.Кольцова РАН) и др.

В докладах были отражены не только актуальные проблемы и тренды современного развития «наук о жизни» в контексте биологии и биотехнологии, но и отмечено особое значение явления, которому пока еще не уделяется должного внимания – высокой степени интеграции, научного и отраслевого синергизма, проявляющихся как главный манифестный признак современного инновационного процесса и диктующих необходимость формирования общей коммуникативной научной среды, которая могла бы обеспечить свободный обмен идеями и информацией, эффективное междисциплинарное сотрудничество и взаимное обогащение знаниями, подходами, технологиями.

Во время работы пленарной сессии осуществлялась прямая (онлайн) Интернет-трансляция, позволившая всем желающим принять участие дистанционно.

Программой конференции во второй части было предусмотрено проведение двух параллельных секций: «Фундаментальная биология и биотехнология. Биомедицина и биофармацевтика» и «Биология растений и агробиотехнология. Биоиндустрия и биоэнергетика». Перед участниками конференции в каждой секции выступили свыше 15 докладчиков, которые оценили состояние и научный уровень той области знаний, в которой они работают, отметили основные проблемы и открывающиеся возможности, представили результаты своей научной деятельности. В завершение работы секций их участникам была предоставлена возможность высказаться в формате 5-минутного фиксированного выступления.

Дополнительный объем информации, отражающей мнение профессионального сообщества по поводу состояния и путей развития биологии и биотехнологии в России, ожидается получить на основании анализа результатов анкетирования, проведенного среди участников конференции.

Работа завершилась подведением итогов, во время которой в неформальной и теплой атмосфере участники отметили высокий уровень конференции, выразили благодарность за хорошую организацию, интересную и насыщенную программу. В заключение была проведена церемония вручения сертификатов участникам конференции и благодарностей – докладчикам.

В настоящее время по итогам работы готовится к печати Сборник материалов, в котором будет опубликовано свыше 600 тезисов участников конференции.

25 мая 2012 г.

*Общество биотехнологов России им. Ю.А. Овчинникова
+7 (495) 648-0913 obr@biosinfo.ru*

www.biosinfo.ru

РЕСПУБЛИКА КОМИ БЕРЕТ КУРС НА РАЗВИТИЕ BIOTEХНОЛОГИИ

На заседании Межведомственной комиссии по развитию науки и инновационной деятельности при Экономическом совете Республики Коми, состоявшемся 4 июля 2012 г., под председательством заместителя Главы Республики Коми, министра финансов В.А. Тукмакова, рассматривался вопрос о развитии биотехнологии в Республике Коми. Обсуждение этой проблемы в нашей республике на столь высоком уровне состоялось не впервые. В конце 1980-х гг. в Коми АССР рассматривалось предложение Министерства медицинской и биологической промышленности СССР о строительстве в Айкинском промышленном узле крупного биотехнологического производства по получению кормового белка на природном газе – гаприне. Однако из-за ухудшающейся экономической обстановки в стране и некоторыми нерешенными экологическими проблемами, связанными с производством микробиологического белка, эти планы не были осуществлены. В те же годы в Коми научном центре появились первые исследования в области биотехнологии, как самостоятельного научного направления. В настоящее время биотехнологические исследования активно ведутся в трех наших институтах – биологии, физиологии и химии Коми НЦ УрО РАН.

Нынешнее заседание стало следствием реализации Государственной координационной программы развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 г. – «БИО 2020». Еще в 2011 г. Председателем Правительства РФ было дано прямое поручение профильным министерствам и ведомствам обеспечить совместно с федеральными органами, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации и организациями реализацию этой Программы.

Открывая заседание, В.А. Тукмаков отметил, что Республика Коми имеет необходимый потенциал для развития этого инновационного направления и может внести свой вклад в достижение стратегических целей Программы.

С докладами выступили президент Общества биотехнологов России профессор Р.Г. Васильев, депутат законодательного собрания Кировской области, президент некоммерческого партнерства «Биотехнологический кластер Кировской области» В.Н. Туруло и заместитель председателя Коми научного центра УрО РАН, заведующий лабораторией биохимии и биотехнологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН профессор В.В. Володин.

Р.Г. Васильев отметил, что особое значение в Программе уделяется биотехнологии как фактору социально-экономического развития регионов Российской Федерации.



Р.Г. Васильев

В этой связи планируется формирование территориальных биотехнологических кластеров, разработка региональных программ развития биотехнологии. Республика Коми, располагающая обширным биоресурсным потенциалом, необходимыми кадрами и технологиями, имеет все предпосылки для успешного развития биотехнологии как основы современной инновационной экономики.

О реальных достижениях в области биотехнологии в Кировской области рассказал В.Н. Туруло. Он отметил, что биотехнологический кластер создан на инициативной основе и включает в себя разнородные предприятия, объединенные технологическими процессами в рамках единой экономической стратегии путем интеграции имеющихся материальных и нематериальных активов ее членов. Среди участников кластера не только кировские предприятия, но и предприятия и организации из других регионов России, Западной Европы и США.

В Республике Коми к основным направлениям деятельности кластера относятся биоэнергетика (производство биодизеля, биоэтанола, биогаза, сингаза), сельское и лесное хозяйство (переработка биомассы, здоровье животных и безопасность растений), экология и здоровье человека (чистота воды, сбалансированное питание, безопасность жизнедеятельности, утилизация органических отходов). Кроме действующих предприятий в рамках кластера создаются три площадки по масштабированию и тиражированию инновационной продукции: в г. Луза – лесные биотехнологии, где совместно с Институтом химии Коми НЦ УрО РАН планируется реализация проекта по эффективному использованию лесных ресурсов; в пос. Кикнур – сельскохозяйственные биотехнологии; в пос. Левинцы – микробиология, фармацевтика, ветеринария.

В.В. Володин подчеркнул, что в республике главным приоритетом в развитии биотехнологии должно стать всемерное развитие ориентированных фундаментальных исследований, проводимых в институтах Коми научного центра УрО РАН, НИИ сельского хозяйства Республики Коми и вузах республики, как основы создания инновационных проектов и продуктов, конкурентоспособных на внутреннем и международном рынках. В этих целях первостепенное значение должно быть уделено



Слева направо: А.В. Черноусов, В.А. Тукмаков, Г.И. Жукова

развитию материально-технической базы академической науки, в частности, решению вопроса строительства лабораторного корпуса биотехнологии в г.Сыктывкаре и инновационно-технологического центра бионанотехнологий в пос. Еля-ты Сыктывдинского р-на. Важнейшими направлениями развития биотехнологии являются: 1) ботаническое ресурсоведение полезных растений флоры европейского Северо-Востока России; 2) биоконверсия целлюлозосодержащих отходов лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности; 3) лесохимические технологии; 4) биотехнология биологически активных соединений; новые адаптогены и иммуномодуляторы; 5) биоремедиация нефтезагрязненных почв и водных объектов; 6) биомедицинские технологии обеспечения качества жизни человека на Севере; 7) агро-биотехнологии лекарственных, кормовых и других нетрадиционных сельскохозяйственных культур в условиях Севера; 8) использование современных методов в селекции сельскохозяйственных животных и рыбоводстве.

Благодаря сочетанию фундаментальных и прикладных исследований некоторые разработки доведены до стадии внедрения: 1) ферментативный гидролиз целлюлозы с целью получения ферментных препаратов, глюкозы и биотоплива как альтернатива кислотному гидролизу; 2) производство биологически активных добавок адаптогенного действия из растительного сырья; 3) масштабирование производства средства для защиты растений «Вэрва»; 4) ветеринарные технологии по сохранению высокопродуктивных сельскохозяйственных животных; 5) полисахариды растений и клеточных культур, обладающие иммуномодулирующим и противовоспалительным действием.

Развитие биотехнологии невозможно без подготовки высококвалифицированных кадров. В аспирантуре институтов биологии, физиологии и химии Коми НЦ УрО РАН открыты специальности «Биотехнология», «Биологические ресурсы», «Органическая химия», «Биоорганическая химия» и др. По биотехнологической направленности выполняются курсовые и дипломные работы студентов СыктГУ и Сыктывкарского лесного института. В.В.Володин поднял вопрос о необходимости открытия в будущем специальности «Биотехнология» в рамках бакалавриата и магистратуры в Сыктывкарском государственном университете и Сыктывкарском лесном институте.

Заслуживает внимания инициатива Коми научного центра УрО РАН, Министерства образования РК и Коми республиканского агропромышленного техникума по созданию совместного образовательного Ресурсного центра для подготовки специалистов среднего звена, владеющих знаниями и навыками современных агро-биотехнологий. Для развития этого направления предполагается использовать инновационные площадки Вильгортской экспериментальной биологической станции Коми научного центра и Научно-исследовательского института сельского хозяйства Республики Коми, а также опыт Коми научного центра совместно с норвежскими и финскими исследователями по проекту Международной программы «Баренц-секретариат» «Растения региона Баренцева моря – природный источник для улучшения здоровья и развития бизнеса», который, кроме чисто научно-технологических целей по выращиванию и переработке ценных растений-адаптогенов, предполагал и формирование условий создания новых рабочих мест, в частности, специализированных фермерских хозяйств по выращиванию лекарственного растительного сырья.

Участники заседания были единодушны в оценке перспектив развития биотехнологии в Республике Коми. По итогам заседания создана рабочая группа, в состав которой вошли представители законодательной и исполнительной власти, ведущие ученые и специалисты академической, сельскохозяйственной и вузовской наук, предприниматели. Рабочей группе поручено изучить опыт создания и функционирования биотехнологических кластеров в регионах Российской Федерации, прежде всего в Республике Татарстан и Кировской области, разработать и представить в Правительство Республики Коми проект концепции создания в республике биотехнологического кластера.

редколлегия

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА И АРКТИКИ

28–30 июня 2012 г. в Институте социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН состоялся Третий Всероссийский научный семинар «Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2012». В его работе приняли участие ученые из Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН (Магадан), Научно-исследовательского института региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (Якутск), Института экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск), Института экономики УрО РАН (Екатеринбург), Института экономических проблем Кольского НЦ РАН (Апатиты), Отдела экономических исследований РАН и Объединенного института высоких температур РАН (Москва), Воркутинского горного института, Ухтинского государственного технического университета, Сыктывкарского государственного университета, Сыктывкарского лесного института, Института языка, литературы и истории и Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН.

В соответствии с программой семинара были проведены пленарное заседание и шесть «сквозных» научных сессий:

- Человеческий и трудовой потенциал северных регионов;
- Минерально-сырьевой и топливный потенциал северных регионов;
- Лесной сектор экономики и социальная экология;
- Условия устойчивого функционирования сельского хозяйства на Севере;
- Проблемы функционирования и развития транспортных систем Севера;
- Экономический рост и инновационная экономика.

Всего было представлено и обсуждено 47 докладов. Рассмотрены вопросы формирования и развития северной тематики научно-исследовательских работ в институтах РАН (В.Н. Лаженцев), проблемы пространственного развития северных территорий (Т.Е. Дмитриева), принципы устойчивого развития северных регионов (Г.А. Князева), направления обеспечения устойчивого развития лесного сектора экономики (Н.М. Большаков, Л.В. Иванова, И.В. Харионовская, А.С. Хозяинов), аграрного производства (В.А. Иванов, И.С. Мальцева) и сельских территорий зоны Севера (В.В. Терентьев), вопросы социальной экологии, экологизации промышленных и сельскохозяйственных производств и совершенствования государственного контроля и надзора в сфере охраны окружающей среды (А.Г. Шеломенцев, Г.Б. Мелентьев, А.Л. Рейшахрит, Г.Н. Харитонова), необходимость и перспективы реструктуризации экономики старопромышленных регионов ресурсной специализации и инновационные подходы к управлению северной экономикой (Н.В. Гальцева, В.А. Цукерман), стратегии освоения минерально-сырьевых и топливных ресурсов северных регионов (И.Г. Бурцева, О.В. Бурый, Г.П. Почивалова), механизмы государственно-частного партнерства в стратегических северных мегапроектах (И.А. Вижина), проблемы функционирования и развития транспортных систем Севера (В.А. Андрианов, В.В. Брызгалов, Э.А. Куратова), повышения автотранспортной доступности населения и эффективности пассажирских перевозок (П.А. Малащук, А.Ю. Чемашкин, Е.Ю. Сундуков), состояние и перспективы развития человеческого и трудового потенциалов северных регионов (С.А. Сукнёва, О.А. Козлова, В.В. Фаузер) и др.

Участники семинара отметили следующие положения:

- Север и Арктика все активнее вовлекаются в тематику естественных и общественных наук. Каждая наука стремится показать положительные и негативные аспекты «северности» и способы приспособления людей, техники и технологий к экстремальным и сложным природно-климатическим условиям.

- Демографы и социологи соизмеряют естественно-исторический путь развития народонаселения северных и арктических территорий с возможностями искусственного регулирования миграционных потоков.

- Экономисты стремятся показать направления создания хозяйственной основы для жизни укрупненного на Севере населения, оценить баланс положительной по ресурсам и отрицательной по условиям ренты.

- Географы нацелены на разработку новых методов территориальной организации хозяйства на геосистемной основе.

- Научные работники, связанные с изучением и внедрением инновационных технологий, особое внимание обращают на проблемы «техники в современном исполнении», надежности функционирования энергетических и транспортных систем, использования техногенных отходов, формирования сетевых структур производства, здравоохранения, образования и других социальных и научно-технических услуг, развития дистанционного управления.

- Комплексные проблемы устойчивого развития северных и арктических территорий решаются на основе междисциплинарного синтеза. При этом приоритетное значение придается природным геосистемам и их экологическим функциям. Это предполагает преодоление экономического детерминизма и возвышение социальных факторов развития. Природа и природные ресурсы включаются как базовый элемент хозяйственных систем всех уровней их организации. В основании каждого уровня ле-

жат, соответственно, домохозяйства, предприятия, территориальные комплексы, мезо- и макрорегионы. Устройство домохозяйств имеет особое значение для устойчивого развития сельских территорий.

- Из научно-аналитических материалов, представленных по Архангельской, Магаданской и Мурманской областям, республикам Саха (Якутия) и Коми, можно сделать вывод, что северные регионы со сложившейся в послевоенное время структурой экономики на основе традиционных промышленных технологий нуждаются в существенной реконструкции. Установление специфически северного типа хозяйства соответствует представлениям науки о новой индустриализации, постиндустриальном развитии, формировании новых территориальных общностей людей на основе сетевых социальных полиэтнических структур.

- Пример Севера характерен в раскрытии основного содержания проблемы рационального природопользования, а именно – фиксации не однозначности выбора методов учета и оценки природных ресурсов как национального богатства, а единичного месторождения полезных ископаемых, лесных участков, водных объектов и т.п. – как арендуемого юридическими лицами общественного основного фонда.

- Контроль и надзор в сфере природопользования и охраны окружающей среды в настоящее время характеризуются отсутствием системной организации. Органы федерального и регионального управления недостаточно полно выполняют функции государства как собственника, неправомерно перепоручая эту роль частным предприятиям.

- Государственно-частное партнерство предполагает ответственность обеих сторон перед обществом за рациональное использование национального богатства и социально справедливое распределение получаемых от него доходов. Лидирующая роль государства должна быть обозначена также в партнерстве по поводу формирования и реализации стратегических проектов развития производительных сил Севера, Сибири и Дальнего Востока.

В завершение работы семинара участникам была организована экскурсия в с. Ыб с посещением Финно-угорского этнокультурного парка и местного краеведческого музея.

*Оргкомитет семинара
Сыктывкар, июнь 2012 г.*



ЮРИЙ СЕМЕНОВИЧ ОВОДОВ



28 августа 2012 г. исполнилось 75 лет одному из крупнейших специалистов в области биоорганической химии и молекулярной иммунологии, автору многих основополагающих исследований, талантливому организатору науки, действительному члену Российской академии наук, директору Института физиологии Коми НЦ УрО РАН **Юрию Семеновичу Оводову**.

Он родился 28 августа 1937 года в г. Харькове, УССР. Его отец, Оводов Семен Иванович, офицер Военно-воздушных сил Советской Армии, во время Великой Отечественной войны прошел боевой путь от Ленинграда до Берлина.

В жизни Ю.С.Оводову очень повезло с учителями. Уже в школьные годы в Ярославле его привлек к занятиям химией выдающийся педагог, проф. В.М.Власов, руководитель химического кружка во Дворце пионеров, из которого впоследствии вышли три академика и 18 профессоров. Во время обучения на химическом факультете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова его учителями были чл.-корр. РАН Р.М.Хомутов и проф. А.Н.Кост в области органического синтеза, академики А.Н.Несмеянов и О.А.Реутов в области теоретической органической химии.

После окончания МГУ в 1959 г. был распределен в Новосибирский институт органической химии СО АН СССР, где работал старшим лаборантом под непосредственным руководством акад. Н.Н.Ворожцова, который рекомендовал его на стажировку в Москву (1960–1962) в Институт химии природных соединений АН СССР (ныне Институт биоорганической химии РАН им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова). Здесь под руководством выдающегося ученого, академика Н.К.Кочеткова в неповторимой атмосфере научного творчества Юрий Семенович начал свою работу в области химии углеводов, подготовил и в 1963 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук.

В 1962 г. Ю.С.Оводов был направлен во Владивосток, где официально началась его научная деятельность и где он вместе с будущими акад. Г.Б.Еляковым и член-корр. РАН В.Е.Васковским внес основополагающий вклад в организацию (в 1964 г.) и развитие (1964–1994 гг.) Тихоокеанского института биоорганической химии (ТИБОХ) ДВО РАН. В 1964 г. молодой кандидат наук Ю.С.Оводов создал в новом институте лабораторию химии углеводов. В течение 20 лет он

проработал заместителем директора института по научной работе (1967–1987 гг.). С 1975 г. по 1994 г. возглавлял Отдел молекулярной иммунологии. Велика заслуга ученого в создании в 1966 г. Морской экспериментальной станции ТИБОХ и в организации на специализированных научно-исследовательских судах биохимических экспедиций в тропические районы Мирового океана.

В 1972 г. Ю.С.Оводову присуждена ученая степень доктора химических наук, в 1973 г. – ученое звание профессора по специальности «биоорганическая химия». В 1990 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1992 г. – действительным членом Российской академии наук.

В 1994 г. после переезда в г. Сыктывкар Ю.С.Оводов возглавил в Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН созданный по его инициативе Отдел молекулярной иммунологии и биотехнологии, а с 2004 г. он стал директором института.

Весь научный путь Ю.С.Оводова вместе с ним прошла его супруга Раиса Григорьевна Оводова, которая внесла неоценимый вклад в экспериментальное воплощение его идей.

Юрий Семенович – выдающийся ученый, много сделавший для познания молекулярных механизмов основных жизненных процессов. Им разработаны новые направления и методы структурной химии и иммунохимии физиологически активных углеводсодержащих биополимеров.

Ученым впервые изучено строение полисахаридов-иммуномодуляторов из морских организмов и показана их способность стимулировать выработку иммунитета к различным заболеваниям, включая вирусные инфекции и онкозаболевания. При изучении онкофетальных антигенов выявлены основные закономерности в проявлении ими иммунологических свойств, открыт новый класс соединений – онкопреципитины, которые нормализуют опухолевые клетки. В результате предложены и нашли применение новые средства иммунодиагностики злокачественных новообразований. Выполнен большой цикл работ, посвященный выяснению структуры и физиологической активности антигенов грамм-отрицательных бактерий, открытию новой группы иммунодоминантных сахаров. Впоследствии предложены современные подходы к ранней диагностике инфекционных заболеваний, разработан и нашел применение новый иммуноадъювант, значительно усиливающий действие вакцин. В итоге совместного советско-кубинского научного проекта (1974–1987 гг.), посвященного изучению химического строения и физиологической активности препаратов, выделяемых из беспозвоночных Карибского моря, под руководством Ю.С.Оводова разработаны иммунодиагностические препараты и серия иммуномодуляторов про-

тив различных заболеваний. Поистине классическими стали работы, проводимые научной школой Ю.С.Оводова в Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН по систематическому изучению пектинов, обладающих широким спектром физиологического действия и физико-химических свойств. Разработана биотехнология получения ценных пектиновых биопрепаратов.

Юрий Семенович является автором около 400 научных работ, опубликованных в ведущих отечественных и международных журналах. В числе его работ три монографии, два учебных пособия и более 30 патентов и авторских свидетельств, за что он отмечен знаком «Изобретатель СССР».

Много сил и энергии ученый отдает научно-организационной и преподавательской деятельности. Под его руководством защищено 12 докторских и 40 кандидатских диссертаций. Он является создателем научных школ: физико-химической биологии в Коми научном центре УрО РАН и биоорганической химии и молекулярной иммунологии в ДВО РАН, получивших широкое признание научной общественности. Возглавляя Всероссийский научный совет по химии и технологии переработки возобновляемого растительного сырья (1995–2005 гг.), он объединил усилия ученых различных регионов России на создание биологически активных добавок и лекарственных препаратов.

Юрий Семенович Оводов является членом Объединенных ученых советов по химии и био-

логии при Президиуме УрО РАН, членом правлений Российского общества биотехнологов им. Ю.А. Овчинникова, Всероссийского биохимического общества, Российского научного общества иммунологов, членом Американской ассоциации содействия науке, Американского химического общества, научного совета Американского биографического института и Международного Кембриджского биографического центра.

В течение многих лет Ю.С.Оводов вел подготовку студентов Сыктывкарского и Дальневосточного университетов в области биоорганической химии и молекулярной иммунологии. С 1999 г. он является директором созданного им Учебно-научного центра «Физико-химическая биология» при Сыктывкарском госуниверситете и Сыктывкарском лесном институте, с 2010 г. возглавляет магистратуру при Вятском и Сыктывкарском госуниверситетах.

Плодотворная научная и организаторская деятельность ученого отмечена высокими наградами и премиями: орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, За заслуги перед Отечеством IV степени, медалями СССР, премией Ленинского комсомола, премиями РАН им. И.И. Мечникова и Ю.А. Овчинникова, международными наградами, Почетной грамотой Республики Коми, премией Правительства Республики Коми в области научных исследований, медалью лауреата Русской академии наук и искусств.

редколлегия

ЕВГЕНИЙ ПАВЛОВИЧ КАЛИНИН



19 сентября 2012 г. исполнилось 75 лет ведущему научному сотруднику Института геологии Коми НЦ УрО РАН, кандидату геолого-минералогических наук, действительному члену Уральской академии геологических наук, члену Российского минералогического общества, лауреату премии Коми комсомола в области науки и техники, заслуженному деятелю

науки Республики Коми **Евгению Павловичу Калинин**.

Евгений Павлович сформировался как известный специалист в области петрографии, минералогии и геохимии магматических пород. Уже 52 года трудовая деятельность ученого связана с геологией и освоением недр. В 1960 г. после окончания геологического факультета Московского государственного университета он поступил на работу в Институт геологии Коми филиала АН СССР и до сегодняшнего дня трудится в alma mater.

Е.П. Калинин за время многолетних экспедиционных работ были изучены гранитоидные интрузии южной части Печорского Урала (Мань-Хамбо, Илья-Из), большей части Приполяр-

ного Урала (Торговско-Кефталькский, Хартесский, Сальнерский, Неройско-Патокский, Вангырский, Маньхобюевский, Парнукский, Народинский, Малдинский, Лапчавожский, Тынаготский) и юга Полярного Урала (Лемвинский). Им выявлены особенности петрографии, петрохимии, геохимии и рудной минерализации, связанные с интрузиями разновозрастных гранитов и их метасоматическими преобразованиями, что позволило по-новому оценить перспективы района в отношении его металлоносности. На протяжении нескольких десятилетий Е.П. Калинин занимался изучением петрологии кислых магматитов региона и их потенциальной рудоносности, он внес крупный вклад в разработку региональных проблем выявления и рационального освоения перспективных видов минерального сырья на европейском Северо-Востоке России.

Он выявил специализацию кислых магматитов на комплекс рудных и редких элементов и открыл ряд проявлений с Ta-Nb-TR минерализацией. Им впервые вычислены региональные кларки химических элементов в гранитах и риолитах севера Урала, что позволяет прогнозировать их потенциальную рудоносность при последующей гидротермально-метасоматической переработке магматитов.

Ученым впервые установлены коры выветривания линейного типа на гранитах с перспек-

тивным комплексом редкометалльной минерализации (Be, Sc, V, Ga, Zr, Nb, Ta, Sn, U).

Изучение кислых вулканитов Урала позволило оценить их как новый вид керамического сырья, а прогнозная оценка их запасов дала возможность показать, что Урал является новой провинцией фарфорового камня – природного сырья для разнообразных керамических изделий.

Исследования Е.П. Калинина стали основой прогноза рудоносности севера Урала и проведения поисковых и разведочных работ на ряд полезных ископаемых, в первую очередь редких и цветных металлов, а также на агрорудное и химическое сырье и на другие остродефицитные и стратегически важные в масштабах Российской Федерации.

Ученым проведен анализ проблем алмазности юга Республики Коми и перспективности территорий Сысольского и Коми-Пермяцкого погребенных сводов в южной части Печорского Урала.

Результаты работ Е. П. Калинина отражены в многочисленных публикациях и монографических изданиях, востребованных специалистами в области петрологии и рудогенеза Урала, а также в связи с проблемами комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов. Список его научных трудов насчитывает более 300 работ, в том числе восемь монографий (в соавторстве). Многие публикации посвящены истории геологических исследований в Тимано-Североуральском регионе и персоналиям крупных ученых, внесших значительный вклад в научное познание геологии региона и страны.

Евгений Павлович – человек, известный не только в родном институте и в Коми научном центре, но и в г. Сыктывкаре и республике. Его знают и во многих академических и отраслевых институтах, поскольку он долгое время (с 1971 по 1985 г.) работал в должности ученого секретаря Президиума Коми филиала АН СССР. Евгений Павлович вел большую научно-организационную деятельность по координации исследований всех академических институтов филиала, курировал работу аспирантуры филиала, являлся председателем Коми республиканского Совета молодых ученых, активно участвовал в подготовке и проведении научных конференций и совещаний.

С декабря 1985 по июнь 1996 г. Е.П. Калинин работал заведующим лабораторией регио-

нальной геологии и минерально-сырьевых ресурсов в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН. Этот период деятельности посвящен разработке минерально-сырьевых проблем европейского Северо-Востока России, где он со своим коллективом занимался тщательной инвентаризацией всех месторождений и геолого-экономическим анализом сырьевой базы полезных ископаемых. Результаты этих исследований являются основой для разработки стратегии освоения минерально-сырьевого потенциала Республики Коми.

В настоящее время, работая ведущим научным сотрудником в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН, ученый занимается главным образом проблемами геолого-экономическим оценкой минерально-сырьевых ресурсов Тимано-Североуральского региона по комплексу рудных и нерудных полезных ископаемых.

Е.П. Калинин и сегодня ведет большую научно-организационную, научно-просветительскую и педагогическую работу – в должности доцента преподает на кафедре геологии Сыктывкарского государственного университета, проводит экскурсии и лекции в музее Института геологии, многие годы являлся членом Ученого совета, председателем экспертной комиссии института. Евгений Павлович известен научной общественности как видный ученый и популярный публицист (лекции, статьи в прессе, выступления по радио и телевидению).

За выдающиеся заслуги в научной, научно-организационной и общественной деятельности Е.П.Калинину присуждена премия Коми комсомола в области науки и техники (1972), присвоено почетное звание «Заслуженного деятеля науки Республики Коми» (1994), он награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (1998), медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» I степени (2006), Знаком отличия «За безупречную службу Республике Коми» (2011).

Широта научных интересов, умение видеть перспективы исследований, понимание прикладных аспектов и путей их реализации, организаторские способности – все это является основным фактором успеха ученого на поприще научного творчества. Желаем Вам, дорогой Евгений Павлович, крепкого здоровья, дальнейшей плодотворной работы, полной новых научных идей и планов!

редколлегия

ЕВГЕНИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ПИМЕНОВ



5 июля 2012 г. исполнилось 60 лет известному ученому в области микробиологии, биотехнологии, члену-корреспонденту РАН **Евгению Васильевичу Пименову**.

Евгений Васильевич принимал участие в разработке концепции микробиологической безопасности Российской Федерации, сформированы методологические подходы к разработке экиобиопре-

паратов на основе микроорганизмов – биодеструкторов углеводов нефти, разработаны тест-системы с использованием полимеразной цепной реакции для выявления возбудителей особо опасных инфекций и ресурсосберегающие биотехнологии для производства вакцинных препаратов; внедрена в практику здравоохранения и ветеринарии экологически чистая система аэрозольной дезинфекции. Всесторонне изучены механизмы переноса кислорода микроорганизмам наноразмерными носителями в жидких питательных средах и роль эритроцитов в патогенезе опасных инфекционных заболеваний.

В настоящее время исследования Е.В. Пименова вносят весомый вклад в развитие нового перспективного научного направления – индивидуальная фармакология и направленный транспорт физиологически активных веществ с использованием эритроцитов.

Результаты научных достижений ученого опубликованы в 160 научных трудах; получено 10 авторских свидетельств и 21 патент на изобретение. Является автором международного научного открытия "Легионеллезный бактериофаг НИИМ".

Е.В. Пименов – член Совета Российского фонда фундаментальных исследований. Руководит региональным представительством Нанотехнологического общества России в Кировской области, член совета по биотехнологии при Правительстве Кировской области.

Многие годы занимается преподавательской деятельностью в Вятской государственной сельскохозяйственной академии, профессор кафедры диагностики, терапии и фармакологии. Являлся руководителем двух диссертационных

советов по защите докторских диссертаций. Под его руководством подготовлено 15 докторов и кандидатов наук.

Заслуги Е.В. Пименова отмечены почетным званием "Заслуженный специалист Вооруженных Сил СССР", является лауреатом государственной премии СССР в области науки и техники, лауреатом премии Правительства Российской Федерации, лауреатом Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники. Евгений Васильевич – почетный доктор Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина, награжден орденом Почета и 9 медалями, является почетным работником высшего, профессионального образования Российской Федерации.

Евгения Васильевича коллеги ценят за чуткость, жизнерадостность и огромное личное обаяние.

Желаем юбиляру крепкого здоровья, неиссякаемой энергии, успехов в работе и личного счастья.

редколлегия

ТАТЬЯНА ФЕДОРОВНА ВАСИЛЕНКО



8 июля 2012 г. исполнилось 60 лет известному ученому в области физиологии продуктивных животных, заведующей лабораторией физиологии жвачных животных Института физиологии Коми НЦ УрО РАН, доктору биологических наук, старшему научному сотруднику **Татьяне Федоровне Василенко**.

Т.Ф. Василенко начала работать в Коми научном центре Уральского отделения РАН (г.Сыктывкар) в 1981 г. после защиты (1980 г.) диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук в Ленинградском государственном университете. В 2008 г. она успешно защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук в специализированном совете при ФГОУ ВПО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина».

Татьяна Федоровна Василенко является автором 120 научных работ, в том числе двух монографий и 14 патентов Российской Федерации. Она внесла значительный вклад в установление закономерностей размножения жвачных животных и особенностей становления их репродуктивной функции в ходе онтогенеза, в выявление механизмов метаболического обеспечения воспроизводства животных. Татьяной Федоровной разработаны способы определения функционального состояния яичников у коров разного возраста, которые были успешно апробированы в хозяйствах Республики Коми (совхоз «Сыктывкарский», ОАО «Пригородный», СПК «ВажКу-

рья»). В настоящее время они используются на опытной ферме филиала Коми НЦ УрО РАН для определения и прогнозирования состояния репродуктивного здоровья коров, установления причин их бесплодия. Т.Ф. Василенко предложены способы коррекции и оптимизации воспроизводства поголовья коров с включением в корм биологически активных добавок. Препараты, способствующие более полной реализации наследственного потенциала, увеличению сроков и эффективности хозяйственного использования коров, получению от них экологически чистой продукции, апробированы в племенных хозяйствах Республики Коми (ОАО «Пригородный», опытная ферма филиала Коми НЦ УрО РАН). Многолетние исследования ученого открывают новые перспективы для племенного животноводства и повышения продуктивности сельскохозяйственных животных, являются толчком для развития фундаментальных исследований в области физиологии и биохимии воспроизводительной функции коров с целью оптимизации их репродуктивного здоровья и достижения высокой молочной продуктивности.

Т.Ф. Василенко принимает активное участие в научно-практических конференциях и семинарах, организуемых для специалистов сельского хозяйства Республики Коми. В 2008 г. по итогам республиканского конкурса «Инновации в экономике, управлении и образовании Республики Коми» награждена Дипломом за лучший инновационный проект в сельском хозяйстве, а в 2011 г. признана победителем в номинации «За высокий изобретательский уровень». Инновационные разработки Татьяны Федоровны удостоены золотой медали Международного салона «Архимед» (г.Москва, 2011 г.), отмечены медалями на

выставках «Биоиндустрия – 2011» (г. Санкт-Петербург) и «Мир биотехнологии – 2012» (г. Москва). Успехом и вниманием специалистов сопровождалось экспонирование разработок Т.Ф.Василенко на международных выставках в Китае (г.Шеньян, 2009 г.; г. Харбин, 2010 г., 2012 г.).

Т.Ф.Василенко награждена Почетными грамотами УрО РАН (1999 г.), Российской академии наук и профсоюза работников РАН (2001 г.), Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Коми (2009 г.), Республики Коми (2012 г.).

редколлегия

ИРИНА МИХАЙЛОВНА РОЩЕВСКАЯ



4 июля 2012 г. исполнилось 50 лет известному исследователю в области эволюционной и сравнительной электрокардиологии, доктору биологических наук, профессору, члену-корреспонденту РАН **Ирине Михайловне Рощевской**.

Экспериментальные исследования Ирины Михайловны посвящены выявлению закономерностей струк-

турно-функциональной организации миокарда у позвоночных животных разных классов. Установлены физиологические механизмы формирования электрического поля сердца в зависимости от характера деполяризации предсердий и желудочков, восстановления возбудимости желудочков, архитектоники рабочего миокарда и проводящей системы желудочков сердца у животных с разными типами активации. Проведены экспериментальные исследования формирования кардиоэлектрического поля у теплокровных животных и человека. Выявлены значимые критерии неинвазивной оценки функционального состояния миокарда по кардиоэлектрическому полю при действии фармакологических препаратов, гипертензии и гипертрофии, при искусственных эктопических очагах возбуждения, инфаркта миокарда различной локализации. Выявлены закономерности формирования электрического поля сердца при создании экспериментальной модели ишемии и реваскуляризации, ишемии на фоне гипертрофии. Установлено определяющее влияние термофильности рептилий и характера реакции к температуре на динамику частоты сердечных сокращений при нагревании. Для создания трехмерной модели сердца исследована взаимосвязь морфофункциональных характеристик с архитектурой мышечных волокон левого желудочка сердца свиньи, показавшая региональную неоднородность миокарда. Предложен метод кардиоэлектротопографии для оценки функционального состояния миокарда при физи-

ческой нагрузке на основе выявленных изменений амплитудно-временных параметров электрического поля сердца на поверхности грудной клетки спортсменов и нетренированных людей. Выявлены закономерности формирования электрического поля сердца у незрелорождающих животных с разными типами деполяризации желудочков сердца в период раннего постнатального онтогенеза.

И.М.Рощевская является автором и соавтором более 250 научных публикаций, членом редколлегии журналов «Вестник Уральской академической медицинской науки», «Известия Коми научного центра УрО РАН», «Здоровье человека на Севере».

Исследования Ирины Михайловны имеют международный приоритет. Она активно принимает участие и выступает с докладами на международных, всероссийских, стран СНГ, региональных конференциях и съездах, школах; неоднократно являлась ответственным секретарем международных и всероссийских симпозиумов и конгрессов.

Ирина Михайловна щедро делится своими знаниями и опытом с молодыми специалистами. Под ее руководством защищено шесть кандидатских диссертаций. Многие годы ведет педагогическую деятельность в университетах г.Сыктывкара и г.Ухты.

Заслуги И.М. Рощевской отмечены Почетными грамотами Уральского отделения Российской академии наук, Республики Коми. За цикл работ «Эволюционная электрокардиология: хронотопография возбуждения сердца позвоночных» И.М.Рощевской в составе авторского коллектива в 2004 г. была присуждена Государственная премия Российской Федерации в области науки и техники.

Коллеги любят, уважают и ценят Ирину Михайловну как отзывчивого, обаятельного человека, профессионала в своем деле.

Сердечно поздравляем И.М.Рощевскую с юбилеем и желаем крепкого здоровья, новых творческих успехов, семейного благополучия.

редколлегия

ПОТЕРИ



17 сентября 2012 г. на 77-м году ушел из жизни выдающийся российский ученый, академик Российской академии наук

НИКОЛАЙ ПАВЛОВИЧ ЮШКИН

Николай Павлович Юшкин родился в деревне Ивангора Калининской области. Окончил Кировский горно-химический техникум (1955), геологический факультет (заочно) Ташкентского политехнического института (1965). В 1968 г. защитил докторскую диссертацию в Ленинградском горном институте. Профессор с 1981 г. В 1987 г. избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1991 г. – академиком Российской академии наук. С 1956 по 1961 гг. работал в геологоразведочных партиях Средней Азии, проводил поиски и разведку серных месторождений, минералогические исследования. С 1961 г. – в Институте геологии Коми филиала АН СССР (Коми научного центра УрО РАН) прошел путь от старшего лаборанта до директора института, который возглавлял в 1985–2008 гг. С 2008 г. – советник РАН, главный научный сотрудник, руководитель группы перспективных геологических и минералогических проблем Института геологии Коми НЦ УрО РАН, заведующий кафедрой геологии Сыктывкарского госуниверситета.

Исследовательский диапазон Н.П. Юшкина был исключительно широк и включал около трех десятков самостоятельных направлений, которые в разное время входили в сферу его деятельности, однако важнейшим и определяющим являлось изучение минералов и минерального мира во всем его многообразии. Он вел исследования в различных областях теоретической и региональной минералогии, кристаллографии, минерагении, минеральных ресурсов, истории науки. Им разработан целый ряд новых направлений теоретической и прикладной минералогии: генетико-информационная минералогия, эволюционная минералогия, топоминералогия рудных регионов, витаминералогия (минералогия жизни), минералогическая диатропика. Создана оригинальная концепция происхождения жизни, выявлены основные законы биоминеральной коэволюции, сформулированы общие теоретические концепции наноминералогии и археоминералогии.

Исследовательский диапазон Н.П. Юшкина был исключительно широк и включал около трех десятков самостоятельных направлений, которые в разное время входили в сферу его деятельности, однако важнейшим и определяющим являлось изучение минералов и минерального мира во всем его многообразии. Он вел исследования в различных областях теоретической и региональной минералогии, кристаллографии, минерагении, минеральных ресурсов, истории науки. Им разработан целый ряд новых направлений теоретической и прикладной минералогии: генетико-информационная минералогия, эволюционная минералогия, топоминералогия рудных регионов, витаминералогия (минералогия жизни), минералогическая диатропика. Создана оригинальная концепция происхождения жизни, выявлены основные законы биоминеральной коэволюции, сформулированы общие теоретические концепции наноминералогии и археоминералогии.

Ученым опубликовано более 700 научных работ, в том числе 34 монографии, написано 360 научно-популярных и публицистических статей и книг, отредактировано 190 различных монографий, сборников и других изданий. Он являлся соавтором международного научного открытия «Закономерность пространственно-временного изменения морфологии минеральных индивидов в процессе природного кристаллообразования».

Н.П. Юшкиным внесен большой вклад в познание геологии, в развитие и освоение минерально-сырьевой базы европейского Севера России и Урала, в формирование новых отраслей горнорудной промышленности и новых производств, в обеспечение сырьевой безопасности и обороноспособности страны.

Полевые исследования, добыча геологической и минералогической информации из естественных геологических объектов всегда занимали ведущую роль в научной деятельности Н.П. Юшкина. Основные научные результаты получены в процессе многолетних экспедиционных исследований (48 полевых сезонов) в различных районах Советского Союза, России и мира.

Весьма значительное место в жизни и труде Н.П. Юшкина занимала научно-организационная, общественная и государственная деятельность. Он был членом Совета и вице-президентом Международной минералогической ассоциации, вице-президентом Российского минералогического общества, членом Бюро Отделения наук о Земле, членом Президиума Уральского отделения РАН и Президиума Коми научного центра УрО РАН, членом Национального комитета геологов РФ, Международной комиссии по истории геологических наук, почетным и действительным членом многих международных и национальных академий и научных обществ, ученых и диссертационных советов, членом коллегий министерств и комитетов, редколлегий ряда научных журналов, инициатором и главным редактором «Вестника Института геологии Коми НЦ УрО РАН», председателем Комиссии по изучению естественных производительных сил Республики Коми, председателем Коми республиканской организации общества «Знание» и др.

Николай Павлович вел большую работу по подготовке кадров, читал курсы лекций во многих университетах России и других странах, являлся организатором и бессменным заведующим базовой кафедры Сыктывкарского госуниверситета в Институте геологии, подготовившей за 15 лет около 200 специалистов – геологов. Среди учеников Н.П. Юшкина – академик, девять докторов и 35 кандидатов наук. Двое из них, А.М. Асхабов и Ю.Л. Войтеховский, возглавили крупные геологические институты Российской академии наук. Н.П. Юшкиным создана сыктывкарская минералогическая школа, получившая мировое признание.

Научные достижения Н.П. Юшкина отмечены высокими государственными наградами: орденами «За заслуги перед Отечеством» IV и III степеней, орденом Трудового Красного Знамени, многими медалями и почетными знаками. Он лауреат премии Ленинского комсомола (1968), премии Совета Министров СССР (1982), премии академика А. Е. Ферсмана (1995), Демидовской премии (1998), Государственной премии Республики Коми в области науки (2001), Уральской горной премии (2003), премии «Триумф» (2006), Золотого диплома лидера науки Европы (2007) и др. Заслуженный деятель науки РСФСР и Коми АССР, Почетный разведчик недр, Почетный гражданин города Сыктывкара, почетный профессор и инвайт-профессор ряда университетов. В честь ученого был назван юшкинитом минерал.

Добрая память о Николае Павловиче Юшкине, талантливом ученом и замечательном человеке всегда будет жить в наших сердцах.

редколлегия



12 июля 2012 г. в г. Ухте на 98-м году жизни окончила свой земной путь доктор филологических наук, профессор Ухтинского государственного технического университета, крупный российский филолог, специалист в области античной литературы

НАТАЛИЯ ВАСИЛЬЕВНА ВУЛИХ

Н.В. Вулих родилась в семье известного петербургского врача, профессора Военно-медицинской академии. В 1933 г. поступила на филологический факультет Ленинградского государственного университета. Ее учителями, а в дальнейшем коллегами, были И.М.Тронский, Я.М.Боровской, И.И.Толстой, Д.С.Лихачев, М.П.Алексеев и другие выдающиеся ученые. По окончании вуза с 1938 г. работала в родном университете ассистентом, преподавала, училась в аспирантуре. В годы Великой Отечественной войны пережила блокаду Ленинграда, с семьей была эвакуирована в г. Кемерово, где работала завучем в средней школе. После войны вернулась на работу в ЛГУ, более 30 лет преподавала на кафедре классической филологии. В 1946 г. защитила кандидатскую диссертацию по теме «Поэзия Катюлла». В 1979 г., после защиты диссертационного исследования «Мировоззрение и художественный стиль Овидия», Н.В.Вулих была присвоена ученая степень доктора филологических наук.

В этом же году, после ухода из жизни супруга, доктора физико-математических наук, профессора Бориса Захаровича Вулиха, Наталия Васильевна переехала в г. Сыктывкар, где работала на кафедре русской литературы Сыктывкарского государственного университета. С 1981 г. преподавала на кафедре иностранных языков Ухтинского индустриального института (Технического госуниверситета), куда перешла на работу по приглашению ректора Г.В. Рассохина.

Областью научных интересов Наталии Васильевны была античная литература. Она в совершенстве владела латинским, древнегреческим, немецким, французским, итальянским языками. Являлась вице-президентом Международного общества «Овидианум». Преподавала историю русской литературы во Франции и Германии. Среди ее друзей – академик Д.С.Лихачев, философ А.Ф.Лосев, немецкий академик В.Пешль. Только за время работы в Ухтинском государственном техническом университете опубликовано около 30 научных трудов. В общей сложности за годы научной деятельности Н.В.Вулих было издано более 200 работ. Среди них монографии «Овидий», «Римский классицизм: творчество Вергилия, лирика Горация», «Сады древнего Рима», «Поэзия добра и света» (о творчестве коми поэта И.А.Куратова), учебное пособие для студентов «Античная литература и культура».

В книгах Н.В.Вулих, посвященных истории античной литературы, на основе изучения новых источников был всесторонне раскрыт поэтический мир римских поэтов, выявлена взаимосвязь отечественной литературы и культуры с античными традициями. Опубликование таких исследований стало значительным событием как для Ухтинского государственного технического университета и Республики Коми, так и для российской филологической науки в целом.

Как ведущий специалист по античной литературе Н.В.Вулих приглашалась для чтения специальных курсов о творчестве Овидия в Вильнюсском, Московском и Ленинградском университетах, университетах Германии (Гейдельберг, Тюбинген). Наталия Васильевна принимала участие в международных конференциях, посвященных творчеству А.С.Пушкина, где выступала с докладами «Пушкин и античность», «Античные темы в прозе А.С.Пушкина», «А.С.Пушкин и А.А.Дельвиг». Широкий научный кругозор и эрудиция позволяли Н.В. Вулих проводить комплексные исследования, которые сочетали решение филологических проблем с их философской интерпретацией.

Трудовая и научная деятельность Н.В.Вулих отмечена нагрудным знаком «Почетный работник высшего образования», медалью Ушинского, почетными грамотами Министерства образования Российской Федерации, Министерства культуры Республики Коми, администрации г. Ухты. В 2000 г. Н.В.Вулих было присвоено почетное звание «Ухтинец века».

редколлегия

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»*

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 25 м.с.), оригинальные статьи (до 15 м.с.) и краткие сообщения (до 6 м.с.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая новизну, научную значимость и актуальность представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются.

Общие требования к оформлению рукописей

Статьи должны сопровождаться направлением научного учреждения, где была выполнена работа. В необходимых случаях должно быть приложено экспертное заключение. Организация, направляющая статью, как и автор(ы), несет ответственность за её научное содержание, достоверность и оригинальность приводимых данных. Изложение материала статьи должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть хорошо отредактирована, тщательно проверена и подписана всеми авторами (автором) с указанием (полностью) фамилии, имени, отчества, домашнего адреса, места работы, служебного и сотового телефонов и e-mail.

В редакцию подается рукопись статьи в двух экземплярах – на бумаге и на диске в редакторе WinWord под Windows. Математические статьи могут подаваться в редакторе TEX. Электронная и бумажная версии статьи должны быть идентичны. Электронный вариант рукописи может быть прислан по электронной почте на адрес редакционной коллегии: journal@presidium.komisc.ru. Текст должен быть набран на компьютере (шрифт Times New Roman, кегль 14) в одну колонку через 1,5 интервала на бумаге форматом А4. По всей статье шрифт должен быть одинаковым. Поля страниц оригинала должны быть не менее: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Объем иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должен превышать 8-10, а список литературы – 15 наименований. Количество иллюстраций в кратких сообщениях не должно превышать, соответственно, 5.

Первая страница рукописи оформляется следующим образом: в начале статьи указывается индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); затем прописными буквами печатается название статьи, которое должно быть максимально кратким (информированным) и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Ниже печатается электронный адрес для переписки. При наличии авторов из нескольких организаций необходимо арабскими цифрами указать их принадлежность. Через один полуторный интервал следует краткая аннотация (8-10 строк), в которой сжато и ясно описываются основные результаты работы. После аннотации через полуторный интервал приводятся ключевые слова (не более 6-8). Далее идут название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

Текст статьи состоит, как правило, из введения, основного текста, заключения (резюме) и списка литературы. В статье, описывающей результаты экспериментальных исследований, рекомендуется выделить разделы: «Материал и методы», «Результаты и обсуждение». Отдельно прилагаются подрисуночные подписи.

Во введении (заголовком не выделяется) в максимально лаконичной форме должны быть изложены цель, существо и новизна рассматриваемой задачи с обязательным кратким анализом данных наиболее важных и близких по смыслу работ других авторов. Однако введение не должно быть обзором литературы. В разделе «Материал и методы» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования. Единицы измерения следует приводить в Международной системе СИ. Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование, и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «Результаты и обсуждение» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой, и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

* Включен в перечень ведущих периодических изданий ВАК.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок, и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9-10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится и слово «Таблица» не пишется.

Рисунки представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисовочные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисовочных подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 рix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль – 9-10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

Фотографии представляют нескрепленными на белой глянцевой бумаге в двух экземплярах (один из них чистый, без каких-либо надписей) в конверте. Желательно обрезать их до необходимого размера репродукции, чтобы они попадали в размеры страницы. На обратной стороне (на полях) фотографий простым карандашом указываются фамилии первого автора, название статьи, порядковый номер рисунка, его верх или низ. Подрисовочные подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

Математические и химические обозначения и формулы печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (с, k, j, p, u, v, w, x, y, ψ), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные – снизу (S), а строчные – сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j («йот») и l («эль»). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Знак суммы (Σ) красным не обводится. Название неясных букв желательно написать карандашом на полях (например, «эль», «кси», «дзета», «не эль», «и», «йот»).

Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, отмечаются снизу квадратной скобкой. Необходимо также дать расшифровку всех используемых в статье параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Следует соблюдать единообразие терминов. Нумерация формул (только тех, на которые есть ссылка в тексте) дается в круглых скобках с правой стороны арабскими цифрами.

В тексте цитированную литературу приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии со следующими правилами описания. Журнальные публикации: фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи журнала, название журнала (в соответствии с рекомендованным ВИНТИ списком сокращений), год, том, выпуск (номер), страницы (первая и последняя). Книги: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, инициалы и фамилии редакторов, город, год, страницы (если ссылка не на всю книгу) или число страниц в книге. Сборники: фамилия и инициалы авторов, полные названия статьи и сборника, первая и последние страницы. Если сборник содержит материалы конференций, необходимо указать их форму (труды, доклады, материалы) и название конференции. Диссертации: фамилия и инициалы автора, полное название диссертации, на соискание какой степени, каких наук, город, институт, в котором выполнена работа, год. Ссылки на авторефераты допускаются в исключительных случаях с указанием фамилии и инициалов автора, полного названия работы, места и года защиты, общего количества страниц. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Список литературы оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

1. Иванов И.И. Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18-26.

2. *Петров П.П.* Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).

3. *Казаков К.К.* Название диссертации: Дис. «...». канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.

4. *Мартыннюк З. П.* Патент RU № 92963 на полезную модель "Фотограмметрическое средство измерений объемов круглых лесоматериалов при проведении погрузо-разгрузочных работ". Патенто-обладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

При наличии четырех авторов в списке литературы указываются все, а более четырех – только первые три, а далее пишется «и др.».

Для статей журналов, имеющих русскую и английскую версию, необходимо давать в списке литературы двойную ссылку (под одним номером), например:

1. *Иванов И.И., Петров П.П.* Название статьи // Название журнала. 2008. Т. 47. № 1. (8-18). *Ivanov I., Petrov P.* Article name // Magazine name. 2008. Т. 47. № 1. (4-15).

При несоблюдении этих перечисленных правил статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а, следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную коллегия не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 7-10 дней должен вернуть ее в редакционную коллегия или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и дискета не возвращаются.

Требования к электронной версии статьи

При подготовке материалов для журнала с использованием компьютера рекомендуются следующие программы и форматы файлов.

Текстовые редакторы: Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается с соблюдением следующих правил:

- набирать текст без принудительных переносов;
- разрядки слов не допускаются;

- уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются **в порядке их упоминания в тексте**; нумеровать следует лишь те формулы и уравнения, на которые даются ссылки в тексте;

- в числовых значениях десятичные разряды отделяются запятой;
- вставка символов **Symbol**.

Графические материалы: *Растровые рисунки* должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi (точек на дюйм) для остальных рисунков (черно-белый). Использование других форматов нежелательно.

Векторные рисунки (не диаграммы) должны предоставляться в формате программы, в которой они созданы: CorelDraw, Adobe Illustrator. Если использованная программа не является распространенной, необходимо сохранить файлы рисунков в формате Enhanced Windows Metafile (EMF) или Windows Metafile (WMF).

Диаграммы: Рекомендуется использовать Microsoft Excel, Origin для Windows (до версии 6.0).

Не рекомендуется пользоваться при работе программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:

Ответственному секретарю редакционной коллегии
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»
Надежде Валериановне Ладановой
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24,
Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 209
Тел. (8212) 24-47-79; тел, факс (8212) 24-17-46
E-mail: journal@presidium.komisc.ru.
www.izvestia.komisc.ru

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ

Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып.3(11)

Редактор Т.В.Цветкова
Компьютерный дизайн и стилистика Р.А.Микушев
Компьютерное макетирование Н.А.Сулейманова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Компьютерный набор. Подписано в печать 24.10.2012.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 18,25. Уч.-изд.л. 18. Тираж 300. Заказ № 45.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.