

# ВЕСТНИК

**МОСКОВСКОГО ГОРОДСКОГО  
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**СЕРИЯ  
«ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ»**

**№ 1 (9)**

**Издается с 2008 года  
Выходит 2 раза в год**

**Москва  
2012**

# VESTNIK

**MOSCOW CITY  
TEACHERS' TRAINING  
UNIVERSITY**

**SCIENTIFIC JOURNAL**

**NATURAL SCIENCES**

**№ 1 (9)**

**Published since 2008  
Appears Twice a Year**

**Moscow  
2012**

### **Редакционный совет:**

**Рябов В.В.** ректор ГБОУ ВПО МГПУ, доктор исторических наук, профессор, член-корреспондент РАО  
председатель

**Геворкян Е.Н.** проректор по научной работе ГБОУ ВПО МГПУ, доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАО  
заместитель председателя

**Атанасян С.Л.** проректор по учебной работе ГБОУ ВПО МГПУ, доктор педагогических наук, профессор

**Радченко О.А.** проректор по инновационной деятельности и международным связям ГБОУ ВПО МГПУ, доктор филологических наук, профессор

### **Редакционная коллегия:**

**Атанасян С.Л.** проректор по учебной работе ГБОУ ВПО МГПУ, доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор  
главный редактор

**Дмитриева В.Т.** заведующая кафедрой физической географии и геоэкологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ, кандидат географических наук, профессор  
заместитель главного редактора

**Бубнов В.А.** заведующий кафедрой естественно-научных дисциплин Института математики и информатики ГБОУ ВПО МГПУ, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии информатизации образования

**Котов В.Ю.** директор Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ, доктор химических наук, профессор

**Мапельман В.М.** заведующая кафедрой безопасности жизнедеятельности Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ, доктор философских наук, профессор, академик Российской академии естественных наук

**Суматовин С.В.** заведующий кафедрой методики преподавания биологии и общей биологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ, доктор педагогических наук, профессор

**Шульгина О.В.** заведующая кафедрой экономической географии и социальной экологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ, доктор исторических наук, кандидат географических наук, профессор

**Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.**

ISSN 2076-9091

© Московский городской педагогический университет, 2012

Есть два рода бессмыслицы: одна происходит от недостатка чувств и мыслей, заменяемого словами; другая от полноты чувств и мыслей и недостатка слов для их выражения.

*Александр Сергеевич Пушкин*

Никаким количеством экспериментов нельзя доказать теорию; но достаточно одного эксперимента, чтобы ее опровергнуть.

*Альберт Эйнштейн*

Благо, когда учение соединено с практическими занятиями, ибо эта двойственная деятельность отвлекает человека от греха.

*Талмуд*

## СОДЕРЖАНИЕ

### Актуальные проблемы естествознания

|   |    |
|---|----|
| <i>Кондратьев А.С.</i> Капельная модель образования Вселенной.....  | 9  |
| <i>Онищенко Э.В.</i> Дифракция Френеля ультразвука на зонной пластинке.....   | 15 |
| <i>Бубнов В.А.</i> Физический смысл кинетической энергии материальных тел.....  | 21 |
| <i>Кондратьев А.С.</i> О представлении уравнения неразрывности сплошной жидкости в конечно-разностной форме.....                  | 31 |
| <i>Жидкова М.Н., Котов В.Ю., Лауринавичюте В.К.</i> Ионная ассоциация в водно-глициновых растворах гексацианоферрата диквата..... | 38 |

### Науки о Земле и живой природе

|   |    |
|---|----|
| <i>Низамов А.Ж., Бовт А.Н.</i> Уравнения состояния пористых горных пород.....                                       | 44 |
| <i>Зубков Н.В., Зубкова В.М.</i> Азотные удобрения и динамика кадмия в системе «почва – растение».....              | 52 |
| <i>Едренкин И.В.</i> Интеграция признаков пространственной ориентации и яркости линии в зрительном анализаторе..... | 62 |
| <i>Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т.</i> Бинарная устойчивость водного режима почв.....                              | 71 |

### Человек и среда его обитания

|   |    |
|---|----|
| <i>Латчук В.Н., Карьёнов С.Р.</i> Комплексный подход к обеспечению безопасности образовательных учреждений..... | 80 |
|---|----|

### Естествознание в системе межнаучных связей

|  |    |
|--|----|
| <i>Вагнер Б.Б.</i> Загадки речных имен (об обманчивой «прозрачности» некоторых московских гидронимов)..... | 92 |
|--|----|

**Теория и методика естественно-научного образования**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Зимина А.И., Дорофеев М.В.</i> Изучение испарения на уроках химии с использованием цифровых лабораторий.....   | 98  |
| <i>Ховрин А.Н.</i> Понятие «обмен веществ и превращение энергии» как системообразующее в содержании раздела «Человек» курса биологии в общеобразовательной школе» ..... | 106 |
| <i>Кутузова Е.В.</i> Экзамен как способ повышения качества знаний по географии .....  | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Научная жизнь: события, дискуссии, полемика</b> ..... | 118 |
|--|-----|

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>На книжной полке</b> ..... | 120 |
|-------------------------------|-----|

|   |     |
|---|-----|
| <b>Авторы «Вестника МГПУ» серии «Естественные науки», 2012, № 1 (9)</b> ..... | 122 |
|---|-----|

|   |     |
|---|-----|
| <b>Требования к оформлению статей</b> ..... | 127 |
|---|-----|

## CONTENTS

### Current Problems of Natural Sciences

|   |    |
|---|----|
| <i>Kondratiev A.S.</i> A Drop Model of the Universe Formation.....  | 9  |
| <i>Onishchenko E.V.</i> Fresnel Ultrasonic Diffraction on the Zone Plate .....  | 15 |
| <i>Bubnov V.A.</i> Physical Sense of Kinetic Energy of a Material Body.....   | 21 |
| <i>Kondratiev A.S.</i> Presentation of the Fluid Continuity Equation<br>in a Finite Difference Form .....                           | 31 |
| <i>Zhidkova M.N., Kotov V.Yu., Laurinavichute V.K.</i> Ion Association<br>in Hexacyanoferrate Diquate Water-glycine Solutions ..... | 38 |

### Earth Sciences and Natural Sciences

|  |    |
|--|----|
| <i>Nizamov A.Zh., Bovt A.N.</i> Equations of Mushy Rocks State.....  | 44 |
| <i>Zubkov N.V., Zubkova V.M.</i> Nitrogen Fertilizers and Cadmium<br>Dynamics in the «Soil-Plant» System.....      | 52 |
| <i>Edrenkin I.V.</i> Integration of Spatial Orientation and Line-Brightness<br>Features in the Visual System ..... | 62 |
| <i>Dmitrieva V.T., Naprasnikov A.T.</i> Binary Stability of Soil<br>Water-retention .....                          | 71 |

### Human Beings and Their Environment

|  |    |
|--|----|
| <i>Latchuk V.N., Karionov C.R.</i> Complex Approach to Securing Life<br>Safety in Educational Institutions ..... | 80 |
|--|----|

### Natural Sciences in the Interdisciplinary System

|   |    |
|---|----|
| <i>Vagner B.B.</i> Mysteries of River-Names (On Deceptive «Transparency»<br>of Some Moscow Hydronyms) ..... | 92 |
|---|----|

### Theory and Methods of Natural Sciences Teaching

|   |    |
|---|----|
| <i>Zimina A.I., Dorofeev M.V.</i> Evaporation Study in the Chemistry<br>Classroom with the Use of Digital Laboratories..... | 98 |
|---|----|

---

|  |     |
|--|-----|
| <i>Khovrin A.N.</i> «Metabolism and Energy Conversion» as a Core<br>Concept in the Contents of the Unit «Human» in the Biology<br>Course at Comprehensive School ..... | 106 |
| <i>Kutuzova E.V.</i> End-of-year Examination as a Way of Improving<br>Academic Performance in Geography .....  | 111 |
| <b>Scientific Activities: Events, Discussions, Disputes</b> .....  | 118 |
| <b>On the Bookshelf</b> .....  | 120 |
| <b>MCPU Vestnik. Series «Natural Science». 2012, № 1 (9) /<br/>Authors</b> .....   | 122 |
| <b>Style Sheet</b> .....   | 127 |





## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

**А.С. Кондратьев**

### **Капельная модель образования Вселенной**

В работе предложена модель протоматерии в сингулярном состоянии в виде капли жидкости. Оценены: сила поверхностного натяжения, угловая скорость вращения и скорости движения микрокапель в начальный момент времени Большого взрыва. Предложенная модель объясняет вращение наблюдаемых объектов Вселенной и рост их скорости движения по мере удаления друг от друга.

*Ключевые слова:* Вселенная; сингулярное состояние; протоматерия; Большой взрыв; вращение и движение объектов Вселенной.

**П**редставление о Большом взрыве используется в основе большинства моделей об образовании Вселенной, в соответствии с которыми в моменты времени  $t < 0$  вся масса вещества Вселенной, которую будем называть протоматерией, находилась в сингулярном состоянии, характеризовавшемся чрезвычайно малым объемом в нуклонном масштабе и крайне большой плотностью ( $\rho = 10^{96}$  кг/м<sup>3</sup>) и температурой ( $T > 10^{13}$  К) [1, 2]. Предполагается, что собственно протоматерия представляет собой равновесную гомогенную смесь из различных, истинно элементарных частиц одного (кварков) или нескольких видов (фотоны, нейтрино, кварки, глюоны). Условно, в момент времени  $t = 0$  произошел Большой взрыв, и наблюдаемая Вселенная в моменты времени  $t > 0$  является его следствием.

В рамках традиционных физических представлений известны четыре состояния материи: газ, твердое тело, жидкость и плазма [3]. Отбрасывая, по очевидным соображениям, газ и твердое тело, назовем состояние протоматерии в моменты времени  $t < 0$  жидким. Плазменное состояние при большой плотности материи также может рассматриваться как исходное жидкое состояние протоматерии. Но плазма, по крайней мере в земных условиях, неустойчива, а жидкость, например, в условиях невесомости может пребывать неограниченно долго. Поэтому в дальнейшем используется предположение, что в исходном состоянии протоматерия представляет собой каплю жидкости.

Различное энергетическое состояние молекул жидкости внутри объема и поверхностного слоя характеризуется силой поверхностного натяжения  $\sigma$ , вследствие чего внутри капли создается избыточное давление:

$$\Delta P = 2 \sigma / R_0, \quad (1)$$

где  $R_0$  — условный радиус капли протоматерии.

Важной особенностью силы поверхностного натяжения является то, что она удерживает молекулы жидкости в отсутствии сил гравитационного притяжения, существование которых в сингулярном состоянии протоматерии не предполагается. По-видимому, из аналогичных представлений рассматривалась известная капельная модель ядра.

В рамках аналогии с жидкостью, поскольку протоматерия является композицией из нескольких истинно элементарных частиц, можно ожидать, что локальные значения величины поверхностного натяжения протоматерии могут изменяться в каких-то пределах в зависимости от конкретного состава протоматерии на данном локальном участке поверхности. То есть, возможно какие-то элементарные частицы могут играть роль, аналогичную роли поверхностно-активных веществ в обычных жидкостях, изменяя локальную величину силы поверхностного натяжения.

Из опытных данных известно, что все объекты Вселенной вращаются, причем в более отдаленные моменты времени от состояния, наблюдаемого сегодня, они вращались с большей скоростью. Если бы Большой взрыв был подобен практически точечному взрыву атомной или водородной бомбы, то ввиду сферической симметрии явления возникновение вращения всех объектов Вселенной в еще «пустой» Вселенной, без «трения», представляется неочевидным. Более логичным представляется, что сингулярное состояние характеризуется не только малым линейным размером, большой плотностью праматерии и ее температуры, но и вращением, причем угловая скорость вращения принимает крайне высокие значения. Если положить, что предельная линейная скорость на поверхности капли протоматерии ограничена скоростью света, то максимальное значение угловой скорости оценивается величиной:

$$\omega_0 = c / R_0, \quad (2)$$

то есть поскольку  $R_0$  — малая величина,  $\omega_0$  может достигать очень большого значения.

Положим, что вращение капли протоматерии, обладающей инерционной массой, происходит вокруг произвольной оси. В этом случае под действием центробежной силы микрокапли протоматерии могут отделяться от остальной части капли протоматерии. Такое отделение микрокапель будет происходить преимущественно в экваториальной плоскости, перпендикулярной к оси вращения капли протоматерии. За счет флуктуации свойств протоматерии в относительно малых объемах отделяющиеся микрокапли в общем случае могут иметь состав, отличный от среднего по объему капли протоматерии, и будут обладать достаточно большим разбросом по размерам. Заметим, что

последнее обычно наблюдается при диспергировании жидкости на вращающихся поверхностях.

Даже в отсутствии сил гравитации в сингулярном состоянии протоматерии направления силы, создаваемой избыточным давлением в поверхностном слое капли, и центробежной силы противоположны, что указывает на возможность отрыва микрокапель с поверхности капли протоматерии. Отметим также, что при вращении жидкость из полярных областей перемещается в экваториальную плоскость, в результате чего микрокапли имеют некоторую составляющую скорости, перпендикулярную к экваториальной плоскости, что приводит к распределению микрокапель не только в экваториальной плоскости, но и по всему объему пространства.

В общем случае вращение капли может происходить по трем взаимно перпендикулярным осям, что может привести к полной сферической симметрии в распределении материи во Вселенной.

При отрыве микрокапли вектор скорости направлен по касательной к поверхности капли в случае, если микрокапля является математической точкой. В противном случае из-за конечности размера микрокапли скорости ее различных частей будут различны по величине и направлению, поскольку сам процесс отделения имеет некоторую протяженность во времени. В результате этого отделившаяся микрокапля протоматерии приобретает некоторую первоначальную угловую скорость вращения относительно собственного центра масс. В дальнейшем угловая скорость вращения микрокапель уменьшается за счет возникновения гравитационных сил между галактиками, в которые преобразуются микрокапли протоматерии в процессе своего дальнейшего развития, в результате чего угловые скорости вращения галактик снижаются до величин, наблюдаемых в настоящее время.

Если принять, что Большой взрыв — это не классический сферический взрыв, а непрерывное дробление исходной капли протоматерии на микрокапли, то можно ожидать, что скорость каждой последующей отделяющейся капли меньше предыдущей, поскольку «масса» капли протоматерии непрерывно уменьшается. Напомним, что примерно такое же положение имеет место и при расчете первой, второй и третьей космических скоростей для космических аппаратов, стартующих с поверхности Земли. В этом случае оказывается, что все микрокапли позже превратились в галактики, удаляющиеся друг от друга, причем чем дальше расположены друг от друга астрономические объекты, тем больше скорость их удаления друг от друга. Поясним это простым примером. Пусть в одномерном случае в точке с координатой «0» находилась капля протоматерии. В точках с координатами « $\pm 1$ » скорость микрокапель была равна « $\pm V$ », в точках с координатами « $\pm 2$ » скорость микрокапель была равна « $\pm 2V$ » и т.д. В этом случае, например, относительно микрокапли с координатой «+2» ближайшие микрокапли с координатами «+1» и «+3» будут удаляться со скоростью « $\pm V$ », а микрокапли, расположенные в координатах «0» и «+4», будут удаляться со скоростью « $\pm 2V$ ». Аналогичное положение имеет

место и при рассмотрении процесса отделения микрокапель на плоскости и в трехмерном пространстве. При таком представлении процесса образования Вселенной из первичной капли протоматерии следует, что постоянная Хаббла фактически характеризует уменьшение скорости отделяющихся микрокапель от постепенно уменьшающейся первичной капли праматерии и вплоть до ее полного исчезновения или превращения в последнюю микрокаплю.

Рассеянные в пространстве микрокапли протоматерии являются источниками реликтового излучения, которое, являясь в целом изотропным, за счет флуктуаций состава каждой конкретной микрокапли, отличающейся количественным соотношением тех или иных видов истинно элементарных частиц, также имеет соответствующие флуктуации в интенсивности реликтового излучения.

В рамках рассматриваемой модели капельной модели Вселенной оценим величину силы поверхностного натяжения, которую должна иметь протоматерия. Полагая, что капля имеет сферическую форму и плотность протоматерии постоянна, масса капли до ( $M_1$ ) и после отделения микрокапли ( $M_2$ ) и масса микрокапли ( $m$ ) определяются выражениями:

$$M_1 = 4 \pi R_1^3 \rho / 3, M_2 = 4 \pi R_2^3 \rho / 3, m = M_1 - M_2 = 4 \pi (R_1^3 - R_2^3) \rho / 3. \quad (4)$$

С учетом того, что микрокапля отделяется с поверхности капли, моменты импульса капли до и после отделения микрокапли и собственно микрокапли запишем в виде:

$$L_1 = 2 M_1 R_1^2 \omega_1 / 5, L_2 = 2 M_2 R_2^2 \omega_2 / 5, L_m = m R_1^2 \omega_1. \quad (5)$$

Положим, что:

$$R_2 = R_1 - d R, \omega_2 = \omega_1 - d \omega, \quad (6)$$

где  $d R$  и  $d \omega$  — приращения радиуса капли и угловой скорости при переходе из состояния «1» в состояние «2».

Запишем закон сохранения момента импульса в виде:

$$L_1 = L_2 + L_m. \quad (7)$$

Подставляя выражения (6) в (4), (5) и (7) и ограничиваясь членами первого порядка малости по  $d R$  и  $d \omega$ , получим дифференциальное уравнение:

$$5 / (2 R) d R = d \omega / \omega. \quad (8)$$

Интегрируя уравнение (8) с учетом граничного условия  $\omega = \omega_0$  при  $R = R_0$ , с учетом (2), получим:

$$\omega = \omega_0 (R / R_0)^{5/2} = c R^{5/2} / R_0^{7/2}. \quad (9)$$

Скорость отделяющихся микрокапель равна:

$$V = \omega R = c (R / R_0)^{7/2}, \quad (10)$$

то есть уменьшается с течением времени. В начальный момент времени при  $R \approx R_0$  скорость микрокапель примерно равна скорости света  $c$ .

Оценим размеры микрокапель, исходя из условия, что в момент отрыва микрокапли действуют силы поверхностного натяжения по контуру длиной  $2 \pi r$ , где  $r$  — радиус микрокапли и сила внутреннего давления в капле

протоматерии, приложенная к поперечному сечению капли, которые уравновешиваются центробежной силой. Такое положение приближенно имеет место в начале процесса отделения микрокапель, когда  $R \gg r$ . Сформулированное условие запишем в виде:

$$2 \pi r \sigma + 2 \sigma \pi r^2 / R = 4 \pi r^3 \rho R \omega^2 / 3. \quad (11)$$

Разрешая (11) относительно  $r$  получим:

$$r = \{ \sigma / R + [(\sigma / R)^2 + 8 \sigma \rho R \omega^2 / 3]^{1/2} \} / (4 \rho R \omega^2 / 3). \quad (12)$$

Если в выражение (12) подставить (9), то получим:

$$r = \{ \sigma / R + [(\sigma / R)^2 + 8 \sigma \rho R^6 c^2 / R_0^7 / 3]^{1/2} \} / (4 \rho R^6 c^2 / R_0^7 / 3). \quad (13)$$

Для оценки величины  $\sigma$  положим, что в начальный момент времени исходная масса капли протоматерии Вселенной, равная  $M_0 = 4 \pi R_0^3 \rho / 3$ , и масса наиболее удаленной звездной туманности, которая отделилась одной из первых микрокапель  $m = 4 \pi r^3 \rho / 3$ , известны. При известной же плотности  $\rho$  из приведенных соотношений можно определить величины  $R_0 \approx R$  и  $r$ , а затем по формулам (11) и (9) величину  $\sigma$ :

$$\begin{aligned} \sigma &\approx 2 r^2 \rho c^2 / (3 (1 + r / R_0) R_0) = \\ &= 2 (m / M_0)^{2/3} (3 M_0 / (4 \pi \rho))^{1/3} \rho c^2 / (3 (1 + (m / M_0)^{1/3}). \end{aligned} \quad (14)$$

Для выполнения расчета примем, что масса Вселенной  $M_0 = 2,2 \cdot 10^{52}$  кг, масса микрокапли  $m = 4 \cdot 10^{39}$  кг,  $\rho = 10^{96}$  кг/м<sup>3</sup>. После подстановки в (14) получим, что  $R_0 = 1,74 \cdot 10^{-15}$  м, а  $\sigma = 3,3 \cdot 10^{89}$  Н/м. Для моментов времени, близких к начальному, то есть при  $R \approx R_0$ , расчет по (13) дает  $r \approx 10^{-19}$  м. Масса микрокапли соответственно равна  $m \approx 4 \cdot 10^{36}$  кг. Если в качестве микрокапли, как предельный случай, рассматривать Солнечную систему, то  $m = 4 \cdot 10^{30}$  кг и  $\sigma = 2,1 \cdot 10^{83}$  Н/м. В этом случае для начального момента времени получим  $r \approx 0,8 \cdot 10^{-22}$  м а  $m = 2 \cdot 10^{30}$  кг. Отметим также, что начальная угловая скорость вращения капли протоматерии в соответствии с формулой (2) равна  $\omega_0 = 1,7 \cdot 10^{23}$  с<sup>-1</sup>.

В рамках настоящей статьи не рассмотрена динамика разрушения капли протоматерии, которая позволила бы оценить время полной диспергации исходной капли протоматерии. Создание такой модели представляется весьма сложной задачей, поскольку отрыв уже первой капли вызовет перемещение протоматерии по поверхности капли в виде волн типа цунами, что интенсифицирует процесс разрушения исходной капли протоматерии. При этом он будет взрывным по внешним проявлениям в части малой продолжительности и большим скоростям разлета микрокапель, но жидкостным по существу.

В рамках капельной модели образования Вселенной показано, что в момент времени  $t = 0$ , предшествующий Большому взрыву, в сингулярном состоянии протоматерия могла обладать не только экстремальными величинами плотности и температуры, но и экстремальными значениями поверхностного натяжения и угловой скоростью вращения капли протоматерии. Отметим также, что рассмотренная капельная модель образования Вселенной может быть

согласована с представлениями о вихревых, в гидродинамическом смысле, движениях протоматерии как в виде микрокапель, так и при их последующих трансформациях в галактики в объеме Вселенной.

### *Литература*

1. Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. М.: Наука, 1988. 176 с.
2. Линде А.Д. Многоликая Вселенная // <http://elementy.ru/lib/430484>. 2007. 36 с.
3. Физический энциклопедический словарь / Под ред. А.М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1984. 944 с.

### *Literatura*

1. Novikov I.D. Kak vzorvalas' Vselennaya. M.: Nauka, 1988. 176 s.
2. Linde A.D. Mnogolikaya Vselennaya // <http://elementy.ru/lib/430484>. 2007. 36 s.
3. Fizicheskij e'nciklopedicheskij slovar' / Pod red. A.M. Proxorova. M.: Sovetskaya e'nciklopediya, 1984. 944 s.

**A.S. Kondratiev**

### **A Drop Model of the Universe Formation**

The suggested model of proto-matter in space-time singularity has the shape of a liquid drop. The paper estimates surface tension, angular rotation rate and motion rate of micro-droplets in the initial time of the Big Bang. The suggested model accounts for rotation of observable objects in the Universe and their increasing rate of recession.

*Key-words:* Universe; space-time singularity; proto-matter; Big Bang; rotation and motion of objects in the Universe.

Э.В. Онищенко

## Дифракция Френеля ультразвука на зонной пластинке

На основании принципа Гюйгенса – Френеля проводится анализ дифракции Френеля в условиях, когда углы дифракции нельзя считать предельно малыми, что характерно для экспериментов с ультразвуком. Построение спирали Френеля выполняется именно в этих условиях.

*Ключевые слова:* дифракция; принцип Гюйгенса – Френеля; зонная пластинка; ультразвук.

**К**лассическая схема наблюдения дифракции Френеля (рис. 1) включает в себя источник волн  $S$ , дифрагирующий элемент (например, зонную пластинку)  $E$ , приемник  $P$ , регистрирующий интенсивность этих волн. В настоящее время существует оборудование (например, выпускаемое фирмой *PHYWE*), которое позволяет экспериментировать с ультразвуковыми волнами. Все эти элементы располагают на оптической скамье длиной порядка одного метра, так что расстояние  $a$  между источником ультразвуковых волн, так же как и расстояние  $b$  от дифрагирующего элемента до приемника, превышают размер зонной пластинки в разы, но не на порядок, как это бывает в оптических экспериментах. Результаты эксперимента обнаруживают явные отличия от аналогичных результатов в оптике, особенно это относится к наблюдаемой интенсивности в точке фокусировки: ее величина в несколько раз (если не на порядок) меньше, чем та, которая ожидается из анализа классической спирали Френеля [1]. В данной работе анализируется дифракция Френеля от круглого отверстия в условиях эксперимента с ультразвуком и предлагается способ построения спирали, позволяющей оценивать регистрируемую интенсивность.

Обычно для анализа такой дифракции применяют уравнения, которые следуют из представлений, применяемых в геометрической оптике [2]: два параллельных луча, один из которых проходит через край отверстия, отрывающегося  $n$  зон Френеля (луч 1 на рисунке 1), а второй — вдоль оси установки (луч  $SP$ ), имеют разность хода, равную произведению  $n \lambda / 2$ , где  $\lambda$  — длина волны, причем оба после прохождения преграды собираются в точке, отстоящей от пластинки на расстоянии  $f$ , которая называется фокусом зонной пластинки (точка  $F$  на рисунке 1). Отсюда получаем для радиуса  $n$ -й зоны:

$$r_n^2 = (f + n \cdot \lambda / 2)^2 - f^2 = n \cdot f + n^2 \cdot \lambda^2 / 4, \quad (1)$$

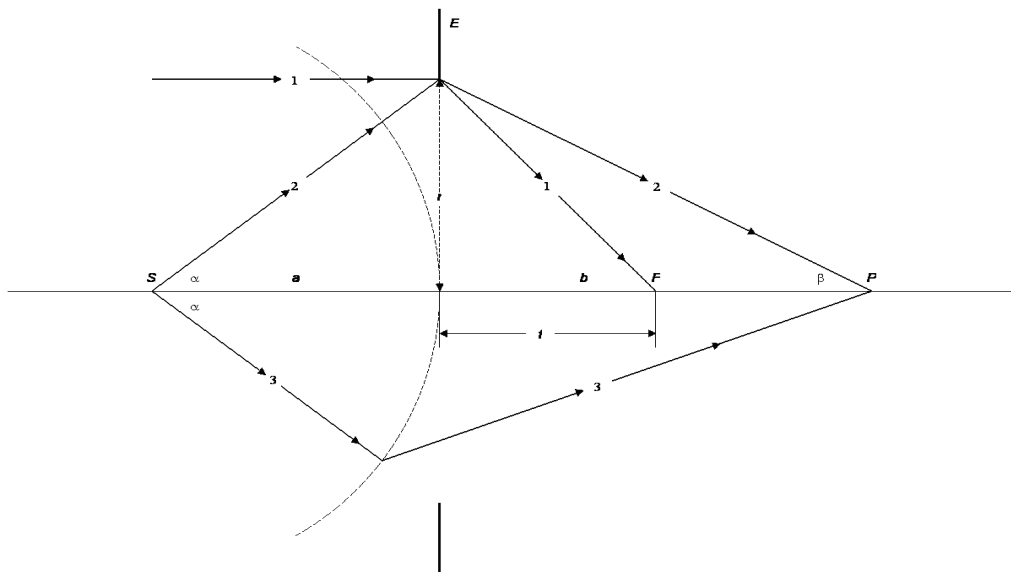


Рис. 1. Схема расположения источника излучения  $S$ , приемника  $P$  и экрана  $E$  с отверстием радиуса  $r$ .

где фокусное расстояние  $f$  связывает параметры  $a$  и  $b$ , луча, вышедшего из точки  $S$  (луч 2 на рисунке 1) формулой тонкой линзы:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (2)$$

В оптике, где длина волны значительно меньше характерных размеров установки, второе слагаемое в выражении (1) просто опускают.

Для оценки применимости уравнений (1) и (2) вычислим разность хода  $\Delta$  двух лучей, идущих в точку наблюдения  $P$ , один из которых (луч 2) проходит через край отверстия радиуса  $r$ , а второй — прямо вдоль оси установки:

$$\Delta = \sqrt{a^2 + r^2} - a + \sqrt{b^2 + r^2} - b. \quad (3)$$

Это уравнение позволяет найти связь между квадратом радиуса отверстия  $r^2$  и разностью хода  $\Delta$ , вместо которой удобно использовать безразмерную переменную  $d = \Delta/f$ , где  $f$  — введенное ранее фокусное расстояние, равное, как это сле-

дует из (2), отношению  $ab/(a+b)$ . Разрешая (3) относительно  $r^2$ , найдем:

$$r^2 = 2f^2 \cdot d \cdot \frac{[1 + \frac{1}{2} \cdot d + \frac{1}{2} \cdot \frac{f^2}{ab} \cdot d + \frac{1}{2} \cdot \frac{f^2}{ab} \cdot d^2 + \frac{1}{8} \cdot \frac{f^4}{(ab)^2} \cdot d^3]}{(1 + \frac{f^2}{ab} \cdot d)^2}. \quad (4)$$

Радиус зоны с номером  $n$  получим, полагая  $d_n$  равным  $n \lambda / (2f)$ , причем результат будет совпадать с приближенным результатом (1), если опустить в (4) все слагаемые, содержащие параметр  $f^2 / ab$ . Для зонной пластинки



из установки фирмы *PHYWE*  $f = 10,3$  см, так что величина этого параметра порядка  $10^{-1}$ . Кроме того, при длине волны ультразвука  $\lambda = 0,88$  см переменная  $d_n = n \lambda / (2f)$  не превосходит этой же величины для нескольких первых зон. Это означает, что «оптическое» приближение (1)–(2) становится некорректным для вычисления радиусов зон Френеля. Лучшим приближением будет такое, в котором в выражении (4) опущены все слагаемые, содержащие  $d$  в степени, выше второй. Если теперь определить фазовое запаздывание дифрагированного луча соотношением  $\phi = 2 \pi \Delta / \lambda$ , то упрощенная связь, которой мы и будем пользоваться для построения спирали Френеля, между радиусом отверстия  $r$  и фазовым запаздыванием луча, проходящего через его край, приобретает вид:

$$r^2 = 2f^2 \left( \frac{\lambda \phi}{2\pi f} \right) \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( 1 - 3 \frac{f^2}{ab} \right) \cdot \left( \frac{\lambda \phi}{2\pi f} \right) \right]. \quad (5)$$

К сожалению, это соотношение потеряло свойство универсальности: оно включает в себя не только параметр  $f$ , характеризующий зонную пластинку, но и расстояния  $a$  и  $b$  порознь. Это означает, в частности, что радиусы зон зависят теперь от этих расстояний, а вид спирали Френеля зависит не только от параметра  $f$ , характеризующего зонную пластинку, но также и от величин  $a$ ,  $b$ . Можно, однако, надеяться, что эта зависимость довольно слаба при перечисленных выше условиях. Таблица 1 подтверждает это обстоятельство. В нее занесены:  $r_n$  — радиусы, вычисленные по (1), то есть те, с которыми зонная пластинка изготовлена при выбранном фокусном расстоянии  $f = 10,26$  см,  $r_n^{(1)}$  и  $r_n^{(2)}$  — вычисленные по (4) и упрощенному соотношению (5). В последнюю строку таблицы внесена относительная погрешность  $\delta$  вычисления разности хода (3), обусловленная заменой сферического фронта волновой поверхности, изображенной на рисунке 1 пунктиром, на плоский. Эта погрешность равна разности длин лучей 2 и 3, идущих в точку наблюдения  $P$  от соответствующих точек сферической и плоской волновых поверхностей:

$$\frac{a}{\cos \alpha} + \frac{b}{\cos \beta} - a - \sqrt{(a \cdot \cos \alpha - a - b)^2 + (a \cdot \sin \beta)^2},$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — углы, указанные на рисунке 1, определяемые радиусом  $r$  отверстия.

Расстояния  $a$  и  $b$  в таблице 1 те, которые рекомендуют авторы описания [2] рассматриваемой экспериментальной установки. Из данных таблицы можно сделать два основных вывода. Во-первых, ясно, что погрешность, обусловленная заменой сферического волнового фронта на плоский, незначительна. Во-вторых, не имеет смысла делать зонную пластинку с пятью открытыми четными зонами, радиусы которых вычисляются по «оптическому» приближению (2), поскольку ширина десятой зоны сравнима с погрешностью ее радиуса. Интереснее было бы изготовить раздвижную диафрагму и измерять такой ее радиус, при котором измеряемая интенсивность при выбранных расстояниях  $a$ ,  $b$  достигает максимума, а затем минимума. Это означает, что диафрагма открывает одну или две зоны Френеля. Такие интенсивности можно

Таблица 1

Радиусы зон для двух пар расстояний  $a$ ,  $b$  и относительная погрешность вычисления длины хода луча, проходящего через край зоны

| $n$   |                  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    |
|---|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|   | $r_n$ , см       | 3,04 | 4,33 | 5,37 | 6,26 | 7,07 | 7,82 | 8,53 | 9,19 | 9,84 | 10,46 |
| $a = 95,0$ см<br>$b = 11,5$ см              | $r_n^{(1)}$ , см | 3,03 | 4,31 | 5,32 | 6,19 | 6,96 | 7,68 | 8,35 | 8,99 | 9,59 | 10,18 |
|   | $r_n^{(2)}$ , см | 3,04 | 4,30 | 5,31 | 6,18 | 6,95 | 7,67 | 8,34 | 8,98 | 9,59 | 10,17 |
| $a = 30,0$ см<br>$b = 15,6$ см              | $r_n^{(1)}$ , см | 3,02 | 4,28 | 5,26 | 6,09 | 6,83 | 7,51 | 8,14 | 8,71 | 9,29 | 9,82  |
|   | $r_n^{(2)}$ , см | 3,02 | 4,31 | 5,32 | 6,19 | 6,97 | 7,70 | 8,34 | 9,02 | 9,64 | 10,24 |
| $\delta, 10^{-3}, a = 30;$<br>$b = 15,6$ см |                  | 0,16 | 0,56 | 1,2  | 2,0  | 3,0  | 4,2  | 5,6  | 7,1  | 8,5  | 10,6  |

сравнить с полученными из спирали Френеля, которую легко построить, если использовать упрощенную связь (5) между квадратом радиуса отверстия и фазовым запаздыванием  $\phi$ . Для этого мы будем использовать принцип Гюйгенса – Френеля, согласно которому комплексная амплитуда излучения, приходящего в точку наблюдения  $P$  от элементарной площадки величиной  $2\pi r dr$ , пропорциональна ее величине, содержит экспоненциальный фазовый множитель  $\exp(i\phi)$ , а также косинус угла между нормалью к элементарной площадке и направлением на точку наблюдения, то есть  $\cos\beta$ , если считать волновой фронт плоским, и  $\cos(\alpha + \beta)$ , если он сферический. Этот множитель является существенным, поскольку он определяет затухание комплексной амплитуды при удалении элементарной площадки от осевой линии  $SP$ , поэтому мы предпочтем второй вариант. Кроме того, следует учесть зависимость амплитуды от обратного расстояния до точки наблюдения, характерную для сферической волны, то есть добавить в качестве множителя комбинацию  $\frac{\cos\beta}{b}$ . В оптических экспериментах угол  $\beta$  предельно мал, и  $\cos\beta$  полагают равным единице, чего в рассматриваемом случае делать нельзя. В результате получим:

$$d\hat{A} = C \left[ \frac{\pi}{b} \cdot \frac{d(r^2)}{d\phi} \cdot \cos\beta \cdot \cos(\alpha + \beta) \right] \cdot \exp(i\phi) \cdot d\phi. \quad (6)$$

Здесь  $C$  — стандартный нормировочный множитель, связанный с интенсивностью волны, падающей на преграду. Параметрическое уравнение спирали получим, вычисляя действительную ( $x$ ) и мнимую ( $y$ ) части комплексной амплитуды:

$$x(\phi) = \int_0^{\phi} d\phi \cdot F(\phi) \cdot \sin(\phi); \quad y(\phi) = \int_0^{\phi} d\phi \cdot F(\phi) \cdot \cos(\phi), \quad (7)$$

где под  $F(\phi)$  понимается функция, заключенная в квадратные скобки формулы (6). Если использовать точную зависимость  $r^2(\phi)$  (4), то можно прийти к довольно громоздким выражениям, поэтому в процессе построения спирали

мы будем использовать упрощенную связь (5), а косинусы в функции  $F(\varphi)$  заменим их разложением:

$$\cos \beta = 1 - \frac{r^2}{2b^2}, \quad \cos(\alpha + \beta) = 1 - \frac{r^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)^2,$$

а в окончательном виде этой функции оставим аргумент  $\varphi$  в степени не выше второй. В результате найдем:

$$F(\varphi) = \lambda f \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi f}\right) \cdot \left[ f^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{2}{b^2} + \frac{5}{ab}\right) - 1 \right] \cdot \varphi - \left(\frac{\lambda}{2\pi f}\right)^2 \cdot \frac{3}{2} \left(1 - \frac{3f^2}{ab}\right) \cdot \left[\frac{1}{a^2} + \frac{2}{b^2} + \frac{2}{ab}\right] \cdot \varphi^2 \right\}. \quad (8)$$

На рисунке 2 приведена спираль, построенная для  $a = 30$  см,  $b = 15,5$  см и соответственно для  $f = 10,26$  см. Пользоваться ею следует традиционно: 1) угол между касательной к ней и горизонтальной осью равен углу фазового запаздывания  $\varphi$ , так что точка спирали, соответствующая концу первой зоны, находится на ее вершине; 2) амплитудный вектор, квадрат которого определяет интенсивность излучения в точке наблюдения, соединяет начальную точку и ту точку спирали, которая соответствует определенному числу открытых зон, так что интенсивность при отсутствии преграды (при полностью открытом фронте) определяется вектором, проведенным из начала спирали в ее фокус.

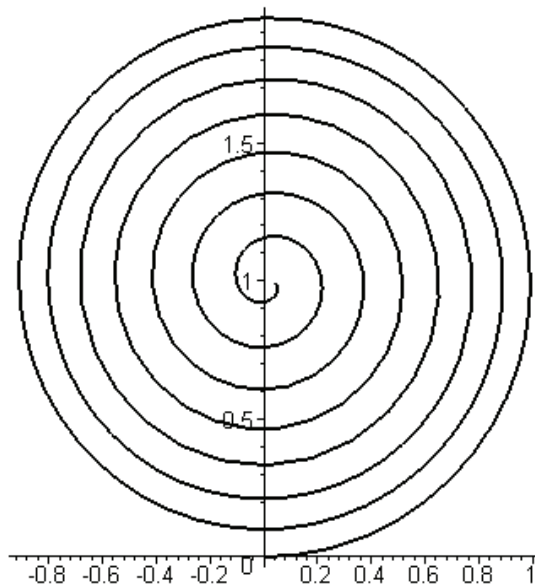


Рис. 2. Спираль Френеля для  $a = 30$  см,  $b = 15,5$  см.

Итак, в эксперименте с раздвижной диафрагмой для заданных расстояний  $a$  и  $b$  можно было бы измерить первую максимальную интенсивность излучения, затем первую минимальную, затем интенсивность при полностью

открытом фронте, и сравнить полученные результаты с теми, которые следуют из формы спирали, построенной по уравнениям (7) – (8).

В заключение отметим, что площади зон Френеля даже в «оптическом» приближении (1) – (2) неодинаковы, хотя в [2] утверждается обратное. Однако это обстоятельство никак не влияет на возможность использования спирали, приведенной на рисунке 2.

### *Литература*

1. *Калитиевский Н.И.* Волновая оптика. СПб.: Лань, 2008. 511 с.
2. Diffraction of ultrasound at a Fresnel zone plate. PHYWE series of publication. LEP 1.5.18-00. URL: <http://www.science.com.tw/catalog/images/Phywe/Lep.pfd> (последнее обращение: 26.03.2011 г.).

### *Literatura*

1. *Kalitievsckij N.I.* Volnovaya optika. SPb.: Lan', 2008. 511 s.
2. Diffraction of ultrasound at a Fresnel zone plate. PHYWE series of publication. LEP 1.5.18-00. URL: <http://www.science.com.tw/catalog/images/Phywe/Lep.pfd> (poslednee ob-rashhenie: 26.03.2011 g.).

***E.V. Onishchenko***

#### **Fresnel Ultrasonic Diffraction on the Zone Plate**

The paper analyzes the Fresnel diffraction on the basis of Huygens-Fresnel principle, when diffraction angles aren't extra-small as inherent in ultrasonic experiments. The Fresnel spiral is modeled exactly under suchlike conditions.

*Key-words:* diffraction; Huygens-Fresnel principle; zone plate; ultrasound.

**В.А. Бубнов**

## **Физический смысл кинетической энергии материальных тел**

Работа посвящена физическому смыслу кинетической энергии тел как живой силе, возникающей при силовом взаимодействии.

*Ключевые слова:* мертвая сила; живая сила; кинетическая энергия; упругая сила; упругие деформации.

Согласно представлениям механики И. Ньютона, сила есть причина, в результате наличия которой материальное тело приобретает ускорение и кинетическую энергию. Во многих случаях силовое воздействие осуществляется при соприкосновении двух тел, в результате чего одно тело производит давление на другое тело. Ускорение, которое приобретает тело, испытывающее давление со стороны другого тела, определяется по формуле второго закона Ньютона, а кинетическая энергия  $T$ , приобретаемая телом, вычисляется по формуле:

$$T = \frac{1}{2}mv^2. \quad (1)$$

Здесь  $m$  — масса материального тела,  $v$  — его скорость.

Общепринято, что кинетическая энергия измеряется единицами работы. Это, в свою очередь, определяет размерность кинетической энергии как произведение размерности силы на размерность длины.

Очевидно, что раскрытие природы этой силы позволит понять физический смысл кинетической энергии движущегося материального тела и обосновать правую часть в (1), которая традиционно только постулируется.

Немецкий философ и математик Г.В. Лейбниц (1646–1716), изучая характер силового взаимодействия тел, выделил два типа сил, один из которых он назвал *живой* силой, а другой — *мертвой*.

Из истории механики известно, что в течение долгого времени сохранились убеждения, что количество движения, то есть произведение массы тела на скорость, является мерой силы этого тела.

Первым, кто заметил, что имеет место сила, не равная произведению массы на скорость, а определяемая как произведение массы на квадрат скорости, был Лейбниц. Он-то и назвал данную силу *живой силой*.

С помощью закона Галилея об ускорении падения материальных тел Лейбниц доказал, что груз с двойной величиной скорости может подняться

в четыре раза выше, чем тело, обладающее одинарной величиной скорости; с тройной величиной скорости — в девять раз выше; с четверной скоростью — в шестнадцать раз выше. Он доказал, что высоты, на которые весомые тела способны подняться, всегда пропорциональны квадратам их скоростей. Он утверждал, что высота, на которую может подняться тело, может быть принята за меру силы этого тела, и отсюда он заключал, что живая сила тела пропорциональна массе, умноженной на квадрат ее скорости.

Противники Лейбница не приняли его положения относительно высот, являющихся, по его утверждению, мерой сил. Тщетно Лейбниц пытался убедить своих противников в своей правоте. В Англии незадолго до смерти Лейбница взгляд его был совершенно отвергнут, и некоторые умы пытались поднять на смех мнение этого великого человека о значении живой силы.

Немецкий математик голландского происхождения Иоганн Бернулли (1667–1748) в работе [1], относящейся к 1724 году, опытным путем подтвердил мысль Лейбница о том, что живая сила тела пропорциональна массе, умноженной на квадрат ее скорости. Более того, И. Бернулли здесь же [1] дал подробное разъяснение отличия живой силы от мертвой.

Определения *живой* и *мертвой* сил, данное И. Бернулли, таково: «Живая сила есть та сила, которая прибывает в равномерно движущемся теле. Наоборот, мертвая сила — та, которую получает тело без движения, если оно побуждается и принуждается к движению, или же та, которая побуждает двигаться быстрее или медленнее, если тело уже находится в движении» [1: с. 71].

По мнению И. Бернулли, мертвая сила состоит в простом усилии, и это усилие таково, что оно может существовать, когда внешнее препятствие мешает ему произвести движение тела, на которое это усилие распространяется. Такова, например, сила тяжести. Весомое тело, поддерживаемое горизонтальным столом, производит непрерывное усилие, чтобы опуститься — и оно действительно опустилось бы, если бы стол не противопоставлял ему препятствие, удерживающее его.

Таким образом, вес производит мертвую силу, эффект которой только мгновенный.

В каждое мгновение вес сообщает телам, на которые он действует, некоторую бесконечно малую величину скорости, которая тотчас поглощается сопротивлением препятствия. Эти маленькие величины скорости, зарождаясь, погибают и, погибая, возрождаются, и в этой постоянной обратимости, в этом круговороте возникновения и уничтожения и состоит усилие веса, когда он удерживается непреодолимым препятствием.

Мертвая сила имеет ту особенность, что она не производит никакого результата, который был бы более длителен, чем сама мертвая сила: лишь только мертвая сила прекращается, все прекращается вместе с ней, и результат ее никогда не переживает ее действия.

Если бы весомое тело, поддерживаемое столом, потеряло вдруг свой вес, стол в то же мгновение перестал бы испытывать давление.

Совсем иначе обстоит дело с живой силой. Природа ее принципиально отлична. Она не может ни рождаться, ни исчезать в одно мгновение подобно мертвой силе. Необходимо более или менее продолжительное время, чтобы произвести живую силу в теле, которое ее не имело; нужно также время, чтобы ее разрушить в теле, которое ее имеет.

Живая сила непрерывно производится в теле, находившемся ранее в покое, когда приложенное к нему давление постепенно и понемногу сообщает ему движение. Предполагается, что никакое препятствие не мешает ему двигаться. Это движение приобретает бесконечно малыми долями, достигая в итоге конечной и определенной скорости, которая остается постоянной и после того, как причина, приведшая тело в движение, перестает на него действовать.

Таким образом, живая сила, произведенная в теле в течение некоторого конечного времени давлением, не удерживаемым никаким препятствием, есть нечто реальное. Она эквивалентна той части причины, которая израсходовалась, производя ее, ибо всякая действующая причина должна быть равна своему полностью выполненному действию.

Тело, получающее эту силу, не оказывает никакого противодействия этой силе, если оно не задерживается никаким препятствием. Исключением является только препятствие, зависящее от инерции данного тела, которое пропорционально его массе.

Малые доли движения, которые непрерывно сообщаются телу давлением, сохраняются в теле и накапливаются до тех пор, пока не произведут видимого движения.

По утверждению И. Бернулли, какова бы ни была причина давления, производящая видимое движение, но если величина этой причины установлена, то по мере того, как тело воспринимает новые доли силы давления, причина, их воспроизводящая, должна их в той же степени терять.

Данное утверждение он поясняет на примере взаимодействия сжатой пружины с материальным телом. Именно так происходит с сжатой пружиной, которая при своем растяжении тратит свою силу на производство видимой скорости тела, ранее ее не имевшего, и это продолжается до тех пор, пока вся сила пружины не будет истощена и не будет перенесена на тело, в котором она как бы собирается накоплением всех маленьких долей, производившихся непрерывно.

*Именно эту силу, переданную телу, приведенному в движение посредством истощения давления пружины, И. Бернулли назвал живой силой.*

Простое давление, то есть мертвая сила, получающаяся вследствие усилия пружины, стремящейся расшириться и наталкивающейся на неподвижное препятствие, несколько не уменьшает силы пружины и тем более не уничтожает ее.

Когда же сила пружины дает телу видимое движение, то есть производит живую силу, то эта сила тратится. Производство самой малой доли живой силы требует потери, то есть уничтожения равной доли силы пружины.

Очевидно, что эти потери определяются работой, производимой живой силой по мере растяжения сжатой пружины. Именно поэтому живая сила, определяемая как произведение массы на квадрат скорости, измеряется единицами работы.

В отличие от Лейбница, который меру живой силы связывал с высотой подъема материального тела при сообщении ему начальной скорости, И. Бернулли меру живой силы изучал в характере взаимодействия сжатой пружины с материальным телом.

Следуя И. Бернулли, рассмотрим два одиночных звена пружины, которые различными способами сжаты одинаковым усилием (рис. 1).

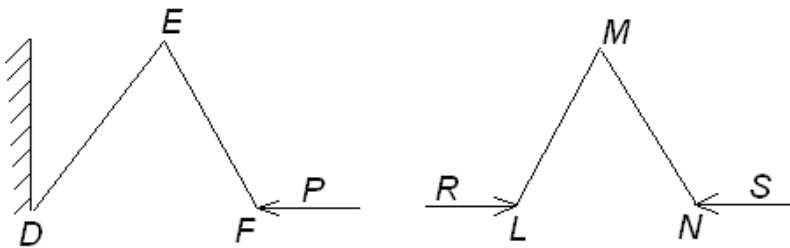


Рис. 1. Усилия в одном звене упругой пружины.

В первом случае сжатия звена пружины  $DEF$  его ветвь  $DE$  закреплена в точке  $D$ , а усилие  $P$ , приложенное к точке  $F$ , сжимает данное звено на некоторый угол  $DEF$ . Во втором случае звено пружины  $LMN$  сжато на угол  $LMN$ , равный углу  $DEF$ , усилиями  $R$  и  $S$ , приложенными к точкам  $L$  и  $N$  соответственно.

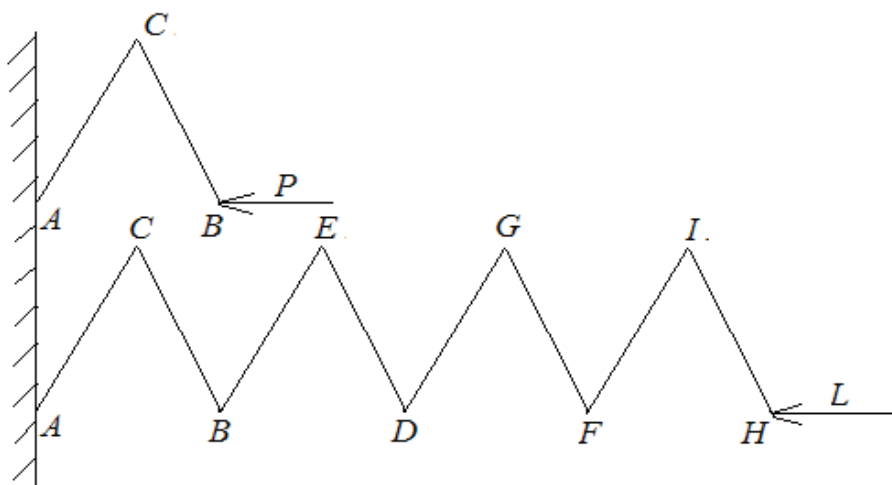
Если ветви обоих звеньев одинаковы по величине, то очевидно, что сопротивление  $P$  подвергается такому же давлению со стороны пружины  $DEF$ , как и любое из сопротивлений  $R$  и  $S$  со стороны пружины  $LMN$ . В самом деле, пассивное сопротивление со стороны неподвижной плоскости в точке  $D$  противодействует сопротивлению  $P$  с такой же силой, как и активное сопротивление  $R$  противодействует противоположному ему сопротивлению  $S$ , и наоборот. Это — необходимое следствие полного равенства, которое всегда существует между действием и противодействием.

Отсюда вытекает следующее. Пусть имеется несколько одинаковых и одинаково сжатых звеньев  $ACB$ ,  $BED$ ,  $DGF$ ,  $FIH$  пружины (рис. 2.), установленных последовательно одна за другим и пусть первое звено  $ACB$  опирается на неподвижную плоскость, второе звено  $BED$  упирается в первое, третье звено  $DGF$  — во второе и так далее до последнего звена.

Сила  $L$ , которая им противодействует и препятствует им расширяться, равна силе  $P$ , которая противодействует одному из таких звеньев, сжатому так же, как и другие, и опирающемуся в точке  $A$  на неподвижную плоскость.

Действительно, согласно предыдущим рассуждениям, первое звено  $ACB$  давит на второе звено  $BED$  и наоборот сдавливается им точно таким же образом, как оно сдавливалось бы неподвижной плоскостью, если бы на месте первого звена была эта плоскость, на которую второе звено опиралось бы в точке  $B$ .





**Рис. 2.** Величины усилий на твердую стенку одного звена и нескольких звеньев упругой пружины.

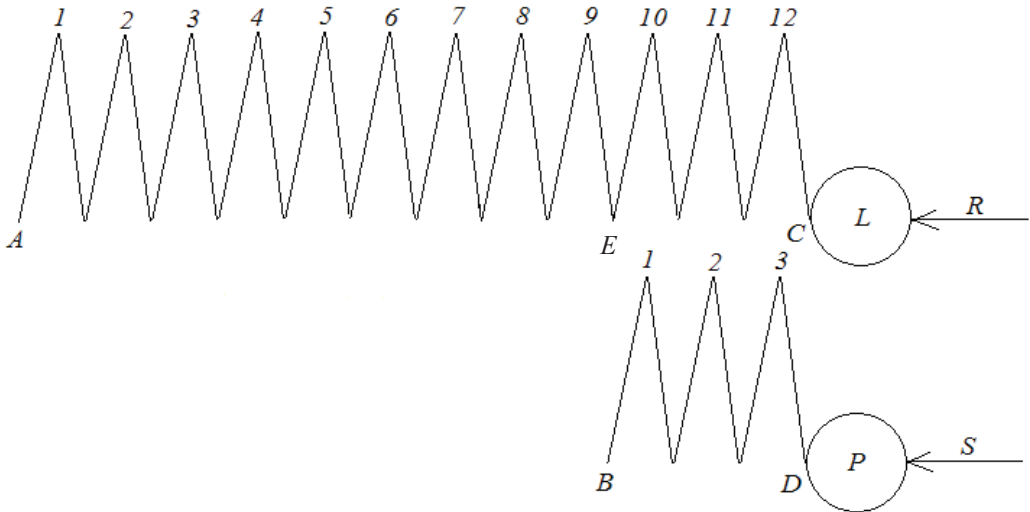
На этом же основании и второе звено будет давить на третье звено  $DGF$  и будет им сдавливаться точно так же, как если бы третье звено в действительности было бы на месте второго звена. И так можно сказать относительно всех других звеньев вплоть до последнего звена  $FIH$ . Отсюда ясно, что последнее звено действует на сопротивление  $L$  так же, как если бы оно непосредственно упиралось в неподвижную точку  $F$ . Отсюда также следует, что сила  $L$  противодействует некоторому числу одинаковых звеньев пружины, одинаково сжатых и расположенных в одну прямую линию, из которых первое звено сдерживается неподвижной плоскостью в точке  $A$ . Именно эта сила  $L$  равна силе  $P$ , противодействующей единственному звену из рассматриваемых звеньев, которое опирается на точку  $A$  неподвижной плоскости.

Рассмотрим теперь два ряда одинаковых и одинаково сжатых звеньев двух не равных по длине пружин (рис. 3).

Пусть одна пружина состоит из двенадцати звеньев, а другая — из трех. Один конец каждой из пружин упирается в неподвижные точки  $A$  и  $B$ , а другой удерживается шарами  $L$  и  $P$  с помощью сил  $R$  и  $S$  соответственно, препятствующих движению указанных шаров.

На основании предыдущего очевидно, что оба шара  $L$  и  $P$  будут одинаково сжаты усилием, производимым пружинами, стремящимися расширяться. Вследствие этого мертвые силы этих шаров, которые суть не что иное, как давления пружин, будут также равны между собою.

Теперь посмотрим, какую живую силу могут произвести эти давления, если удалить усилия  $R$  и  $S$ . Наблюдения показывают, что после удаления сил  $R$  и  $S$  шары начинают двигаться с разными скоростями. Шар  $L$  благодаря непрерывным усилиям двенадцати звеньев приобретет большую скорость, чем равный ему шар  $P$ , на который действуют непрерывные усилия трех звеньев. Ибо, если пред-



**Рис. 3.** Схема, иллюстрирующая количественные отличия живой и мёртвой силы.

положить, что точка  $E$  (рис. 3) будет задержана, последние три звена  $10, 11, 12$  сообщат шару  $L$  такое же ускорение, как и три звена  $1, 2, 3$  шару  $P$ .

Если же точка  $E$  не задержана, то будут разжиматься не только последние три звена  $10, 11, 12$ , следующие за шаром  $L$ , но также и девять первых звеньев, которые попутно оттолкнут точку  $E$ . Из чего следует, что три звена, движущиеся впереди них, сообщат шару  $L$  ускорение, большее, чем то, которое три звена  $1, 2, 3$  сообщат шару  $P$ .

Эти рассуждения И. Бернулли укладываются в закон, носящий имя Роберта Гука (1635–1703). Согласно закону Гука упругая сила пружины пропорциональна растяжению пружины. Отсюда следует, что пружина из двенадцати звеньев растянется на большую длину, чем пружина из трех звеньев, вследствие чего упругая сила, приводящая в движение шар  $L$ , будет больше упругой силы, приводящей в движение шар  $P$ . Вследствие этого и второго закона Ньютона шар  $L$  получит большее ускорение, чем шар  $P$ .

Следует напомнить, что давления, то есть мертвые силы, которые получают покоящиеся шары  $L$  и  $P$  со стороны пружин до того, как эти пружины будут расширяться, равны между собой.

Теперь же доказано, что эти самые шары, приведенные в движение теми же самыми пружинами, имеют неравные скорости.

Отсюда можно заключить, что при взаимодействии сжатой пружины с материальным телом имеют место два рода сил. Одна из них — мертвая сила, которую получает тело без движения, а другая — живая сила, та, которая пребывает в равномерно движущемся теле.

Для получения зависимости живой силы от скорости И. Бернулли приводит следующие рассуждения [1].

Кинематические характеристики шаров  $L$  и  $P$  будем изучать на плоскости, вдоль оси абсцисс, которая будет фиксировать перемещение шаров, а по оси

ординат будем откладывать их скорости (рис. 4 и 5). Скорость шара  $L$  будем обозначать символом  $w$ , а скорость шара  $P$  — символом  $v$ .

На рисунках 4 и 5 отрезки  $AC$  и  $BD$  представляют длины сжатых пружин, представленных на рисунке 3. Когда эти пружины начинают расширяться, то два одинаковых шара  $L$  и  $P$  начинают двигаться от точек  $C$  и  $D$  соответственно вдоль оси ординат. Пусть  $CML$  и  $DNK$  будут две кривых, ординаты которых  $GM$  и  $HN$  выражают скорости  $w$  и  $v$  движущихся шаров  $L$  и  $P$  соответственно.

Введем обозначения:  $BD = a$ , абсцисса  $DH = x$ , ее дифференциал  $HP = NT = dx$ , ордината  $HN = v$ , ее дифференциал  $TO = dv$ . Далее предположим,

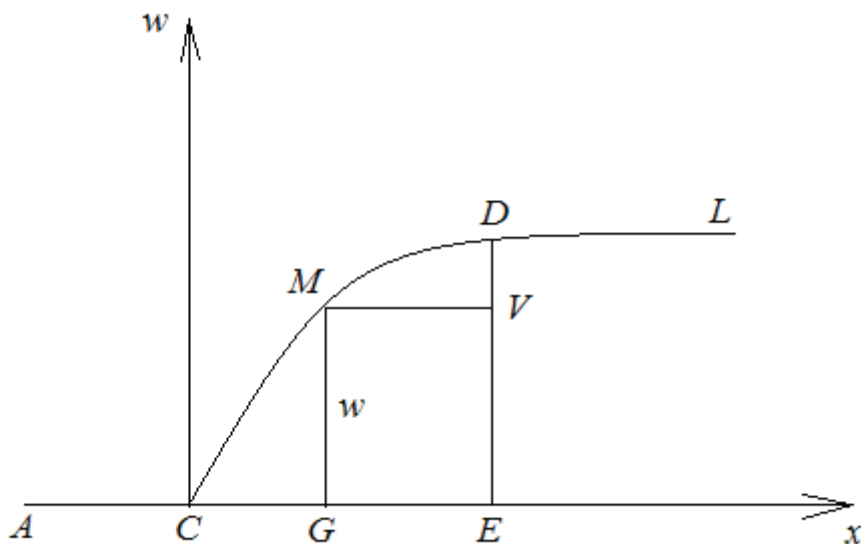


Рис. 4. Кинематика шара  $L$ .

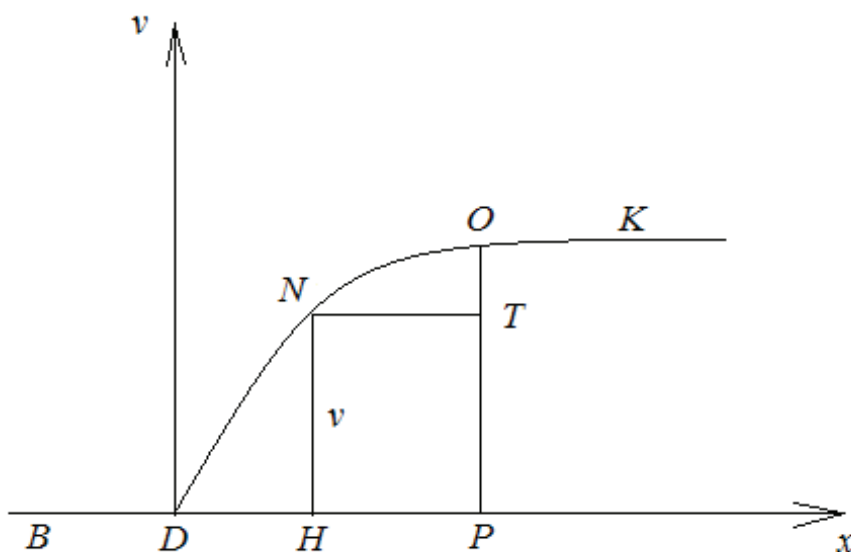


Рис. 5. Кинематика шара  $P$ .

что абсциссы  $CG$  и  $CE$  кривой  $CLM$  так относятся к соответствующим абсциссам кривой  $DNK$ , как  $AC$  к  $BD$ . Другими словами, имеют место пропорции:

$$\frac{BD}{AC} = \frac{DH}{CG} = \frac{DP}{CE}.$$

Предположим теперь, что  $AC = nBD = na$ . Тогда из (1) получаем  $CG = nx$ . Так как  $DH = x + dx$ , из предыдущей пропорции будем иметь:

$$\frac{x + dx}{CG + GE} = \frac{1}{n}. \quad (2)$$

Далее из (2) получаем  $GE = ndx$ .

При перемещении шаров из начальных точек  $C$  и  $D$  в точки  $G$  и  $H$  шары получили приращение скоростей от нулевых до  $w$  и  $v$ . Следовательно, они двигались ускоренно, и это ускорение им сообщили давления пружин, которые одинаковы. Эти давления, то есть мертвые силы, обозначим через  $p$ .

Из формулы второго закона Ньютона можно определить  $dv$  для шара  $P$  в точке  $H$  как:

$$dv = \frac{1}{m_1} p dt, \quad (3)$$

где  $m_1$  — масса шара  $P$ , а  $dt$  — промежуток времени. Из определения мгновенной скорости в точке  $H$  можно определить  $dt$ , как:

$$dt = \frac{dx}{v} = \frac{HP}{HN}. \quad (4)$$

Подставляя величину  $dt$  из (4) в (3), получаем:

$$m_1 v dv = p dx,$$

что после интегрирования дает:

$$\int p dx = \frac{1}{2} m_1 v^2. \quad (5)$$

Пусть  $m_2$  есть масса шара  $L$ , тогда на том же основании для него имеем:

$$dw = \frac{1}{m_2} p dt, \quad dt = \frac{GE}{GM} = \frac{ndx}{w};$$

и, наконец:

$$m_2 w dw = n p dx;$$

или после интегрирования:

$$m_2 \frac{w^2}{2} = n \int p dx. \quad (6)$$

Из формулы (5) и (6) можно составить следующее отношение:

$$\frac{m_1 v^2}{m_2 w^2} = \frac{\int p dx}{n \int p dx} = \frac{1}{n} = \frac{BD}{AC}. \quad (7)$$

Для шаров одинаковой массы, когда  $m_1 = m_2$ , формула (7) переписывается так:

$$\frac{BD}{AC} = \frac{v^2}{w^2}. \quad (8)$$

Но  $BD$  так относится к  $AC$ , как живая сила, приобретенная в  $H$ , относится к живой силе, приобретенной в  $G$ . Значит, эти две силы относятся друг к другу как квадраты их скоростей для шаров одинаковой массы и как произведения масс на квадраты скоростей для шаров, массы которых различны.

Если предположить, что  $p$  постоянно, то интеграл обратится в  $px$ . Тогда из (5) и (6) будем иметь:

$$v^2 = \frac{2p}{m_1}x, \quad w^2 = \frac{2p}{m_2}x. \quad (9)$$

Из (9) следует, что кривые  $CML$  и  $DNK$  суть параболы.

В этой же работе [1] И. Бернулли приводит наблюдения, которые подтверждают его доказательство того, что живая сила пропорциональна произведению массы на квадрат скорости.

Термин «живая сила» употреблялся физиками до середины прошлого столетия, но потом вместо него в общественных курсах физики он был заменен на термин «кинетическая энергия».

В рамках рассуждений И. Бернулли формулу для кинетической энергии надо писать так:

$$T = cmv^2, \quad (10)$$

где  $c$  — коэффициент пропорциональности, позволяющий балансировать независимые размерности величин, входящих в (10). В системе СИ принимается, что  $c = \frac{1}{2}$ .

Модель И. Бернулли силового взаимодействия упругой пружины с материальным телом в форме шара послужила основой для объяснения характера силового взаимодействия двух тел при соприкосновении.

Именно при соприкосновении два тела оказывают давление друг на друга. Эти два давления равны по величине и противоположны по направлению. Давления вызывают в каждом теле упругие деформации, способствующие изменению формы соприкасающихся тел. Этот процесс изменения формы тела аналогичен процессу сжатия упругой пружины.

Деформированное тело стремится восстановить свою первоначальную форму под действием силы упругой деформации, которая, как и в случае пружины, определяется по закону Гука.

Если сила упругости превышает силу сопротивления, действующую на тело со стороны окружающей среды, то сила упругости приведет тело в движение и начнет передавать ему живую силу, пропорциональную произведению массы на квадрат скорости. В то же самое время сила сопротивления будет уменьшать скорость движущегося тела, придавая ему отрицательное

ускорение. По величине этого ускорения с помощью формулы второго закона Ньютона рассчитывается величина силы сопротивления, работа которой уменьшает живую силу, так как последняя измеряется единицами работы.

Именно поэтому в механике Ньютона существует строгое доказательство того, что работа силы при перемещении материальной точки равна изменению кинетической энергии этой точки.

### *Литература*

1. *Бернулли И.* Рассуждение о законах передачи движений // Бернулли И. Избранные сочинения по механике / Под ред. В.П. Егоршина. М. – Л.: Гл. ред. технико-теорет. лит., 1937. С. 41–172.

### *Literatura*

1. *Bernulli I.* Rassuzhdenie o zakonax peredachi dvizhenij // Bernulli I. Izbranny'e sochineniya po mexanike / Pod red. V.P. Egorshina. M. – L.: Gl. red. texniko-teoret. lit., 1937. S. 41–172.

***V.A. Bubnov***

### **Physical Sense of Kinetic Energy of a Material Body**

The paper is devoted to the physical sense of the body kinetic energy as a living force emerging during force interaction.

*Key-words:* dead force; vis viva (living force); kinetic energy; elastic force; elastic strains.

**А.С. Кондратьев**

## **О представлении уравнения неразрывности сплошной жидкости в конечно-разностной форме**

Показано, что при конечно-разностном представлении уравнения неразрывности сжимаемой жидкости учет членов первого порядка малости, содержащих частные производные по координатам и времени, уменьшает допустимый шаг по времени, что необходимо учитывать при проведении численных расчетов.

*Ключевые слова:* уравнение неразрывности; сжимаемая жидкость; шаги по пространственным и временной переменным.

**В** случае отсутствия притока массы уравнение неразрывности сплошной среды получают, исходя из закона сохранения массы индивидуального объема сплошной среды, справедливого для классической, нерелятивистской, механики [1]. В декартовой прямоугольной системе координат уравнение может быть представлено в одном из эквивалентных видов:

$$\partial \rho / \partial t + \operatorname{div} (\rho V) = 0, \quad (1.1)$$

$$\partial \rho / \partial t + \partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z = 0, \quad (1.2)$$

где  $x, y, z$  — декартовы координаты;  $V$  — вектор скорости;  $u, v, w$  — составляющие скорости вдоль координатных осей  $x, y, z$  соответственно;  $t$  — время;  $\rho$  — плотность.

В работе [2] уравнение неразрывности выводится из условия, что для произвольного объема  $\tau$  в жидкой среде, ограниченного замкнутой поверхностью  $S$ , изменения массы в объеме  $\tau$  за счет потока жидкости, проходящего со скоростью  $V$  через поверхность  $S$ , равно и противоположно по знаку изменению массы за счет изменения плотности жидкости в объеме  $\tau$ . Поток жидкости, проходящей со скоростью  $V$  через малый элемент поверхности  $dS$  за время  $dt$ , равен:

$$dQ = \rho dt V dS = \rho dt V_n dS. \quad (2)$$

В выражении (2)  $V_n$  — проекция вектора скорости  $V$  на направление нормали ( $n$ ) к поверхности.

Примем, что в выражении (2) плотность и скорость должны быть равны средним значениям в интервал времени  $dt$ , в течение которого поток жидкости пересекает поверхность  $S$ . Среднее значение плотности и скорости равны:

$$\rho(t + dt/2) = \rho(t) + (dt/2) \partial \rho / \partial t; V_n = V_n(t) + (dt/2) \partial V_n / \partial t. \quad (3)$$

Отметим, что в [2] принималось, что плотность и скорость в интервале времени  $dt$  сохраняют постоянные значения, соответствующие моменту времени  $t$ .

Общее количество жидкости, пересекающей поверхность  $S$  за время  $dt$ , равно:

$$\begin{aligned} Q_v = \iint_S \rho dt V dS = \iint_S \rho dt V_n dS = \iint_S [\rho(t) + (dt/2) \partial \rho / \partial t] [V_n(t) + \\ + (dt/2) \partial V_n / \partial t dt] dS = \iint_S \rho(t) V_n(t) dt dS + \\ + \iint_S \partial(\rho V_n) / \partial t (dt/2) dt dS + \iint_S (dt/2)^2 \partial \rho / \partial t \partial V_n / \partial t dt dS. \end{aligned} \quad (4)$$

Используя формулу Остроградского, выражение (4) преобразуем к виду:

$$\begin{aligned} Q_v = \iiint_{\tau} \operatorname{div}(\rho V) dt d\tau + \iiint_{\tau} \operatorname{div}(\partial(\rho V) / \partial t) (dt/2) dt d\tau + \\ + \iiint_{\tau} \operatorname{div}(\partial \rho / \partial t \partial V / \partial t) (dt/2)^2 dt d\tau. \end{aligned} \quad (5)$$

Количества жидкости, занимающие объем  $\tau$ , ограниченный замкнутой поверхностью  $S$ , в моменты времени  $t$  и  $(t + dt)$  выражаются интегралами:

$$\iiint_{\tau} \rho d\tau \text{ и } \iiint_{\tau} (\rho + \partial \rho / \partial t dt) d\tau, \quad (6)$$

а значит, за время  $dt$  это количество жидкости изменится на величину, как разность второго и первого выражений (6):

$$Q_p = \iiint_{\tau} \partial \rho / \partial t dt d\tau. \quad (7)$$

Величины  $Q_v$  и  $Q_p$  равны по величине, но противоположны по знакам, поэтому, приравнявая (5) и (7), получим:

$$\begin{aligned} \iiint_{\tau} [\partial \rho / \partial t + \operatorname{div}(\rho V) + \operatorname{div}(\partial(\rho V) / \partial t) (dt/2) + \\ + \operatorname{div}((\partial \rho / \partial t) (\partial V / \partial t)) (dt/2)^2] dt d\tau. \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку выражение (8) справедливо для любого произвольного объема жидкости, ограниченного замкнутой поверхностью и не равного нулю интервала времени  $dt$ , то подынтегральная функция (выражение в квадратных скобках (8)) должна быть равна нулю:

$$\begin{aligned} \partial \rho / \partial t + \operatorname{div}(\rho V) + \operatorname{div}(\partial(\rho V) / \partial t) (dt/2) + \\ + \operatorname{div}((\partial \rho / \partial t) (\partial V / \partial t)) (dt/2)^2 = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Полученное выражение отличается двумя последними членами от (1). Оба этих члена являются следствием того, что плотность и скорость жидкости за интервал времени истечения  $dt$  полагались не постоянными значениями, соответствующими моменту времени  $t$ , а определялись по средним значениям в интервале времени от  $t$  до  $(t + dt)$ .

Раскрывая выражения для дивергенций с учетом того, что у смешанной производной можно изменять порядок дифференцирования, представим уравнение (9) в виде:



$$\begin{aligned} & \partial \rho / \partial t + \partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z + \\ & + \partial [\partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z] / \partial t (dt/2) + \\ & + [\partial ((\partial \rho / \partial t) (\partial u / \partial t)) / \partial x + \partial ((\partial \rho / \partial t) (\partial v / \partial t)) / \partial y + \\ & + \partial ((\partial \rho / \partial t) (\partial w / \partial t)) / \partial z] (dt/2)^2 = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Выведем уравнение неразрывности, исходя из представлений о потоках среды, пересекающих грани элементарного параллелепипеда с центром в точке с координатами  $x, y$  и  $z$  со сторонами  $dx, dy, dz$ , и предположения о том, что изменения плотности и скорости при переходе на каждой из граней определяются средними значениями в интервале времени от  $t$  до  $(t + dt)$ , то есть:

$$\begin{aligned} \rho(x - dx/2, t + dt/2) &= \rho(x, t) + \partial \rho(x, t) / \partial t (dt/2) - \\ &- \partial \rho(x, t) / \partial x (dx/2) - \partial^2 \rho(x, t) / \partial x \partial t (dt/2) (dx/2); \\ \rho(x + dx/2, t + dt/2) &= \rho(x, t) + \partial \rho(x, t) / \partial t (dt/2) + \\ &+ \partial \rho(x, t) / \partial x (dx/2) + \partial^2 \rho(x, t) / \partial x \partial t (dt/2) (dx/2); \\ u(x - dx/2, t + dt/2) &= u(x, t) + \partial u(x, t) / \partial t (dt/2) - \\ &- \partial u(x, t) / \partial x (dx/2) - \partial^2 u(x, t) / \partial x \partial t (dt/2) (dx/2); \\ u(x + dx/2, t + dt/2) &= u(x, t) + \partial u(x, t) / \partial t (dt/2) + \\ &+ \partial u(x, t) / \partial x (dx/2) + \partial^2 u(x, t) / \partial x \partial t (dt/2) (dx/2). \end{aligned} \quad (11)$$

Используя выражения (11), получим, что разность между массой втекающей и вытекающей жидкости в направлении оси  $x$  за время  $dt$ , равна:

$$\begin{aligned} dQ_x &= [\rho(x - dx/2, t + dt/2) u(x - dx/2, t + dt/2) - \\ &- \rho(x + dx/2, t + dt/2) u(x + dx/2, t + dt/2)] dy dz dt = \\ &= -[\partial (\rho u) / \partial x + \partial (\partial (\rho u) / \partial x) / \partial t (dt/2) + \\ &+ \partial (\partial \rho / \partial t) (\partial u / \partial t) / \partial x (dt/2)^2] dx dy dz dt. \end{aligned} \quad (12)$$

Аналогичные выражения могут быть получены и для потоков жидкости  $dQ_y$  и  $dQ_z$  вдоль осей  $y$  и  $z$ . Общая разность масс втекающей и вытекающей жидкости вдоль трех координатных осей за время  $dt$  составляет:

$$\begin{aligned} dQ &= dQ_x + dQ_y + dQ_z = -\{\partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z + \\ &+ \partial [\partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z] / \partial t (dt/2) + \\ &+ [\partial ((\partial \rho / \partial t) (\partial u / \partial t)) / \partial x + \partial ((\partial \rho / \partial t) (\partial v / \partial t)) / \partial y + \\ &+ \partial ((\partial \rho / \partial t) (\partial w / \partial t)) / \partial z] (dt/2)^2\} dx dy dz dt. \end{aligned} \quad (13)$$

Полагая, что плотность в момент времени  $t$  в центре элементарного параллелепипеда с координатами  $x, y, z$  равна  $\rho(t)$ , а в момент времени  $(t + dt)$  равна  $\rho(t + dt) = \rho(t) + \partial \rho / \partial t$ , получим, что изменение массы в объеме элементарного параллелепипеда за время  $dt$  равно:

$$dQ_\rho = \partial \rho / \partial t dx dy dz dt. \quad (14)$$

Приравнивая выражения (13) и (14) и сокращения на множитель  $dx dy dz dt$ , снова получим уравнение неразрывности в виде уравнения (10).

Дальнейший анализ проведем, пренебрегая в уравнениях (9) и (10) членом второго порядка малости, в результате чего получим уравнение неразрывности в виде:

$$\partial \rho / \partial t + \text{div} (\rho V) + \text{div} (\partial (\rho V) / \partial t) (dt/2) = 0 \quad (15)$$

или в виде:

$$\begin{aligned} & \partial \rho / \partial t + \partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z + \\ & + \partial [\partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z] / \partial t (dt/2) = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Пятый член в правой части уравнения (16) представляет собой частную производную по времени от суммы второго, третьего и четвертого членов уравнения. Поэтому, если ввести обозначение, что:

$$F(x, y, z, t) = \partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z,$$

то пятый член в правой части можно представить в виде:

$$\partial [\partial (\rho u) / \partial x + \partial (\rho v) / \partial y + \partial (\rho w) / \partial z] / \partial t (dt/2) = \partial F / \partial t (dt/2).$$

Тогда уравнение (16) можно представить в виде:

$$\partial \rho / \partial t = - [F + \partial F / \partial t (dt/2)] = -F [1 + \partial \ln F / \partial t (dt/2)]. \quad (17)$$

Уравнение (17) имеет четкий физический смысл: средняя величина изменения производной плотности по времени в интервале времени от  $t$  до  $(t + dt)$  равна дивергенции вектора  $(\rho V)$  в момент времени  $t$  плюс половина его приращения (дифференциала) в интервале времени от  $t$  до  $(t + dt)$ . В принципе такое соотношение можно было бы привести и принять без доказательства.

При использовании уравнения неразрывности в конечно-разностной форме величина временного интервала мала, но конечна, поэтому предположение о том, что пренебрежение членами первого порядка малости по  $dt$  в уравнении неразрывности справедливо, каждый раз должно быть специально подтверждено. Проиллюстрируем это примером. Представим, что в пределах одного шага по пространственным и временным переменным можно использовать линейные аппроксимации, то есть выражения для  $\rho$ ,  $u$ ,  $v$  и  $w$  допускают представления:

$$\begin{aligned} u &= u_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 z + \alpha_4 t; \quad \rho = \rho_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 z + \beta_4 t; \\ v &= v_0 + \gamma_1 x + \gamma_2 y + \gamma_3 z + \gamma_4 t; \quad w = w_0 + \delta_1 x + \delta_2 y + \delta_3 z + \delta_4 t. \end{aligned} \quad (18)$$

Подставляя выражения (18) в уравнение неразрывности (1) и (16), определим приращение по времени  $\Delta t$  (1) и  $\Delta t$  (16), соответствующее уравнениям (1) и (16) при заданном разбиении по  $x$ ,  $y$  и  $z$ :  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  и  $\Delta z$ . Проведем необходимые выкладки, получим:

$$\Delta t (1) = A / B; \quad \Delta t (16) = 2 A / (3B), \quad (19)$$

где  $A = - [\beta_4 + \rho_0 \alpha_1 + u_0 \beta_1 + \rho_0 \gamma_2 + v_0 \beta_2 + \rho_0 \delta_3 + w_0 \beta_3 + (2 \alpha_1 \beta_1 + \beta_1 \gamma_2 + \gamma_1 \beta_2 + \delta_3 \beta_1 + \delta_1 \beta_3) \Delta x + (\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1 + 2 \beta_2 \gamma_2 + \delta_3 \beta_2 + \delta_2 \beta_3) \Delta y + (\alpha_1 \beta_3 + \alpha_3 \beta_1 + \beta_3 \gamma_2 + \beta_2 \gamma_3 + 2 \delta_3 \beta_3) \Delta z]$ ;  $B = (\alpha_1 \beta_4 + \alpha_4 \beta_1 + \beta_4 \gamma_2 + \gamma_4 \beta_2 + \delta_3 \beta_4 + \delta_4 \beta_3)$ .

Из выражений (19) следует, что значение  $\Delta t$  (16) в полтора раза меньше значения  $\Delta t$  (1), что представляется достаточно существенным при конечно-разностном представлении уравнения неразрывности. Покажем, что в существенно нестационарных течениях в уравнении неразрывности необходимо сохранять члены первого порядка малости по  $dt$ , то есть следует представлять уравнение неразрывности в виде уравнений (15) или (16). Представим, например, что изменение плотности в интервале времени от  $t$  до  $(t + dt)$  описывается экспонен-

циальным законом  $\rho = \rho_0 \exp(\beta t)$ , тогда  $\partial \rho / \partial t = \beta \rho_0 \exp(\beta t)$ . Положим, что это значение  $\partial \rho / \partial t$  можно рассматривать, как взятое со знаком минус первое приближение функции  $F(x, y, z, t)$ . Тогда для выражения  $[F + \partial F / \partial t (dt/2)]$  первое приближение можно записать в виде:

$$[F + \partial F / \partial t (dt/2)] = [1 + \beta (dt/2)] \beta \rho_0 \exp(\beta t). \quad (20)$$

Из выражения (20) следует, что если  $\beta dt \ll 1$ , то вторым членом в квадратных скобках можно пренебречь. Если же величина  $\beta dt \approx 1$ , то вторым членом в квадратных скобках пренебрегать нельзя. Отметим, что альтернативный переход к существенно более малому временному интервалу разбиения  $\Delta t$  ограничен погрешностями организации вычислительного процесса, которые не позволяют выбирать слишком малое разбиение по времени. Поэтому в практическом плане, если учет членов первого порядка малости в уравнении неразрывности сильно усложняет вычислительную процедуру, при выборе разбиения по времени необходимо постоянно контролировать выполнение условий, что:

$$\operatorname{div}(\rho V) \gg \operatorname{div}(\partial(\rho V) / \partial t) (dt/2) \quad (21)$$

или в виде:

$$\begin{aligned} \partial(\rho u) / \partial x + \partial(\rho v) / \partial y + \partial(\rho w) / \partial z \gg \partial[\partial(\rho u) / \partial x + \\ + \partial(\rho v / \partial y) + \partial(\rho w) / \partial z] / \partial t (dt/2). \end{aligned} \quad (22)$$

Получим уравнение неразрывности в сферической системе координат для случая, когда плотность и скорость не зависят от угловых координат, а являются функцией только времени и радиуса. Можно показать, что в этом случае общая разность масс жидкости, вытекающей через сферическую поверхность радиуса  $(r - dr/2)$  и вытекающей через сферическую поверхность радиуса  $(r + dr/2)$  за время  $dt$ , составляет:

$$\begin{aligned} dQ = -4\pi \{r^2[\partial(\rho u) / \partial r + (dt/2) \partial^2(\rho u) / \partial t \partial r + \\ + (dt/2)^2 \partial(\partial \rho / \partial t) (\partial u / \partial t) / \partial r] + r[2\rho u + dt \partial(\rho u) / \partial t + \\ + (dt)^2 / 2 (\partial \rho / \partial t) (\partial u / \partial t) + (dr)^2 / 2 (\partial \rho / \partial r) (\partial u / \partial r) + \\ + (dr)^2 dt / 4 (\partial u / \partial r) \partial^2(\rho) / \partial t \partial r + (dr)^2 dt / 4 (\partial \rho / \partial r) \partial^2(u) / \partial t \partial r + \\ + (dr dt)^2 / 8 \partial^2(\rho) / \partial t \partial r \partial^2(u) / \partial t \partial r]\} dr dt. \end{aligned} \quad (23)$$

Полагая, что плотность жидкости в момент времени  $t$  равна  $\rho(t)$ , а в момент времени  $(t + dt)$  равна  $\rho(t + dt) = \rho(t) + \partial \rho / \partial t$ , получим, что изменение массы в элементарном объеме между сферическими поверхностями с радиусами  $(r + dt/2)$  и  $(r - dr/2)$  за время  $dt$  равно:

$$dQ_p = 4\pi r^2 \partial \rho / \partial t dr dt. \quad (24)$$

Сохраняя в выражении (23) только члены первого порядка малости и приравнявая полученное выражение выражению (24), получим:

$$\partial \rho / \partial t + [\partial(r^2 \rho u) / \partial r + (dt/2) \partial(r^2 \partial(\rho u) / \partial t) / \partial r] / r^2 = 0. \quad (25)$$

Если ввести обозначение  $F_s = \rho u [1 + (dt/2) \partial \ln(\rho u) / \partial t]$ , то уравнение (25) можно представить в виде:

$$\partial \rho / \partial t + 2 F_s / r + \partial F_s / \partial r = 0. \quad (25^*)$$

При  $r \rightarrow \infty$  и замене обозначения  $r$  на  $x$  выражение (25) переходит в одномерное уравнение неразрывности (16), а уравнение (25\*) подобно уравнению (17). В случае несжимаемой жидкости  $\rho = const$  и при  $dt \rightarrow 0$  уравнение (25) переходит в одномерное уравнение неразрывности в сферических координатах, приведенное в [1].

Положим, что  $u = u_0 \exp(\alpha_1 r + \alpha_4 t)$ , а  $\rho = \rho_0 \exp(\beta_1 r + \beta_4 t)$ . Подставляя эти соотношения непосредственно в (25) и при  $dt \rightarrow 0$ , получим:

$$\begin{aligned} \beta_4 + u_0 \exp(\alpha_1 r + \alpha_4 t) (2/r + \alpha_1 + \beta_1) [1 + (dt/2)(\alpha_4 + \beta_4)] &= 0, \\ \beta_4 + u_0 \exp(\alpha_1 r + \alpha_4 t) (2/r + \alpha_1 + \beta_1) &= 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Из сравнения двух последних выражений следует, что в этом случае, а также если  $(\alpha_4 + \beta_4) dt \ll 1$ , вторым членом в квадратных скобках в уравнении (25) можно пренебречь. Если же величина  $(\alpha_4 + \beta_4) dt \approx 1$ , то этого делать нельзя.

Аналогично можно показать, что уравнение неразрывности в цилиндрической системе координат для случая, когда плотность и скорость не зависят от угловой и осевой координат, а являются функцией только времени и радиуса, имеет вид:

$$\partial \rho / \partial t + [\partial (r \rho u) / \partial r + (dt/2) \partial (r \partial (\rho u) / \partial t) \partial r] / r = 0. \quad (27)$$

Если ввести обозначение  $F_c = \rho u [1 + (dt/2) \partial \ln(\rho u) / \partial t]$ , то уравнение (27) можно представить в виде:

$$\partial \rho / \partial t + F_s / r + \partial F_s / \partial r = 0. \quad (27^*)$$

При  $r \rightarrow \infty$  и замене обозначения  $r$  на  $x$  выражение (27) переходит в одномерное уравнение неразрывности (16), а уравнение (27\*) подобно уравнению (17). В случае несжимаемой жидкости  $\rho = const$  и при  $dt \rightarrow 0$  уравнение (27) переходит в одномерное уравнение неразрывности в цилиндрических координатах, приведенное в [1].

В случае если жидкость несжимаема, отмеченные эффекты не проявляются, так как во все добавочные члены входят частные производные плотности по времени или координатам, которые в этом случае равны нулю.

Проведенный анализ уравнения неразрывности показывает, что учет членов более высокого порядка малости уменьшает допустимый интервал разбиения при конечно-разностном представлении этого уравнения, что необходимо учитывать при выполнении численных расчетов с использованием уравнения неразрывности при нестационарном течении сжимаемых жидкостей.

### Литература

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970. 904 с.
2. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т. II. М.: Наука, 1974. 656 с.

*Literatura*

1. *Lojczyanskij L.G.* Mexanika zhidkosti i gaza. M.: Nauka, 1970. 904 s.
2. *Smirnov V.I.* Kurs vy'sshej matematiki. T. II. M.: Nauka, 1974. 656 s.

*A.S. Kondratiev*

**Presentation of the Fluid Continuity Equation  
in a Finite Difference Form**

The paper shows that at finite-difference presentation of compressible liquid continuity equation, the accountancy of first-order smallness members, containing partial directional and temporal derivatives, reduces the admissible temporal pitch, which is to be taken into consideration while computation.

*Key-words:* continuity equation; compressible liquid; transition of spatial and temporal variables.

**М.Н. Жидкова,  
В.Ю. Котов,  
В.К. Лауринавичюте**

## **Ионная ассоциация в водно-глициновых растворах гексацианоферрата диквата**

Методами спектрофотометрии и циклической вольтамперометрии изучены процессы ассоциации ионов в водно-глициновых растворах гексацианоферрата диквата. На основании полученных данных с привлечением модели Фуосса рассчитаны концентрации ионных форм в системах и молярные коэффициенты поглощения ионных ассоциатов. Показано, что с увеличением концентрации глицина в системе происходит уменьшение расстояния между ионами, входящими в состав ионного ассоциата. Полученные данные сопоставлены с аналогичными для водно-сахарозных растворов.

*Ключевые слова:* ионная ассоциация; молярный коэффициент поглощения; спектрофотометрия; циклическая вольтамперометрия.

### **Теоретическая часть**

**К**онцентрационные зависимости поглощения ( $A$ ) в максимуме полосы внешнесферного переноса заряда ( $\nu_{max}$ ) широко используются для оценки констант устойчивости ( $K_{уст}$ ) и молярных коэффициентов поглощения ( $\epsilon$ ) ионных пар. В работе [4] исследованы концентрационные зависимости поглощения в максимуме полос переноса заряда ионных ассоциатов, образующихся в растворах гексацианоферрата диквата ( $Dq$ ) [3] в водно-сахарозной системе. На основании полученных данных в рамках модели Фуосса [2] были рассчитаны концентрации ионных форм. С использованием независимо определенных молярных коэффициентов поглощения ионных пар и ионных тройников (при допущении их равных величин и независимости от концентрации сахарозы в системе) были рассчитаны концентрационные зависимости поглощения в системах. Рассчитанные и экспериментально полученные зависимости практически совпадают, что позволило авторам [4] сделать вывод о пригодности предложенного в работе алгоритма вычисления контактного расстояния и модели Фуосса для описания процессов ионной ассоциации в растворах гексацианоферрата диквата.

В водно-сахарозных системах увеличение концентрации сахарозы сопровождается уменьшением статической диэлектрической постоянной раствора ( $D_s$ ). При этом сольватация ионов происходит преимущественно с участием растворителя с более высокой диэлектрической постоянной, в данном

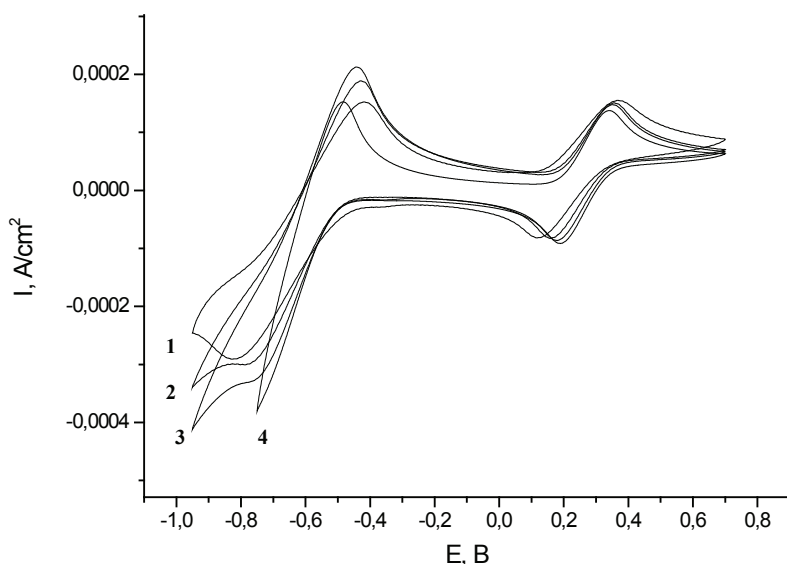
случае воды. Системы, где в качестве косольвента присутствует вещество, увеличивающее диэлектрическую постоянную раствора, практически не изучены. В настоящей работе исследованы растворы гексацианоферрата диквата в системе «вода – глицин». Концентрация глицина для изучаемых систем подбиралась в соответствии с имеющимися справочными данными по величинам диэлектрической проницаемости растворов [1: с. 276]. Алгоритм вычисления межиионного расстояния в ассоциатах и доли ионных форм аналогичен использованному в [4]. Для оценки межиионного расстояния в ассоциатах по положению полос внешнесферного переноса заряда определяли энергию оптического перехода. При вычитании из нее энергии, соответствующей разнице равновесных потенциалов квазиобратимых процессов окисления-восстановления в растворе гексацианоферрата диквата ( $\Delta E$ , рис. 1), получали величины энергии реорганизации системы ( $\chi$ , табл. 1):

$$E_{hv} = \Delta E + \chi. \tag{1}$$

Таблица 1

**Спектральные и электрохимические параметры, необходимые для вычисления контактного расстояния между ионами**

| $C_{\text{глицин}}, \text{ моль/л}$ | $D_s$ [1] | $\nu_{\text{max}}, \text{ см}^{-1}$ | $E_{\text{hv}}, \text{ эВ}$ | $\Delta E, \text{ В}$ | $s, \text{ эВ}$ | $a, \text{ \AA}$ |
|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| 0                                   | 78,5      | 17 200                              | 2.132                       | 0.860                 | 1.272           | 6.58             |
| 0,875                               | 98,03     | 17 340                              | 2.150                       | 0.855                 | 1.295           | 6.37             |
| 1,750                               | 117,5     | 17 500                              | 2.169                       | 0.845                 | 1.325           | 6.15             |
| 2,500                               | 134,5     | 17 630                              | 2.186                       | 0.840                 | 1.346           | 5.99             |



**Рис. 1.** Циклические вольтамперограммы 0,01 моль/л  $Dq_2[Fe(CN)_6]$  в воде (1) и растворах глицина с концентрацией 0,875 (2), 1,75 (3), 2,5 (4) моль/л на платиновом электроде при скорости развертки потенциала 50 мВ/с.

Для перехода от энергий реорганизации ( $\chi$ ) в процессе электронного перехода к энергии реорганизации растворителя ( $\chi_0$ ) сумму внутрисферной составляющей энергии реорганизации ( $\chi_i$ ) и энергии реорганизации ионной атмосферы ( $F_\chi$ ) считали равной 0,064 эВ [4]:

$$\chi = \chi_i + F_\chi + \chi_0 = \chi_0 + 0,064. \quad (2)$$

Полученные значения  $\chi_0$  обратно пропорциональны контактному расстоянию между ионами ( $a$ ) [4]:

$$\chi_0 \approx e^2 (1/a) \cdot (1/D_{op} - 1/D_s), \quad (3)$$

где  $e$  — заряд электрона,  $D_{op}$  — оптическая диэлектрическая постоянная.

Согласно таблице 1 величина  $a$  в изучаемой системе уменьшается с ростом концентрации глицина. Этим она отличается от водно-сахарозной, где контактное расстояние практически не зависит от концентрации сахарозы. При уменьшении контактного расстояния следует ожидать большего перекрытия орбиталей взаимодействующих ионов и увеличения молярных коэффициентов поглощения ионных ассоциатов.

Результаты расчета долевого распределения ионных форм для растворов с различной концентрацией глицина представлены в таблице 2.

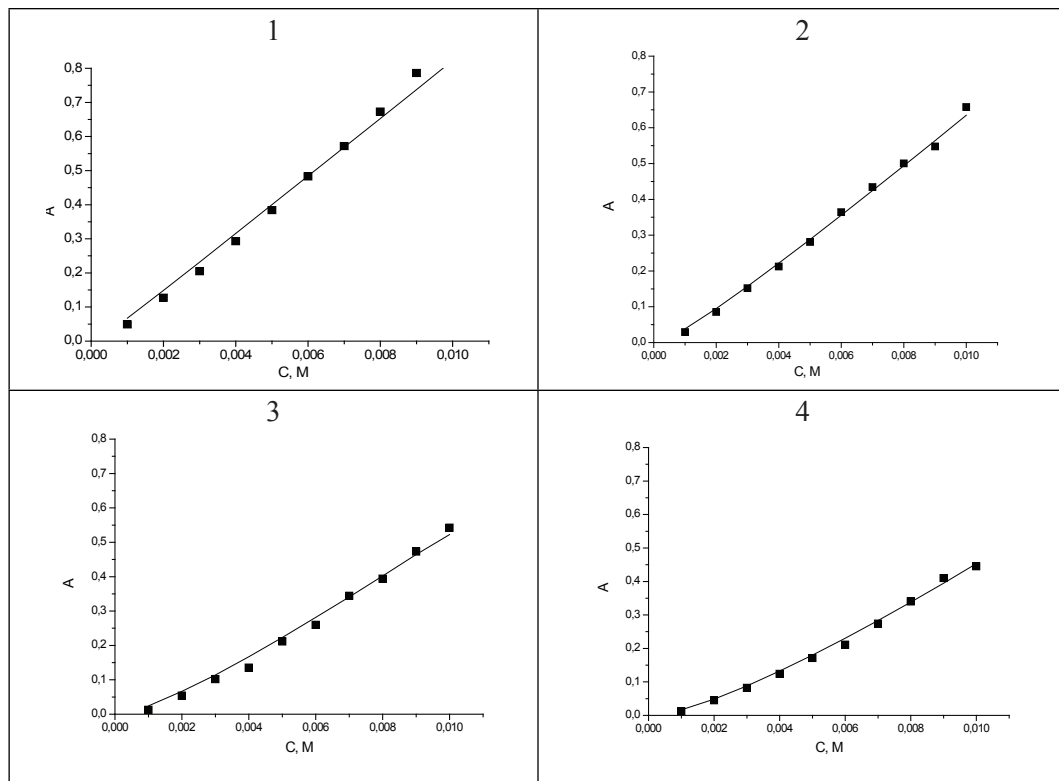
Таблица 2

**Доля ионных форм и параметры светопоглощения  
в водно-глициновых растворах гексацаноферрата диквата (0,01 моль/л)**

| $C_{\text{глицин}}$ , моль/л | $a$ , Å | Доля ионных пар | Доля ионных тройников | $\lambda$ | $\epsilon$ , л/ моль см |
|------------------------------|---------|-----------------|-----------------------|-----------|-------------------------|
| 0                            | 6.58    | 0,653           | 0,095                 | 0,878     | 110                     |
| 0,875                        | 6.37    | 0,490           | 0,048                 | 0,658     | 118                     |
| 1,750                        | 6.15    | 0,360           | 0,027                 | 0,542     | 135                     |
| 2,500                        | 5.99    | 0,285           | 0,017                 | 0,445     | 150                     |

Исходя из расчетных долей ионных форм (табл. 2) и экспериментальных зависимостей оптической плотности, в максимуме полосы поглощения (рис. 2), были оценены значения молярных коэффициентов поглощения ионных ассоциатов. Приведенные в таблице 2 величины  $\epsilon$  возрастают с увеличением концентрации глицина в системе, несмотря на то, что в целом поглощение в системе уменьшается. Наблюдаемые изменения молярных коэффициентов поглощения с увеличением концентрации глицина согласуются с уменьшением межионного контактного расстояния и объясняются сольватацией ионных ассоциатов глицином. По-видимому, уменьшение контактного расстояния при пересольватации связано с частичным выталкиванием молекул воды из межионного пространства присутствующих в растворе ионных ассоциатов.





**Рис. 2.** Зависимость оптической плотности в максимуме полосы внешнесферного переноса заряда от концентрации (с) водного раствора  $Dq_2[Fe(CN)_6]$  (1) и растворов глицина с концентрацией 0,875, 1,75 и 2,5 моль/л (2–4 соответственно). Точки отвечают экспериментальным данным, линии — расчетным. Величины  $\epsilon$ , использованные в расчете, приведены в таблице 2.

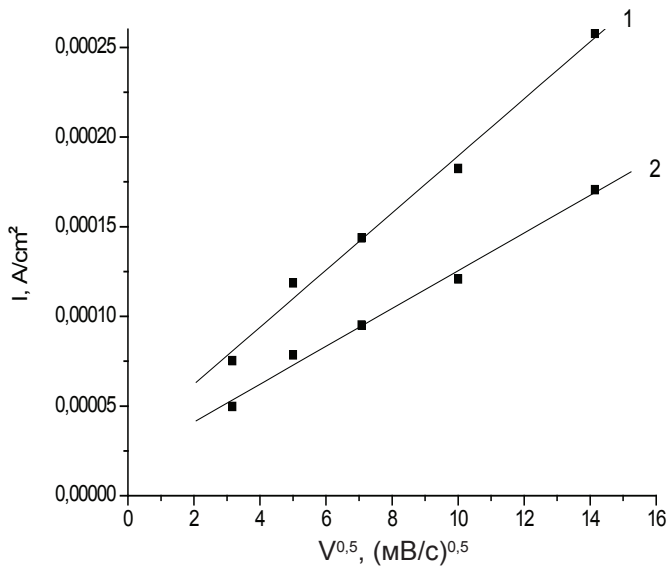
### Экспериментальная часть

Гексацианоферрат диквата гексагидрат  $Dq_2[Fe(CN)_6] \cdot 6H_2O$  ( $Dq = N,N$ -этилен-2,2' бипиридин) получен согласно [3]. В работе использовали глицин (Pharm. grade, Panreac) и свежеперегнанную дистиллированную воду.

Электронные спектры поглощения регистрировали при температуре 25°C на спектрофотометре Specord 50РС в диапазоне 400–700 нм в кварцевых кюветах толщиной 1 см.

Значения оптической диэлектрической постоянной рассчитывали из показателей преломления растворов, измеренных на рефрактометре ИРФ-22 при 25°C.

Циклические вольтамперограммы регистрировали с использованием потенциостата-гальваностата Autolab PGSTAT30. Измерения проводили в трехэлектродной стеклянной ячейке с использованием насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения и платиновых проволоки и пластинки в качестве рабочего и вспомогательного электродов соответственно. Истинную поверхность рабочего электрода определяли по пику десорбции кислорода согласно [5]. С помощью спектроскопии импеданса предварительно оценивали омические потери в систе-



**Рис. 3.** Зависимость токов ( $I$ ) окисления  $Dq^+$  (1) и  $[Fe(CN)_6]^{4-}$  (2) от квадратного корня из скорости развертки потенциала ( $V$ ) в водном растворе, содержащем 0,01 моль/л  $Dq_2[Fe(CN)_6]$  и 0,875 моль/л глицина.

ме и при измерении вольтамперограмм компенсировали их аппаратными средствами. Линейная зависимость тока от квадратного корня из скорости развертки потенциала (рис. 3) свидетельствует о диффузионном контроле переноса заряда в системе.

### Литература

1. Ахадов Я.Ю. Диэлектрические свойства бинарных растворов. М.: Наука, 1977. 400 с.
2. Fuoss R.M. Ionic association. III. The equilibrium between ion pairs and free ions // J.Amer.Chem.Soc. 1958. V. 80. P. 5059–5062.
3. Kotov V.Yu., Ilyukhin A.B., Lunina V.K., Shpigun L.K. Diquat hexacyanoferrate as a double redox probe for monitoring polymer-modified electrode surfaces // Mendeleev Commun. 2005. V. 15. P. 95–96.
4. Kotov V.Yu., Laurinavichute V.K., Tsarevskii I.I. Simulation of ion association in hexacyanoferrate solutions // Mendeleev Commun. 2007. V. 17. P. 100–101.
5. Trasatti S., Petrii O.A. Real surface area measurements in electrochemistry // J. Electroanal. Chem. 1992. V. 327. P. 353–376.

### Literatura

1. Axadov Ya. Yu. Die'lektricheskie svojstva binarny'x rastvorov. M.: Nauka, 1977. 400 s.

2. *Fuoss R.M.* Ionic association. III. The equilibrium between ion pairs and free ions // *J. Amer. Chem. Soc.* 1958. V. 80. P. 5059–5062.

3. *Kotov V.Yu., Ilyukhin A.B., Lunina V.K., Shpigun L.K.* Diquat hexacyanoferrate as a double redox probe for monitoring polymer-modified electrode surfaces // *Mendeleev Commun.* 2005. V. 15. P. 95–96.

4. *Kotov V.Yu., Laurinavichute V.K., Tsarevskii I.I.* Simulation of ion association in hexacyanoferrate solutions // *Mendeleev Commun.* 2007. V. 17. P. 100–101.

5. *Trasatti S., Petrii O.A.* Real surface area measurements in electrochemistry // *J. Electroanal. Chem.* 1992. V. 327. P. 353–376.

*M.N. Zhidkova,*

*V.Yu. Kotov,*

*V.K. Laurinavichute*

### **Ion Association in Hexacyanoferrate Diquate Water-glycine Solutions**

Ion association processes in diquate hexacyanoferrate water-glycine solutions are studied through electronic absorption spectroscopy and cyclic voltammetry. Concentration of ionic forms in systems and extinction coefficients of ion associates are calculated on the basis of the received data with exploiting the Fuoss model. The increase of glycine concentration in system turns to result in the reduction of interionic distances. The obtained data are compared with similar ones for water-sucrose solutions.

*Key-words:* ion association; extinction coefficient; spectrophotometry; cyclic voltammetry.

**А.Ж. Низамов,**  
**А.Н. Бовт**

## Уравнения состояния пористых горных пород

В работе рассматриваются уравнения, описывающие связь давления с плотностью в упругопластической пористой среде, поры которой заполнены жидким и газообразным флюидом, как наиболее близкую к реальной среде модель.

*Ключевые слова:* упругость; пластичность; деформации; поры; флюид; давление; напряжения; плотность.

**В** упругой области деформации определяются законом Гука, который можно записать в дивергентной форме:

$$\dot{e}_{ij}^e = \frac{1}{3K} \dot{\sigma}_{ij} \delta_{ij} + \frac{1}{G} \left( \dot{\sigma}_{ij} - \frac{1}{3} \dot{\sigma}_{ij} \delta_{ij} \right), \quad (1)$$

где  $\dot{e}_{ij}^e$  — тензор скорости деформаций;  $K$  — модуль всестороннего сжатия;  $G$  — модуль сдвига;  $\dot{\sigma}_{ij}$  — тензор скорости изменения напряжений.

Точкой обозначена производная по времени. Такая запись закона Гука оказывается удобной в случае нелинейных деформаций, когда модули упругости сами являются функциями напряжений. При наличии неупругих деформаций полные деформации можно представить в виде суммы обратимых упругих деформаций  $e^e$  и необратимых (пластических) деформаций  $e^p$ :

$$e_{ij} = e_{ij}^e + e_{ij}^p. \quad (2)$$

В этом случае необходимо установить связь между пластическими деформациями и приложенными напряжениями, учитывая особенности деформирования пористых сред, связанные с затеканием пор и наличием в порах насыщающего флюида.

Рассмотрим три модели деформирования пористых насыщенных сред, которые позволяют описать поведение вышеуказанных типов горных пород.

Слабосцементированные и хрупкоразрушаемые среды. Эти типы пород рассматриваются в одном разделе в связи с тем, что после разрушения хруп-

кой породы ее структура очень близка к структуре слабосцементированных или вообще не сцементированных сред. Деформации хрупких сред до начала разрушения носят упругий характер и описываются уравнением (1). Предел прочности таких сред в случае сжимающих напряжений определяется критерием Кулона с учетом закона Терцаги:

$$|\tau| = k P_{эфф} + Y; P_{эфф} = P - P_{\phi}, \quad (3)$$

где  $\tau$  — касательное напряжение;  $k$  — коэффициент сухого трения;  $Y$  — сцепление;  $P, P_{\phi}$  — соответственно среднее давление в среде и давление насыщающего флюида.

Линейная зависимость прочности хрупкой породы от эффективного давления справедлива при достаточно малых значениях  $P_{эфф}$ . При больших эффективных давлениях прочность среды перестает зависеть от давления. Это можно учесть, вводя зависимость коэффициента сухого трения от давления в виде:

$$k(P_{эфф}) = \frac{k_0}{1 + P_{эфф}/P_m}. \quad (4)$$

Величины  $Y, k_0, P_m$  являются характеристиками среды. В частности, для гранита величина  $k_0 \approx 0,7; Y \approx 35$  МПа;  $P_m \approx 2 \times 10^3$  МПа.

При достижении предела прочности, определяемого уравнением (3), происходит разрушение среды на отдельные части. Дальнейшая деформация разрушенной среды происходит так же, как и в случае несцементированных пород. Структуру разрушенной среды будем характеризовать структурной пористостью твердого скелета  $m_c$  (пористость в ненагруженном состоянии). Текущая пористость  $m$  нагруженной среды зависит от структурной пористости и в соответствии с законом Терцаги от эффективного давления  $P_{эфф}$ .

Для зернистой породы при малых напряжениях зависимость пористости от давления определяется из решения задачи Герца. В этом случае изменение пористости будет пропорционально  $P_{эфф}^{2/3}$ .

Учитывая, что при больших давлениях пористость должна стремиться к нулю, можно использовать интерполяционную формулу:

$$m = \frac{m_c}{1 + \tilde{c}(P_{эфф}/K_T)^{n_1}}, \quad (5)$$

где  $K_T$  — модуль объемного сжатия твердой фазы.

Рассматривая уравнение (5) при малых напряжениях, получаем  $n_1 = 2/3$ . Константа  $\tilde{c}$  определяется из аппроксимации экспериментальных данных по объемному сжатию разрушенной среды. На основе экспериментальных данных  $\tilde{c} = 30$ . Следует отметить, что поскольку константа  $\tilde{c}$  имеет чисто геометрический смысл, то можно считать, что она не зависит от типа породы.

Согласно выражению (5) эффективное закрытие пор происходит при давлениях порядка  $(K_T/\tilde{c})^{3/2}$ . Для большинства горных пород эта величина равна  $(2 \div 3) \cdot 10^2$  МПа, что хорошо коррелирует с имеющимися экспериментальными

ми данными даже для таких горных пород, как гранит. Таким образом, величину  $\tilde{c}$  можно считать константой для большинства горных пород.

Рассматривая объемные деформации  $e_D$  ненасыщенных сред и используя формулу (1.5), получаем следующее выражение:

$$-e_D = \frac{\tilde{c}(P/K_T)^{n_1} m_c}{1 + \tilde{c}(P/K_T)^{n_1} (1 - m_c)} + \frac{P}{K_T}, \quad (6)$$

где второе слагаемое в правой части учитывает сжимаемость твердой фазы.

При малых давлениях для пористых сред основную роль играет первое слагаемое в правой части уравнения (1.6). Для монолитных сред, когда  $m_c \rightarrow 0$ , основную роль играет второе слагаемое. После закрытия пор деформации пористой среды аналогичны деформациям монолитных сред.

Если сдвиговые напряжения в разрушенной породе невелики, то сдвиговые деформации будут носить упругий характер и описываться уравнением (1). Однако из-за эффективной сжимаемости контактов кусков разрушенной породы модуль сдвига будет зависеть от пористости. Если касательные напряжения меньше нормальных, то сдвиговые деформации определяются как сдвиговыми деформациями зерен, так и перераспределением напряжений на контактах. Учитывая это, для модуля сдвига разрушенной среды получаем выражение:

$$G^{-1} = G_T^{-1} + \xi_0 \frac{m_c}{1 - m_c} \frac{n_1 \tilde{c} (P_{эфф}/K_T)^{n_1} K_T}{[1 + \tilde{c} (P_{эфф}/K_T)^{n_1}]^2 P_{эфф}}, \quad (7)$$

где  $G_T$  — модуль сдвига для твердой компоненты;  $\xi_0$  — постоянный коэффициент, определяемый из аппроксимации экспериментальных данных.

Можно предположить, что величина  $\xi_0$  слабо зависит от типа горной породы. Используя экспериментальные данные М. Кэрролла и А. Холта, получим  $\xi_0 = 0,63$ .

При возрастании сдвиговых напряжений, когда их величина достигает значения, определяемого соотношением (3) (для разрушенной среды  $Y = 0$ ), начинается относительное движение кусков разрушенной породы. Это явление приводит к переупаковке частиц и изменению плотности среды. Эффект дилатансии приводит к изменению структурной пористости, которое можно представить в виде:

$$\frac{dm_c}{dt} = (1 - m_c) \Lambda \left( \frac{d\gamma^p}{dt} \right), \quad (8)$$

где  $\gamma^p$  — доля полной сдвиговой деформации  $\gamma_D$ , связанная с относительным движением частиц — пластическим течением разрушенной среды:

$$\frac{d\gamma^p}{dt} = \frac{d\gamma_D}{dt} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\tau}{G} \right). \quad (9)$$

Коэффициент дилатансии  $\Lambda$  зависит от пористости и эффективного давления. При больших значениях пористости происходит уплотнение среды, а при малых — разрыхление. Существует критическая пористость, зависящая от давления, при которой  $\Lambda = 0$ . Коэффициент дилатансии вблизи критического значения пористости можно представить в виде:

$$\Lambda(P_{эфф}, m) = \Lambda_0 \frac{m_*(P_{эфф}) - m}{1 - m}, \quad (10)$$

где  $m_*$  — критическая пористость.

Величину  $\Lambda_0$  можно определить из анализа экспериментальных данных по сыпучим средам, что дает  $\Lambda_0 \approx 0,5$ . Согласно соотношению (8) при сдвиговых деформациях при постоянном давлении пористость будет стремиться к критической. Этот факт является основой для определения зависимости  $m_*(P)$ . Из анализа экспериментальных данных по сыпучим средам получим следующую аппроксимационную формулу:

$$m_*(P) = 0,46 - 0,019 (\ln P / \tilde{P}_0)^{1,35},$$

где  $P_0 = 0,1$  МПа.

Из-за эффекта дилатансии при течении раздробленной среды совершается работа не только против сил трения между отдельными частицами, но и против сил всестороннего сжатия. Это приводит к зависимости коэффициента сухого трения от коэффициента дилатансии [2]:

$$K(\Lambda) = (0,72 + 0,65\Lambda - 0,47\Lambda^2) \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (11)$$

которая получается из обработки экспериментальных данных.

Средняя плотность  $\langle \rho \rangle$  и давление  $\langle P \rangle$  в среде связаны с плотностями и давлениями отдельных компонентов следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \langle \rho \rangle &= (1 - m)\rho_T(P_T) + m\rho_\phi(P_\phi) \\ \langle P \rangle &= (1 - m)P_T + m(P_\phi), \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\rho_T$  и  $\rho_\phi$  — плотности твердой компоненты и насыщающего флюида соответственно, зависимости которых от соответствующих давлений обычно представлены в следующем виде:

для твердой компоненты и жидкости —

$$P(\rho) = \frac{PC^2}{\Delta} \left[ \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{k_1} - 1 \right]; \quad (13)$$

для газа —

$$P(\rho) = P_i \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{k_1}, \quad (14)$$

где  $\rho_0$  и  $P_i$  — начальные плотность и давление.

Для замыкания системы определяющих уравнений можно использовать соотношение, отражающее взаимное движение компонент, то есть фильтрацию газа или жидкости через твердый скелет. В случае быстропротекающих механических явлений, таких как взрыв, характерное время фильтрации, как правило, велико по сравнению со временем протекания самого явления. В этом случае можно пренебречь взаимным движением компонент, что приводит к условию постоянства отношений масс флюида и твердой компоненты и может быть записано в виде:

$$(m \rho_\phi) / [(1 - m) \rho_T] = const. \quad (15)$$

Соотношения (1.1) – (1.15) полностью определяют деформации насыщенных пористых хрупкоразрушаемых или слабосцементированных сред под действием сжимающих напряжений. Согласно данной модели отличие сильносцементированных сред от слабосцементированных или сред с нарушенной структурой целиком определяется их прочностными свойствами в соответствии с соотношением (3).

При рассмотрении деформационных характеристик пластических сред с учетом затекания пор следует учитывать поведение среды при всестороннем сжатии, которое проиллюстрировано рисунком 1.

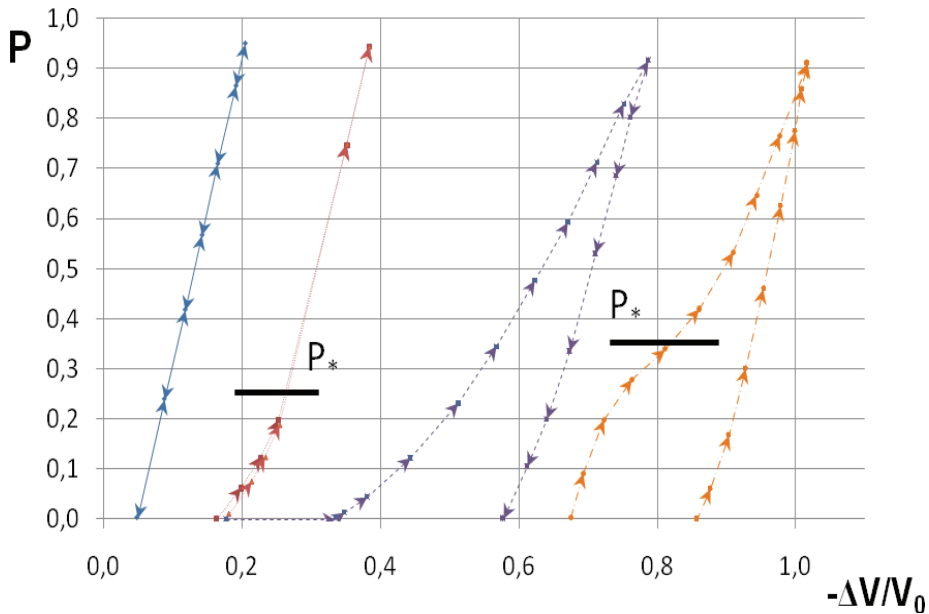


Рис. 1. Изменение объемных деформаций пород при гидростатическом сжатии.

В случае газонасыщенной среды изменением плотности твердой компоненты можно пренебречь, тогда плотность и давление флюида будут определяться характерной величиной газонасыщенных пор  $a_n$  [1].

Рассмотрим равновесие ячейки под действием давления  $P$  и при наличии в порах флюида с давлением  $P_\phi$ . Связь давления флюида с плотностью определяется соотношением (2). При этом плотность флюида изменяется по закону:

$$\frac{\rho_\phi}{\rho_\phi} = \left(\frac{a_{n_0}}{a_n}\right)^3 = \frac{\rho_T a_{n_0} (a_n - 1)}{\rho_{T_0} a_n (a_{n_0} - 1)}, \quad (16)$$

где  $\rho_T$  — плотность твердой компоненты.

Если же учесть связь между давлением и плотностью твердой компоненты согласно соотношению (4), то можно получить более точную связь  $P_\phi$  ( $\rho_\phi$ ) для газонасыщенной среды. Особенно существенен учет сжимаемости твердой компоненты для насыщенных жидкостью слабопористых сред.



При решении задачи о равновесии ячейки следует рассматривать три области изменения напряжений или параметра  $a_n$ :

- в первой области среда ведет себя упруго;
- во второй области с ростом напряжений вблизи поры появляется зона пластических деформаций.
- при еще больших напряжениях зона пластических деформаций заполняет всю ячейку, и наступает этап пластического затекания пор.

В результате можно прийти к следующим соотношениям, определяющим связь среднего давления в твердой компоненте  $P_T$  с параметром  $a_n$ :

$$\begin{aligned}
 P_T - P_\phi &= \frac{4}{3} G^T \frac{a_{n_0} - a_n}{a_n - 1}; \quad a_{n_1} < a_n < a_{n_0}; \\
 P_T - P_\phi &= \frac{2}{3} Y_0^T a_n \left[ \ln \frac{2G (a_{n_0} - a_n)}{Y_0^T (a_n - 1)} + 1 \right] - \frac{4}{3} G^T (a_{n_0} - a_n); \\
 a_{n_2} < a_n < a_{n_1}; \\
 P_T - P_\phi &= \frac{2}{3} Y_0^T a_n \ln \frac{a_n}{a_n - 1}; \quad 1 < a_n < a_{n_2},
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

где  $G^T, Y_0^T$  — соответственно модуль сдвига и предел текучести твердой компоненты;  $a_{n_0}$  — начальное значение.

Соотношения (17) определяют деформации пористого пластического тела при увеличении давления. В случае разгрузки твердая компонента также проходит в общем случае три стадии: чисто упругой деформации, частичного пластического течения и полного пластического течения. Объемные деформации насыщенных пластических сред в рамках данной модели характеризуются следующими основными особенностями. На первоначальной стадии среда ведет себя чисто упруго. При эффективном давлении  $P_* \approx Y_0^T \ln \frac{1}{m}$  начинается необратимое пластическое затекание пор, которое происходит при небольшом возрастании давления. Затекание пор приводит к возрастанию порового давления.

Эффект возрастания порового давления особенно существенен для сред, поры которых насыщены жидкостью. В газонасыщенных средах он не играет заметной роли. При разгрузке происходит упругий сброс напряжений. Если давление в порах на стадии сжатия достаточно возросло, то это может привести к пластической деформации при разгрузке. Однако полного сброса порового давления не происходит, и оно оказывается больше первоначального.

Уравнения (17) описывают только объемные деформации. Для идеальных пластических пористых сред необратимые сдвиговые деформации также происходят за счет пластического течения матрицы как целого. Однако горные породы из-за наличия существенных неоднородностей, как правило, разрушаются при сдвиге хрупким образом. При этом происходит разрушение на блоки, каждый из которых содержит большое число пор. Это разрушение

приводит к сбросу касательных напряжений. Поэтому в самих блоках сдвиговых пластических деформаций не возникает.

Основной особенностью пород, относящихся в основном к **осадочным цементированным породам** (песчаники, известняки и т.п.), является то, что объемные деформации, связанные с затеканием пор и эффектом дилатансии, по порядку величины одинаковы. Необратимые объемные деформации таких сред связаны не с пластическим течением матрицы как целого, а с пластическим течением цемента на контактах отдельных зерен. Из-за различия в размерах зерен и условиях на контактах таких сред не существует ярко выраженной области, характеризующей затекание пор. Пластические объемные деформации этих сред можно описать степенным законом:

$$e_1^P = A_1^P P^{K_1}, \quad (18)$$

где параметр пропорционален начальной пористости, а показатель  $K_1$  зависит от типа породы.

Следует отметить, что соотношение (18) справедливо только при давлениях, которые не превышают величины давлений, соответствующих полному затеканию пор. Это учтено в следующей интерполяционной формуле:

$$e_1^P = m_0 \frac{(P/\tilde{P}_0)^{K_1}}{1 + (P/\tilde{P}_0)^{K_1}},$$

где  $m_0$  — начальная пористость;  $\tilde{P}_0$  — давление, при котором происходит полное затекание пор.

Заметим, что при  $P \leq P_0$  это соотношение переходит в соотношение (18). При  $P > P_0$  величина объемных деформаций достигает своего максимального значения, соответствующего полному затеканию пор.

При достижении предела прочности, даваемого соотношением (3), происходит хрупкое разрушение среды. При этом дальнейшая сдвиговая деформация приводит к эффекту дилатансии:

$$e_2^P = \Lambda |\gamma^P|. \quad (19)$$

Общая объемная деформация такой среды состоит из двух слагаемых:  $e^P = e_1^P + e_2^P$ , каждое из которых необходимо учитывать. Однако при решении задачи о взрыве эти деформации возникают в различных областях. Затекание пор происходит в основном на фронте ударной волны, где достигаются максимальные сжимающие напряжения. Поскольку на фронте ударной волны одноосная деформация  $e^P = \Lambda \gamma^P \ll 1$ , то дилатансионным слагаемым, как это следует из равенства (19), в этой области можно пренебречь. В то же время вдали от фронта ударной волны затекание пор не происходит, и поэтому там основную роль играет эффект дилатансии, связанный с перестановкой кусков раздробленной породы. Следует отметить, что параметры модели, используемой для описания деформаций, должны определяться из экспериментальных данных. Эти параметры для некоторых горных пород приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Параметры модели для описания деформаций**

| Среда   | Плотность<br>$\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Показатель<br>затухания волны, $n$ | Параметр<br>среды, $1/k$ | Показатель<br>уплотнения среды, $\lambda_0$ |
|---------|---|------------------------------------|--------------------------|---|
| гранит  | 2,65                                    | 1,96                               | 1,17                     | 1,68  |
| соль    | 2,14                                    | 1,6                                | 1,57                     | 1,02  |
| туф     | 2,0                                     | 2,08                               | 1,57                     | 1,33  |
| песок   | 1,07                                    | 3,4                                | 4,35                     | 0,78  |
| аллювий | 1,6                                     | 3,04                               | 6,26                     | 0,49  |

Рассмотренные модели основных типов пористых сред с той или иной степенью достоверности позволяют описать поведение при динамических нагрузках практически всех известных горных пород. При этом учитываются основные эффекты, связанные с изменением внутренней структуры среды под воздействием приложенных динамических нагрузок. В частности, при подземном взрыве в рамках этих моделей удастся рассчитать изменение величины пористости, охарактеризовать перестройку порового пространства среды, определить значения остаточных напряжений и порового давления.

*Литература*

1. Бовт А.Н., Низамов А.Ж. Воздействие подземного взрыва на окружающую среду. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. 332 с.
2. Николаевский В.Н., Сырников Н.М., Шефтер Т.М. Динамика упругопластических дилатирующих сред // Успехи механики деформируемых сред. М.: Наука, 1975. С. 397–413.

*Literatura*

1. Bovt A.N., Nizamov A.Zh. Vozdejstvie podzemnogo vzry'va na okruzhayushhuyu sredy. M.: NIYaU MIFI, 2010. 332 s.
2. Nikolaevskij V.N., Sy'rnikov N.M., Shefter T.M. Dinamika uprugoplasticheskix dilatiruyushhix sred // Uspexi mexaniki deformiruemy'x sred. M.: Nauka, 1975. S. 397–413.

*A.Zh. Nizamov,  
A.N. Bovt*

**Equations of Mushy Rocks State**

The paper considers equations governing the relation between pressure and density in elasto-plastic porous medium, with liquid and gaseous fluid filled pores, as the closest realty-simulating model.

*Key-words:* elasticity; plasticity; deformation; pores; fluid; pressure; tension; density.

**Н.В. Зубков,  
В.М. Зубкова**

## **Азотные удобрения и динамика кадмия в системе «почва – растение»**

В статье приводятся результаты изучения влияния азотных удобрений на содержание кадмия в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, на поступление его в растения цикория корневого, также на продуктивность этой культуры в условиях Центрального района нечерноземной зоны Российской Федерации.

*Ключевые слова:* азотные удобрения; кадмий; цикорий корневой; поглощение; продукционный процесс.

**З**начение удобрений как источника питания растений и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур общеизвестно, однако данных по влиянию их на содержание в почве и растениях тяжелых металлов (далее — ТМ) недостаточно и большинство этих данных противоречиво. Ряд исследователей отмечает возможность накопления в почве ТМ в результате внесения минеральных и органических удобрений [2: с. 75; 3: с. 90; 7: с. 68]. По данным других исследователей, применение минеральных удобрений в рекомендуемых научно-обоснованных дозах не приводит к существенным изменениям содержания ТМ в почве и загрязнению растениеводческой продукции [10: с. 89; 8: с. 19; 15: с. 14; 13: с. 22–23]. Наименее изученным, на наш взгляд, в настоящее время является вопрос влияния азотных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в условиях загрязнения почвы ТМ, несмотря на значимость азота в питании растений и наличие в отдельных хозяйствах Нечерноземья моноазотной системы удобрений.

Анализ ста проб азотных, фосфорных и калийных удобрений на содержание в них девяти тяжелых металлов (кобальта, хрома, меди, марганца, никеля, свинца, цинка, мышьяка и кадмия), проведенный Центральным институтом агрохимического обслуживания (ЦИНАО), показал, что с точки зрения содержания тяжелых металлов наиболее безопасными являются азотные удобрения, среди которых более загрязнены сульфат аммония и аммиачная вода. В аммиачной селитре, наиболее часто применяемой в настоящее время в хозяйствах, не обнаружены такие загрязнители, как *Cd*, *As*, *Pb*. Кобальт в количестве 1 мг/кг обнаружен в селитре марки «Б» Новгородского, Череповецкого, Новомосковского к/о «Азот»; содержание хрома в большинстве проб колебалось от 9 до 22 мг/кг; меди — 5–18; марганца — 10–76; никеля — 4–17; цинка — 6–30 [11: с. 13–15].

Таким образом, при практикуемых средних дозах азотных удобрений ежегодно на 1 кг почвы будет поступать менее ста тысячных долей мг ТМ.

Однако доступность почвенных соединений ТМ растениям может повышаться за счет физиологической кислотности азотных удобрений [9: с. 21; 13: с. 22]. Особый интерес вызывает влияние этого фактора на подвижность и поступление в растения кадмия (*Cd*) как одного из наиболее токсичных загрязнителей окружающей среды.

Среднее содержание кадмия в почвах мало отличается от его содержания в литосфере и составляет  $n \times 10^{-5}$ %. По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, загрязненные кадмием почвы по стране составляют примерно 0,26% от обследованных площадей. Они в основном сосредоточены в Республике Коми (5,6%); Оренбургской области (4,2%); Мурманской области (3,0%); Кемеровской области (2,0%); Брянской области (1,8%); Белгородской области (1,3%) [1: с. 21–30].

По обобщенным данным Б.В. Золотарёвой, И.И. Скрипниченко, Н.А. Черных и др., содержание кадмия в подзолистых и дерново-подзолистых почвах СНГ составляет 0,56 мг/кг с пределами колебаний 0,30–2,40 [5: с. 80–85; 14: с. 58–65]. По нашим расчетам, среднее содержание валового кадмия в почвах Ярославской области варьирует в пределах 0,08–0,61 мг/кг, подвижных — 0,08–0,34 мг/кг [6: с. 113].

В данной работе внимание уделено влиянию азотных удобрений на динамику валовых и потенциально доступных форм кадмия.

Исследования проводились на мелкоделяночных полевых участках муниципального сельскохозяйственного предприятия (МСХП) «Новоселки» Ярославского района Ярославской области. Почва опытного участка — дерново-подзолистая среднесуглинистая со средним содержанием гумуса, высоким — подвижного фосфора и повышенным — калия; слабокислой реакцией среды. Исходное содержание *Cd* — 0,4 мг/кг почвы при содержании потенциально доступных форм 60–70%. В вариантах с искусственным загрязнением в почву вносили серноокислую соль кадмия из расчета на средний уровень загрязнения — 5 мг кадмия на 1 кг почвы. Изучение действия кадмия и доз азота 60 и 120 кг/га проведено на минеральном (*P60K90*) фоне удобрения. Азотные удобрения вносили в почву в форме аммиачной селитры. Закладка опыта, агрохимические анализы почв, растений и удобрений, статистическая обработка данных проводились по соответствующим ГОСТам и ОСТам, разработанным ЦИНАО и принятым в агрохимслужбе [12: с. 160–172; 4: с. 248–260; 16: с. 114–116]. Содержание ТМ в растительных образцах определяли атомно-абсорбционным методом.

В опытах использовали цикорий корневой сорта Ярославский. Технология выращивания сельскохозяйственных культур — общепринятая в зоне.

Как показали наши исследования, количество валовых форм *Cd* практически не зависело от погодных условий тех лет, в которые проводились исследования.

Доля потенциально-доступных форм кадмия на не загрязненной данным элементом почве превышала 60%, уменьшаясь в период вегетации в результате его реакций с почвой и поглощения растениями. Такой высокий процент потенциально-доступных форм элемента показывает наличие техногенного загрязнения.

В почве под цикорием количество валовых и потенциально доступных форм кадмия существенно возросло в вариантах с искусственным загрязнением и практически не зависело от вносимых азотных удобрений (табл. 1).

Таблица 1

## Влияние доз азота на динамику кадмия в почве под цикорием

| Варианты опыта  | мг/кг*          |             |             |             |             |
|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | количество дней |             |             |             |             |
|                 | 15              | 30          | 60          | 90          | 120         |
| 1. P60K90       | <u>0,22</u>     | <u>0,26</u> | <u>0,28</u> | <u>0,28</u> | <u>0,28</u> |
|                 | 0,55            | 0,40        | 0,32        | 0,31        | 0,31        |
| 2. PK N60       | <u>0,20</u>     | <u>0,17</u> | <u>0,15</u> | <u>0,17</u> | <u>0,19</u> |
|                 | 0,48            | 0,38        | 0,29        | 0,32        | 0,31        |
| 3. PK N120      | <u>0,22</u>     | <u>0,15</u> | <u>0,11</u> | <u>0,16</u> | <u>0,22</u> |
|                 | 0,50            | 0,40        | 0,30        | 0,38        | 0,41        |
| 4. PK + Cd      | <u>8,0</u>      | <u>5,8</u>  | <u>5,7</u>  | <u>5,3</u>  | <u>5,2</u>  |
|                 | 8,3             | 6,0         | 5,8         | 5,6         | 5,3         |
| 5. PK N60 + Cd  | <u>6,6</u>      | <u>4,8</u>  | <u>4,3</u>  | <u>6,9</u>  | <u>6,7</u>  |
|                 | 7,3             | 5,1         | 4,5         | 7,0         | 6,9         |
| 6. PK N120 + Cd | <u>5,8</u>      | <u>4,2</u>  | <u>4,1</u>  | <u>6,4</u>  | <u>6,3</u>  |
|                 | 6,5             | 4,7         | 4,2         | 6,7         | 6,7         |

\*В числителе — потенциально доступные формы, в знаменателе — валовые.

Для определения содержания кадмия в растениях в течение вегетационного периода отбирали образцы растений цикория на 30-й (3 пары настоящих листьев), 89-й (смыкание ботвы в междурядьях) и 120-й день вегетации (размыкание ботвы в междурядьях).

Содержание кадмия в растениях в первую очередь определялось количеством его в почве (табл. 2).

Таблица 2

## Влияние азотных удобрений на динамику содержания кадмия в растениях цикория, мг/кг

| Варианты опыта  | 1 пара настоящих листьев | 3 пары настоящих листьев |       | Смыкание ботвы |       | Размыкание ботвы |       |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------|----------------|-------|------------------|-------|
|                 |                          | корне-плоды              | ботва | корне-плоды    | ботва | корне-плоды      | ботва |
| 1. P60 K60      | 0,42                     | 0,27                     | 0,59  | 0,22           | 1,05  | 0,14             | 0,39  |
| 2. PK N60       | 0,50                     | 0,39                     | 0,92  | 0,23           | 1,04  | 0,17             | 0,61  |
| 3. PK N120      | 0,56                     | 0,55                     | 1,03  | 0,23           | 1,13  | 0,17             | 0,69  |
| 4. PK + Cd      | 13,70                    | 3,39                     | 13,62 | 2,71           | 19,89 | 1,71             | 12,26 |
| 5. PK N60 + Cd  | 14,20                    | 3,96                     | 12,25 | 3,25           | 26,75 | 3,07             | 14,07 |
| 6. PK N120 + Cd | 16,53                    | 4,20                     | 14,94 | 3,61           | 27,70 | 3,10             | 14,86 |

Действие азотных удобрений проявлялось по-разному. На не загрязненной кадмием почве в начале роста растений азот способствовал накоплению в них тяжелого металла. Применение азота на загрязненной почве приводило к увеличению на 20% количества элемента-загрязнителя в растениях цикория только при дозе 120 кг/га. В последующую фазу под действием азотных удобрений в значительно большей степени интенсифицировался процесс накопления *Cd* в растениях на не загрязненной этим элементом почве по сравнению с загрязненной. Так, содержание кадмия на незагрязненной почве в фазу трех пар настоящих листьев при внесении азота возросло в корнеплодах в 1,4–2,0 раза, при загрязнении — в 1,2 раза; в ботве при загрязнении содержание кадмия практически не изменилось, а на незагрязненной почве увеличивалось в 1,6–1,7 раза.

В ходе дальнейшей вегетации содержание кадмия в корнеплодах на незагрязненной почве по вариантам опыта выравнивалось; в ботве же цикория к периоду уборки азот вновь увеличивал содержание кадмия.

На загрязненной почве тенденция большего содержания кадмия при внесении азота сохранялась до уборки урожая. В период размыкания ботвы азот увеличивал содержание кадмия в корнеплодах в 1,8 раза, в ботве — в 1,2 раза, что, очевидно, связано со значительной ролью апоплазматического пути поступления кадмия в корнеплоды. Необходимо отметить превышение близкой к предельно допустимой концентрации (ПДК) в овощных культурах содержания *Cd* в корнеплодах на период уборки.

Относительное содержание кадмия в целых растениях цикория в вариантах без загрязнения под действием азотных удобрений несколько возрастало в первоначальный период роста и не изменялось в последующие периоды вегетации (табл. 3). Перед уборкой цикория, если судить по коэффициентам относительного поглощения *Cd*, рассчитанных по отношению к содержанию его в контрольном варианте (коэффициенты относительного поглощения  $KOP = \frac{C_k}{C}$ , где  $C_p$  — концентрация элемента в золе растений на изучаемом варианте,  $C_k$  — концентрация того же элемента в растениях на контрольном варианте), намечалась тенденция к снижению количества элемента-загрязнителя в целых растениях под действием внесенного азота.

Иначе складывалось влияние азотных удобрений на динамику содержания кадмия в растениях цикория при загрязнении почвы ТМ. Если в первые 30 дней вегетации увеличение содержания кадмия отмечено только при дозе азота 120 кг/га, то в последующие периоды вегетации отмечено стабильное возрастание содержания кадмия в растениях цикория и при внесении азота в дозе 60 кг/га (табл. 3).

Для выявления влияния азотных удобрений на интенсивность поступления кадмия в растения рассчитывалось количество элемента, поглощаемое за сутки (табл. 4).

Таблица 3

Влияние азотных удобрений на динамику содержания кадмия в целых растениях цикория и коэффициенты его относительного поглощения

| Варианты опыта  | Содержание, мг/кг |      |     | Относительное поглощение |      |      |
|-----------------|-------------------|------|-----|--------------------------|------|------|
|                 | 1                 | 2    | 3   | 1                        | 2    | 3    |
| 1. PK           | 0,5               | 0,7  | 0,3 | 1,0                      | 0,8  | 1,3  |
| 2. PK N60       | 0,8               | 0,6  | 0,3 | 1,6                      | 0,7  | 1,1  |
| 3. PK N120      | 0,9               | 0,7  | 0,3 | 1,9                      | 0,8  | 1,2  |
| 4. PK + Cd      | 10,3              | 11,8 | 3,8 | 21,8                     | 13,8 | 16,6 |
| 5. PK N60 + Cd  | 9,4               | 14,5 | 5,3 | 20,0                     | 16,9 | 22,9 |
| 6. PK N120 + Cd | 12,1              | 15,2 | 5,7 | 25,6                     | 17,6 | 24,6 |

1. 3 пары настоящих листьев. 27.06.98 (30 дней после появления всходов);
2. Смыкание ботвы. 25.08.98 (89 дней);
3. Размыкание ботвы. 25.09.98 (120 дней) после появления всходов.

Таблица 4

Динамика накопления Cd растениями цикория при внесении азотных удобрений, г/га  $\times 10^{-1}$ \*

| Варианты опыта  | За сутки |      |      | За период вегетации |      |      |
|-----------------|----------|------|------|---------------------|------|------|
|                 | 1        | 2    | 3    | 1                   | 2    | 3    |
| 1. PK           | 0,6      | 1,4  | 0,0  | 17                  | 82   | -1   |
| 2. PK N60       | 0,8      | 1,7  | 0,9  | 23                  | 100  | 28   |
| 3. PK N120      | 0,9      | 1,9  | 4,6  | 26                  | 113  | 142  |
| 4. PK + Cd      | 5,0      | 17,9 | 35,2 | 151                 | 1055 | 1090 |
| 5. PK N60 + Cd  | 7,4      | 29,6 | 48,0 | 221                 | 1748 | 1487 |
| 6. PK N120 + Cd | 11,4     | 32,0 | 58,3 | 342                 | 1887 | 1806 |

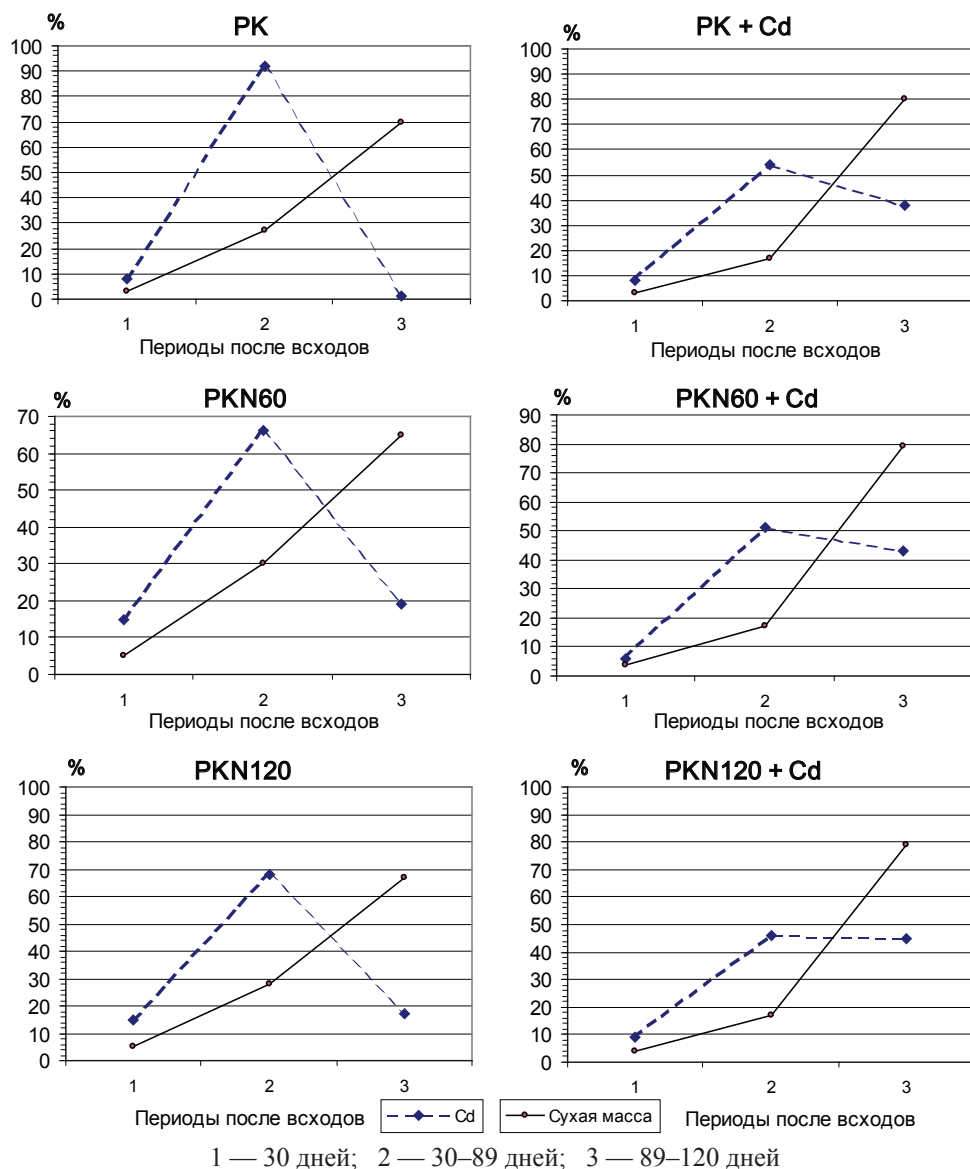
1. Всходы — 3 пары настоящих листьев (30 дней);
2. 3 пары настоящих листьев — смыкание ботвы (59 дней);
3. Смыкание ботвы — размыкание ботвы (31 день).

Почти во всех вариантах опыта, за исключением фонового и с меньшей дозой азота на незагрязненной почве, максимум поглощения Cd приходился на последний месяц вегетации. Среднесуточные размеры поглощения кадмия (растениями цикория) в этот период были выше, чем в начале вегетации, в 5–14 раз, и в середине вегетации — в 2–5 раз. Максимум поглощения Cd на фосфорно-калийном фоне и при внесении азота в дозе 60 кг/га на незагрязненной почве приходился на середину вегетации цикория. В последний месяц на фоновом варианте поглощение Cd прекращалось и даже отмечалось уменьшение абсолютного его количества; при дозе азота N60 среднесуточное накопление Cd в этот период уменьшалось в 1,9 раза; при дозе азота N120 — возрастало в 2,4 раза.



При загрязнении почвы *Cd* азотные удобрения увеличивали его поглощение в первый из указанных периодов в 1,5 и 2,3 раза; во второй в 1,7 и 1,8 раза и в третий — 1,4 и 1,7 раза.

Изучение интенсивности накопления сухого вещества и кадмия растениями цикория позволило установить, что темпы накопления сухой массы растениями отставали от темпов накопления кадмия. Азотные удобрения, практически не изменяя темпов накопления сухого вещества, уменьшали темпы накопления кадмия на незагрязненной почве во второй и третий месяцы вегетации на 17–19%; на загрязненной кадмием почве на 5–7% (рис. 1). Загрязнение почвы ТМ обусловило снижение темпов накопления сухого вещества.



**Рис. 1.** Темпы накопления сухой массы и кадмия растениями цикория в различные периоды после всходов (% от накопления в целом).

Изучение распределения сухой массы и кадмия между органами цикория показало, что по мере роста и развития цикория корневого в ходе вегетации на всех вариантах опыта стабильно возрастала доля сухой массы корнеплодов и уменьшалась доля ботвы (табл. 5). Загрязнение почвы ТМ практически не повлияло на динамику этого процесса. В течение всей вегетации в общем выносе кадмия преобладала доля ботвы, хотя в заключительный период отмечено преобладание доли корнеплодов в вариантах с внесением азотных удобрений на незагрязненном фоне.

Таблица 5

**Распределение сухой массы и кадмия между органами цикория при внесении азотных удобрений, % от общего выноса**

| Варианты опыта | 3 пары настоящих листьев |    |       |    | Смыкание ботвы |    |       |    | Размыкание ботвы |    |       |    |
|----------------|--------------------------|----|-------|----|----------------|----|-------|----|------------------|----|-------|----|
|                | корнеплоды               |    | ботва |    | корнеплоды     |    | ботва |    | корнеплоды       |    | ботва |    |
|                | А.С.М                    | Cd | А.С.М | Cd | А.С.М          | Cd | А.С.М | Cd | А.С.М            | Cd | А.С.М | Cd |
| 1. PK          | 38                       | 22 | 62    | 78 | 48             | 16 | 54    | 84 | 79               | 57 | 21    | 43 |
| 2. PK N60      | 32                       | 17 | 68    | 83 | 54             | 20 | 46    | 80 | 80               | 53 | 20    | 47 |
| 3. PK N120     | 30                       | 18 | 70    | 82 | 50             | 17 | 50    | 83 | 80               | 50 | 20    | 50 |
| 4. PK+Cd       | 33                       | 11 | 67    | 89 | 47             | 11 | 53    | 89 | 80               | 36 | 20    | 64 |
| 5. PK N60+Cd   | 34                       | 14 | 66    | 86 | 52             | 12 | 48    | 88 | 80               | 47 | 20    | 53 |
| 6. PK N120+Cd  | 27                       | 9  | 73    | 91 | 52             | 12 | 48    | 88 | 78               | 43 | 22    | 57 |

В наших исследованиях не выявлено отрицательного влияния загрязнения почвы кадмием на урожайность цикория, которая в отдельные годы при загрязнении существенно повышалась (табл. 6). Изучаемые дозы азотных удобрений давали достоверную прибавку урожая во все годы исследования. Урожайность цикория в зависимости от дозы азота на незагрязненной почве увеличивалась в среднем за 2 года на 28–34%; при загрязнении кадмием — на 25–31%, то есть эффективность азотных удобрений при загрязнении почвы кадмием не уменьшалась.

Таблица 6

**Влияние загрязнения почвы Cd на урожайность цикория**

| Варианты опыта  | 1998 г. |          | 2002 г. |          |
|-----------------|---------|----------|---------|----------|
|                 | т/га    | % к фону | т/га    | % к фону |
| 1. PK           | 17,9    | 100      | 18,3    | 100      |
| 2. PK N60       | 23,3    | 130      | 23,1    | 126      |
| 3. PK N120      | 24,4    | 136      | 23,9    | 131      |
| 4. PK + Cd      | 20,2    | 100      | 19,4    | 100      |
| 5. PK N60 + Cd  | 26,3    | 130      | 23,2    | 120      |
| 6. PK N120 + Cd | 27,7    | 137      | 24,1    | 124      |
| HCP 05          | 2,1     | —        | 2,4     | —        |

Отсутствие ингибирующего действия кадмия на эффективность азотных удобрений подтверждается расчетами коэффициента использования азота (табл. 7).

Таблица 7

**Коэффициенты использования азота удобрений растениями  
при загрязнении почвы кадмием**

| Варианты опыта  | Цикорий                  |                               |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------|
|                 | общий вынос азота, кг/га | коэффициенты использования, % |
| 1. РК           | 61                       | –                             |
| 2. РК N60       | 88                       | 45                            |
| 3. РК N120      | 92                       | 26                            |
| 4. РК + Cd      | 89                       | –                             |
| 5. PKN60 + Cd   | 137                      | 80                            |
| 6. РК N120 + Cd | 152                      | 53                            |

Таким образом, в процессе проведенного исследования не установлено стимулирующего действия азотных удобрений на накопление валовых и потенциально доступных форм кадмия в почве. Внесение азотных удобрений на не загрязненной кадмием почве способствовало накоплению ТМ в растениях цикория корневого преимущественно в начальный период роста, на загрязненной почве тенденция большего содержания кадмия при внесении азота сохранялась до уборки урожая.

Загрязнение почвы кадмием не повлияло на эффективность азотного удобрения, внесение которого в дозах 60 и 120 кг/га существенно повышало продуктивность цикория корневого как на загрязненной, так и на не загрязненной кадмием почве. Увеличение содержания кадмия в почве также способствовало увеличению продуктивности цикория корневого, что, очевидно, связано со стимулирующей интоксикацией растений под действием загрязнителя.

### *Литература*

1. Агроэкологическая характеристика пахотных почв Российской Федерации по содержанию тяжелых металлов, мышьяка и фтора. М.: Агроконсалт, 2002. 50 с.
2. Барсельяну Г.Б. Гигиеническая оценка минеральных удобрений // Гигиена и санитария. 1995. № 10. С. 74–76.
3. Басманов А.Е., Кузнецов А.В. Экологическое нормирование применения удобрений в современном земледелии // Вестник сельскохозяйственной науки. 1999. № 8. С. 88–91.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Золотарева Б.Р., Скрипниченко И.И. Содержание и распределение тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути) в почвах Европейской части СССР // Генезис, плодородие и мелиорация почв. – Пушино, 1980. – С. 77–90.

6. *Зубкова В.М., Ягодин Б.А.* Изменение агрохимических показателей плодородия почвы и химический состав растений в условиях антропогенной нагрузки. Ярославль, 2001. 202 с.
7. *Крамарев С.М., Скрипник Л.Н., Коваленко В.Е. и др.* Агроэкологическая оценка применения минеральных удобрений в агроценозах кукурузы в условиях степной зоны Украины // *Агрохимия*. 2000. № 2. С. 67–72.
8. *Лебедева Л.А., Соловьева Ю.Б.* Экологические функции агрохимических фонов на загрязненных почвах // *Агрохимический вестник*. 2001. № 2. С. 18–19.
9. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф.* Накопление тяжелых металлов в почве и поступление их в растения в длительном агрохимическом опыте // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 1993. № 6. С. 20–22.
10. *Носовская И.И., Соловьев Г.А., Егоров В.С.* Влияние длительного систематического применения различных форм минеральных удобрений и навоза на накопление в почве и хозяйственный баланс кадмия, свинца, никеля и хрома // *Агрохимия*. 2001. № 1. С. 82–91.
11. *Овчаренко М.М.* Тяжелые металлы в системе «почва – растение – удобрение» // *Химия в сельском хозяйстве*. 1995. № 4. С. 8–16.
12. *Перегудов В.Н.* Планирование многофакторных опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. 182 с.
13. *Подколзин А.И., Лебедева Л.А., Агеев В.В. и др.* Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и накопление в нем свинца, кадмия, марганца, кобальта, цинка и меди // *Агрохимия*. 2002. № 10. С. 21–24.
14. *Черных Н.А., Овчаренко М.М.* Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах: учеб. пособие. М.: Агроконсалт, 2002. 200 с.
15. *Эвембе Д.* Действие тяжелых металлов на урожайность и качество картофеля // *Достижения науки и техники АПК*. 2000. № 9. С. 11–16.
16. *Ягодин Б.А.* Агрохимия и мониторинг окружающей среды // *Известия ТСХА*. 1990. Вып. 5. С. 113–118.

### *Literatura*

1. *Agroe'kologicheskaya charakteristika paxotny'x pochv Rossijskoj Federacii po sodержaniyu tyazhyoly'x metallov, my'sh'yaka i flora*. М.: Агроконсалт, 2002. 50 с.
2. *Barsel'yancz G.B.* Gigienicheskaya ocenka mineral'ny'x udobrenij // *Gigiena i sanitariya*. 1995. № 10. С. 74–76.
3. *Basmanov A.E., Kuznecov A.V.* E'kologicheskoe normirovanie primeneniya udobrenij v sovremennom zemledelii // *Vestnik sel'skoxozyastvennoj nauki*. 1999. № 8. С. 88–91.
4. *Dospexov B.A.* Metodika polevogo opy'ta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). М.: Агropromizdat, 1985. 351 с.
5. *Zolotaryova B.R., Skripnichenko I.I.* Soderzhanie i raspredelenie tyazhyoly'x metallov (svincza, kadmiya, rtuti) v pochvax Evropejskoj chasti SSSR // *Genesis, plodorodie i melioraciya pochv*. – Pushhino, 1980. – С. 77–90.
6. *Zubkova V.M., Yagodin B.A.* Izmenenie agroximicheskix pokazatelej plodorodiya pochvy' i ximicheskij sostav rastenij v usloviyax antropogennoj nagruzki. Yaroslavl', 2001. 202 с.

7. *Kramarev S.M., Skripnik L.N., Kovalenko V.E. i dr.* Agroekologicheskaya ocenka primeneniya mineral'ny'x udobrenij v agrocenozax kukuruzy' v usloviyax stepnoj zony' Ukrainy' // *Agroximiya*. 2000. № 2. S. 67–72.

8. *Lebedeva L.A., Solov'yova Yu.B.* Ekologicheskie funkcii agroximicheskix fonov na zagryaznyonny'x pochvax // *Agroximicheskij vestnik*. 2001. № 2. S. 18–19.

9. *Mineev V.G., Gomonova N.F.* Nakoplenie tyazhyoly'x metallov v pochve i postuplenie ix v rasteniya v dlitel'nom agroximicheskom opy'te // *Doklady' Rossijskoj akademii sel'skoxozyaistvenny'x nauk*. 1993. № 6. S. 20–22.

10. *Nosovskaya I.I., Solov'yov G.A., Egorov V.S.* Vliyanie dlitel'nogo sistematische-skogo primeneniya razlichny'x form mineral'ny'x udobrenij i navoza na nakoplenie v pochve i xozyajstvenny'j balans kadmiya, svincza, nikelya i xroma // *Agroximiya*. 2001. № 1. S. 82–91.

11. *Ovcharenko M.M.* Tyazhyoly'e metally' v sisteme «pochva – rastenie – udobrenie» // *Ximiya v sel'skom xozyajstve*. 1995. № 4. S. 8–16.

12. *Peregudov V.N.* Planirovanie mnogofaktorny'x opy'tov s udobreniyami i matematicheskaya obrabotka ix rezul'tatov. M.: Kolos, 1978. 182 s.

13. *Podkolzin A.I., Lebedeva L.A., Ageev V.V. i dr.* Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobrenij na plodorodie chernozyoma vy'shelochennogo i nakoplenie v nyom svincza, kadmiya, margancza, kobal'ta, cinka i medi // *Agroximiya*. 2002. № 10. S. 21–24.

14. *Cherny'x N.A., Ovcharenko M.M.* Tyazhyoly'e metally' i radionuklidy' v biogeo-cenozax: ucheb. posobie. M.: Agrokonsalt, 2002. 200 s.

15. *E'vembe D.* Dejstvie tyazhyoly'x metallov na urozhajnost' i kachestvo kartofelya // *Dostizheniya nauki i texniki APK*. 2000. № 9. S. 11–16.

16. *Yagodin B.A.* Agroximiya i monitoring okruzhayushhej sredy' // *Izvestiya TSHA*. 1990. Vy'p. 5. S. 113–118.

*N.V. Zubkov,  
V.M. Zubkova*

### **Nitrogen Fertilizers and Cadmium Dynamics in the «Soil-Plant» System**

The article contains the results of studies of nitrogen fertilizers effect on cadmium contents in sod-podzolic medium-soil, its intake by root chicory plants, and productivity of this crop in the Central District of Non-Chernozem zone of the Russian Federation.

*Key-words:* nitrogen fertilizers; cadmium; root chicory; absorption; production process.

И.В. Едренкин

## Интеграция признаков пространственной ориентации и яркости линии в зрительном анализаторе

В работе исследуются механизмы восприятия сложных стимулов — линий, различающихся по пространственной ориентации и яркости. Данные о различении этих стимулов зрительной системой, полученные с помощью методики зрительного поиска, анализируются с помощью метода многомерного шкалирования. Полученная модель представляет собой четырехмерное субъективное пространство стимулов, в котором первые три оси кодируют пространственную ориентацию линии, а четвертая ось — ее яркость. Наблюдается взаимодействие между механизмами кодирования яркости и пространственной ориентации.

*Ключевые слова:* психофизика; зрительное восприятие; зрительный поиск; многомерное шкалирование; векторное кодирование.

**П**роцесс различения сложных, то есть содержащих более одного признака, зрительных стимулов представляет интерес в контексте проблемы интеграции отдельных признаков стимула в целостный образ предмета в зрительной системе. Восприятие отдельных признаков (светлоты, цвета, ориентации линии, направления движения) изучено достаточно хорошо, известны нейрофизиологические механизмы, связанные с этими процессами [4; 8; 9]. Вместе с тем не вполне известно, как происходит совместное восприятие нескольких признаков. В частности, неизвестен принцип формирования нейронных сетей, осуществляющих восприятие сложных стимулов, неясен также вопрос о наличии и характере взаимодействия между различными признаками зрительного стимула [5].

Целью данной работы является исследование процессов интеграции признаков в зрительном восприятии. В качестве стимульных объектов используются линии, различающиеся по двум признакам — пространственной ориентации и яркости.

В векторной психофизиологии к исследованию различительной функции сенсорной системы применяется следующий подход. Первым этапом исследования является сбор количественной информации относительно различения зрительной системой определенного алфавита стимулов (здесь и далее под алфавитом стимулов мы будем понимать использующийся в эксперименте набор зрительных стимулов, отличных друг от друга по признакам, различие-

ние которых исследуется в конкретной работе, например, алфавит цветов или яркостей, и т.д.). Затем эти данные подвергаются статистическому анализу с помощью методов снижения размерности, в частности, метода многомерного шкалирования, что позволяет выявить ограниченное количество факторов, наиболее существенно влияющих на функцию различения (для данного алфавита стимулов). Эти факторы могут рассматриваться как сенсорные фильтры, функциональное назначение которых может быть проанализировано и описано количественно на основе полученных данных [10].

Наиболее очевидным и в то же время показавшим свою эффективность методом измерения различительной способности сенсорной системы является прямое субъективное оценивание различий между стимулами. В этом случае испытуемому предъявляются все возможные пары, составленные из алфавита стимулов, восприятие которых изучается, и задача испытуемого — дать прямую оценку (например, в баллах от 1 до 9) различия между двумя предъявляемыми стимулами. С помощью этого метода построены модели восприятия светлоты, цвета, ориентации линии, величины угла [7; 15].

В ряде случаев для оценки величины различия между стимулами используется измерение вызванного потенциала (ВП) или усредненной электроретинограммы (ЭРГ) при замене одного стимула на другой [2; 3; 6]. При этом амплитуда отдельных компонентов этих электрофизиологических показателей рассматривается как величина, характеризующая различие между стимулами. Вместе с тем эти методы имеют ограниченный диапазон применения, поскольку обладают низкой разрешающей способностью в надпороговой области: начиная с определенной величины различия, показатели ВП и ЭРГ изменяются слабо или не изменяются вовсе, что может приводить к искажению данных.

Наибольшие трудности начинаются при попытке применить эти подходы к сложным стимулам, различающимся по двум или более простым признакам, например, по ориентации линии и ее светлоте. Использование электрофизиологических методов в данном случае представляет особенную сложность, так как увеличение вариативности в алфавите стимулов приводит к увеличению размера этого алфавита, что приводит к значительному (квадратичному) росту числа возможных пар, для которых необходимо провести измерение. Поскольку использование электрофизиологических методов предполагает многократное (от 30 раз) повторение идентичных измерений с целью повышения соотношения «сигнал – шум», использование этих методов на стимульных алфавитах большого размера оказывается чрезвычайно трудоемким.

Еще большие сложности возникают при попытке применить к сложным стимулам методы прямого оценивания различий [17]. Здесь в действие вступают индивидуальные стратегии оценивания, которые влияют на формирование системы отсчета испытуемого. Например, в вышеприведенном примере, когда сравниваются линии, различающиеся по пространственной ориентации и по светлоте, при нейтральной инструкции начинают проявляться мощные индивидуальные

различия: одна группа испытуемых ориентируется в основном на пространственную ориентацию, другая — в основном на светлоту. В результате полученные данные обладают низкой надежностью, и результаты их анализа представляются неоднозначными. Влияние стратегии испытуемого приводит к тому, что задача сенсорного различения обрастает когнитивными top-down-процессами [16], существенно затрудняя задачу исследования собственно зрительной системы.

Таким образом, предпочтение следует отдавать методике, максимально независимой от когнитивных факторов. В качестве такой методики может выступать измерение вероятности различения двух стимулов (метод «same-different»). Однако этот метод приемлемо работает только в околороговой зоне, за пределами которой вероятность различения двух стимулов становится равна единице с точностью до ошибки измерения. Преодоление этого недостатка требует некоторых преобразований, базирующихся на не вполне очевидных допущениях [13]. Тем не менее важной, на наш взгляд, идеей является измерение собственно эффективности различения сенсорной системой, а не мнения об этом процессе испытуемого.

Используя идеологию метода «same-different» и наблюдение Duncan и Humphreys о том, что эффективность решения задачи зрительного поиска зависит от величины различия между целевым стимулом и дистракторами [12], был разработан оригинальный метод измерения различий между стимулами, основанный на показателях скорости и точности зрительного поиска [1]. В основу метода легло предположение о том, что величина различия между целевым стимулом и дистракторами монотонно связана с вероятностью правильной локализации целевого стимула и скоростью этого процесса, имеющее эмпирические подтверждения [11].

Испытуемому предъявляются зрительные сцены, содержащие один «целевой» стимул и ряд одинаковых стимулов-дистракторов, отличающихся от целевого. Таким образом, в отношении целевого стимула вызывается «эффект выскакивания», когда целевой стимул заранее не известен испытуемому. Отличающийся стимул располагается либо в левой, либо в правой части сцены (но никогда не по центру). Сцена предъявляется на короткое время, после чего исчезает.

Задача испытуемого — определить, слева или справа находится отличающийся (т.е. целевой) стимул, и нажать соответственно левую или правую кнопку на датчике. При этом регистрируются правильность ответа испытуемого и время, прошедшее с момента предъявления стимула до ответа. Аналогично всем рассмотренным выше методам целевой стимул и дистрактор выбираются так, чтобы хотя бы один раз были реализованы все возможные пары для данного алфавита; кроме того, каждый стимул должен выступить в роли цели в обеих пространственных областях (слева и справа). В каждой сцене присутствовал один, и только один, целевой стимул. В дальнейшем полученные данные подвергаются усреднению: для каждой пары «цель – дистрактор» рассчитываются относительная частота правильных ответов, а также среднее и медианное время реакции.



Таким образом, применение данного метода делает возможным исследование интеграции признаков при восприятии сложных стимулов.

### Гипотезы исследования

1. Восприятие сложных стимулов — линий, сочетающих признак пространственной ориентации и признак яркости — осуществляется комплексным многоканальным механизмом, представляющим собой комбинацию механизма восприятия ориентации линии и механизма восприятия яркости.

2. В процессе интеграции признаков пространственной ориентации линии и яркости возникают эффекты взаимодействия этих признаков.

### Методика исследования

*Стимуляция.* В данном исследовании использовались сложные стимулы — линии, различающиеся как по пространственной ориентации, так и по светлоте. Алфавит стимулов включал четыре градации яркости и шесть градаций ориентации (полный круг с шагом в  $30^\circ$ ) и, таким образом, состоял из 24-х стимулов. Общее число предъявлений составило  $24 \times 23 \times 2 = 1\ 104$ .

Стимулы предъявлялись на 17" CRT-мониторе ПУАМА с частотой регенерации 200 Гц и с разрешением  $800 \times 600$  точек. Расстояние от монитора до испытуемого составляло 80 см. Угловой размер области стимуляции составил  $25,8^\circ$ . Девять стимулов равного размера ( $3^\circ$ ) располагались в ячейках матрицы  $3 \times 3$ , разделенной узкой ( $0,6^\circ$ ) сеткой темно-серого цвета на черном фоне. Отличающийся (целевой) стимул располагался либо в левом, либо в правом столбце матрицы. Сцена предъявлялась на 100 м/сек, после чего заменялась на черный фон. Контроль предъявления и регистрация ответа испытуемого осуществлялись с помощью программы Neurobs Presentation.

Исследование проводилось в условиях темновой адаптации. Максимальная яркость стимула составляла около  $100$  кд/м<sup>2</sup>.

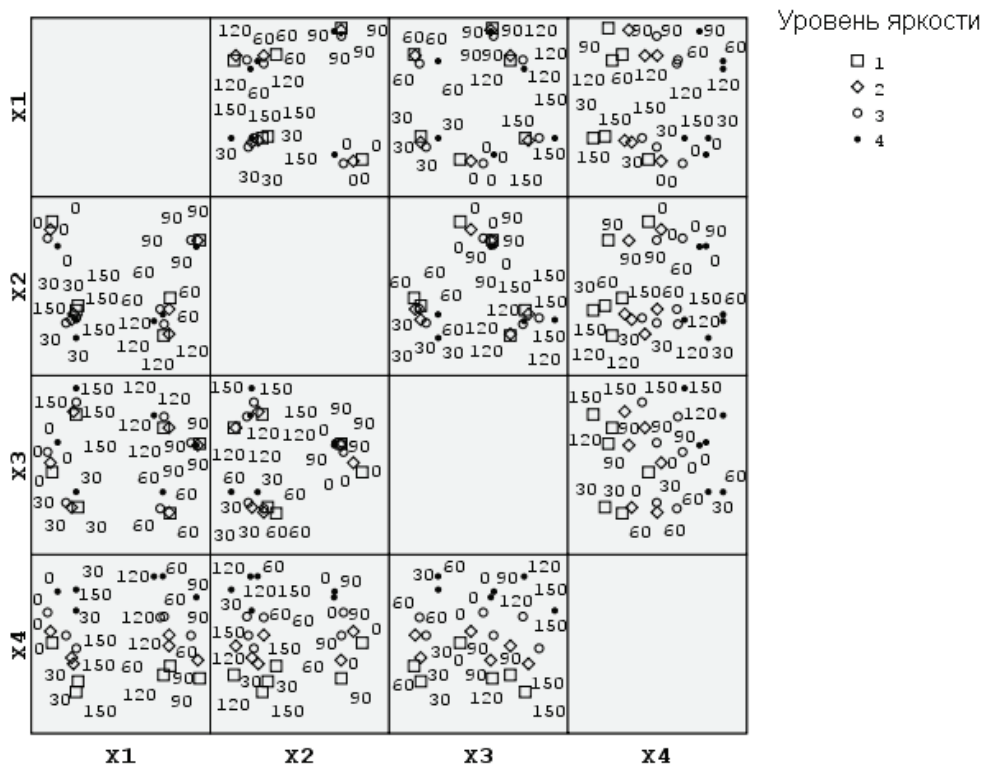
*Испытуемые.* В эксперименте приняли участие 50 испытуемых с нормальным или скорректированным зрением, из них 28 женщин, 22 мужчины. Средний возраст испытуемых составил 22,4 года.

*Инструкция.* «Вам будут предъявляться матрицы размером три на три, в ячейках которых будут размещены девять линий. Восемь линий совершенно одинаковы. Одна из линий отличается от этих восьми либо по яркости, либо по наклону, либо по обоим признакам. Степень различия может быть очень разной: от явной до подпороговой. Та линия, которая отличается, находится либо в левом, либо в правом столбце, но никогда не посередине. Ваша задача — как можно быстрее определить положение отличающейся линии. Если вы увидите отличающуюся линию в левом столбце, нажмите на левую кнопку мыши; если вы увидите отличающуюся линию в правом столбце, нажмите на правую кнопку мыши. Изображения будут предъявляться на короткое время, поэтому старайтесь отвечать как можно быстрее и не обращать внимания на возможные ошибки».

*Регистрируемые показатели.* В каждой пробе регистрировались правильность ответа и время реакции в случае правильного ответа.

**Результаты.** Для каждой пары «цель – дистрактор» были рассчитаны относительная частота правильных ответов и среднее время реакции при правильном ответе. Относительная частота ошибки варьировала от 0,5 (случайное угадывание) до значений, близких к 1 (полное различение), усредненные времена реакции варьировали в диапазоне от 350 до 515 мс. Таким образом, были получены две асимметричные квадратные матрицы  $24 \times 24$ , содержащие информацию о различиях на исследованном алфавите стимулов.

**Обработка результатов.** Коэффициент корреляции Пирсона между полученными матрицами составил 0,67, что свидетельствует о высокой согласованности данных. Обе матрицы были обработаны с помощью метода многомерного шкалирования (алгоритм PROXSCAL, интервальный вариант). Наименьшая размерность пространства, для которой добавление новой оси не давало значимого улучшения модели (критерий излома графика stress), равнялась 4. Четырехмерное пространство, полученное с помощью анализа матрицы относительных частот правильного ответа, показано на рисунке 1.



**Рис. 1.** Четырехмерное пространство различения сложных стимулов. Каждый стимул представлен одним объектом. Число рядом с объектом указывает на угол поворота линии против часовой стрелки в градусах, форма объекта указывает на уровень яркости (максимальный — 1, минимальный — 4).

**Обсуждение.** Содержательный анализ осей показал, что различие осуществлялось тремя ориентационными фильтрами и одним яркостным. Ориентация линии детектировалась с помощью оппонентных осей  $0^\circ$ – $90^\circ$  (горизонталь – вертикаль),  $45^\circ$ – $135^\circ$  (левый наклон – правый наклон), а также  $0^\circ$  и  $90^\circ$ – $45^\circ$  и  $135^\circ$  (прямота – наклонность). Яркостный фильтр давал наименьшую дисперсию и был представлен одной осью.

Таким образом, полученное пространство является комбинацией трехмерного пространства различения ориентации линии, идентичного полученному в работе [1], и одномерного пространства различения яркости. Следует отметить, что в некоторых работах было получено двухмерное пространство различения яркости [4], что также согласуется с нейрофизиологическими данными о наличии «*b*» и «*d*» нейронов. Поскольку в данной работе использовалось всего четыре уровня яркости, нельзя исключать эффект линеаризации яркостной дуги, размещенной в двумерном пространстве. В то же время трехканальность системы, отвечающей за кодирование пространственной ориентации линии, а также функциональные характеристики третьего канала согласуются с данными, полученными при исследовании нейронов с множественной настройкой [18].

Полученные данные позволяют сделать предположение, что по крайней мере в использованных диапазонах вариативности конфигуративные признаки (ориентация линии) являются для зрительной системы приоритетными по сравнению с энергетическими (яркость). Частичная недооценка яркости наклонных полос по сравнению с горизонтальными и вертикальными может быть связана с меньшей значимостью наклонных полос в качестве граничных контуров объектов и соответственно меньшей сенсбилизацией по отношению к ним.

Функция зависимости вероятности правильного ответа от физического различия между целевым стимулом и дистракторами имела плато (пресыщение) в зоне уверенного различения, в то время как для времени реакции пресыщения не наблюдалось. Таким образом, можно предполагать, что механизм поиска всегда был параллельным.

Важным источником информации является асимметрия полученных матриц. В работах А. Трейсман асимметрия зрительного поиска рассматривается как отражение того факта, что наличие признака детектируется легче, чем его отсутствие [19]. Легко заметить, что наибольшая степень асимметрии зрительного поиска характерна для стимулов, оказывающихся на полюсах осей в построенной геометрической модели. Таким образом, асимметрия зрительного поиска может являться источником информации о фильтрах, задействованной в зрительной системе, что согласуется с ранее полученными данными [14].

### Выводы

1. Различение сложных стимулов, сочетающих признаков ориентации линии и признаков яркости, осуществляется четырехканальным модулем.
2. Этот четырехканальный модуль составлен из трехканального модуля детекции ориентации линии и одноканального модуля детекции яркости.

3. Наблюдается взаимодействие между механизмами кодирования ориентации линии и яркости.

### Литература

1. *Едренкин И.В.* Использование задачи зрительного поиска для измерения субъективных различий между стимулами // Вестник МГУ. Сер. 14. Психология. № 3. 2009. С. 66–77.
2. *Зимачев М.М., Шехтер Е.Д., Соколов Е.Н., Измайлов Ч.А.* Хроматическая составляющая электроретинограммы лягушки // Журнал высшей нервной деятельности. 1986. Т. 36. Вып. 6. С. 1100–1107.
3. *Измайлов Ч.А., Исайчев С.А., Коришунова С.Г., Соколов Е.Н.* Цветовой и яркостный компоненты зрительных вызванных потенциалов у человека // Журнал высшей нервной деятельности. 1998. Т. 48. Вып. 5. С. 777–787.
4. *Измайлов Ч.А., Исайчев С.А., Шехтер Е.Д.* Двухканальная модель различения сигналов в сенсорных системах // Вестник МГУ. Сер. 14. Психология. № 3. 1998. С. 29–40.
5. *Измайлов Ч.А., Соколов Е.Н., Едренкин И.В.* Интегрирование простых признаков стимула в нейронных сетях зрительной системы // Нейрокомпьютеры: Разработка и применение. 2008. № 4–5. С. 34–45.
6. *Измайлов Ч.А., Соколов Е.Н., Коришунова С.Г., Чудина Ю.И.* Геометрическая модель различения ориентаций линии, основанная на субъективных оценках и зрительных вызванных потенциалах // Журнал высшей нервной деятельности. 2004. Т. 54. № 2. С. 267–279.
7. *Измайлов Ч.А., Ласточкина М.Н., Полянская Г.Н., Соколов Е.Н.* Различение линий и углов зрительной системой // Вестник МГУ. Сер. 14. Психология. 1988. Вып. 1. С. 41–50.
8. *Соколов Е.Н.* Восприятие и условный рефлекс: новый взгляд. – М.: МПСИ. – 2003. – 287 с.
9. *Соколов Е.Н., Измайлов Ч.А.* Трехстадийная модель цветового зрения // Сенсорные системы. 1988. Т. 2. Вып. 4. С. 400–407.
10. *Терехина А.Ю.* Многомерное шкалирование в психологии // Психологический журнал. 1983. Т. 4. № 1. С. 76–88.
11. *Avraham T., Yeshurun Y., Lindenbaum M.* Predicting visual search performance by quantifying stimuli similarities // Journal of Vision. 2008. № 8(4)–9. P. 1–22.
12. *Duncan J., Humphreys G.W.* Visual search and stimulus similarity // Psychological Review. 1989. № 96. P. 433–458.
13. *Dzhafarov E.N.* Dissimilarity Cumulation as a procedure correcting for violations of triangle inequality // Journal of Mathematical Psychology. 2010. № 54. P. 284–287.
14. *Foster D.H., Ward P.A.* Asymmetries in oriented-line detection indicate two orthogonal filters in early vision // Proceedings of the Royal Society (London B). 1991. № 243. P. 75–81.
15. *Izmailov Ch.A., Sokolov E.N.* Multidimensional scaling of lines and angles discrimination // Psychophysical Explorations of Mental Structures (P. 181–189) / Ed. by H.G. Geissler. 1990. Toronto-Bern-Stuttgart. Hogrefe and Huber Publishers.
16. *Schneider W., Shiffrin R.M.* Controlled and automatic human information processing: Detection, search and attention // Psychological Review. 1977. V. 84. №. 1. P. 1–66.

17. *Shepard R.N.* Attention and the metric structure of the stimulus space // *J. of Mathemat. Psychol.* 1964. V. 1. P. 54–87.
18. *Shevelev I.A., Lazareva N.A., Novikova B.V., Tikhomirov A.S., Sharaev G.A.* Double orientation tuning in the cat visual cortex units // *Neuroscience.* 1994. № 61(4). P. 965–973.
19. *Treisman A.* Search, similarity, and integration of features between and within dimensions // *J. Exp. Psychol.: Human Perception and Performance.* 1991. № 17(3). P. 652–676.
20. *Treisman A., Gormican S.* Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries // *Psychological Review.* 1988. № 95 (1). P. 15–48.

### Literatura

1. *Edrenkin I.V.* Ispol'zovanie zadachi zritel'nogo poiska dlya izmereniya sub''ektivny'x razlichij mezhdru stimulami // *Vestnik MGU. Ser. 14. Psixologiya.* № 3. 2009. S. 66–77.
2. *Zimachev M.M., Shexter E.D., Sokolov E.N., Izmajlov Ch.A.* Xromaticheskaya sostavlyayushhaya e'lektroretinogrammy' lyagushki // *Zhurnal vy'sshej nervnoj deyatel'nosti.* 1986. T. 36. Vy'p. 6. S. 1100–1107.
3. *Izmajlov Ch.A., Isajchev S.A., Korshunova S.G., Sokolov E.N.* Czvetovoj i yarkostny'j komponenty' zritel'ny'x vy'zvanny'x potencialov u cheloveka // *Zhurnal vy'sshej nervnoj deyatel'nosti.* 1998. T. 48. Vy'p. 5. S. 777–787.
4. *Izmajlov Ch.A., Isajchev S.A., Shexter E.D.* Dvuxkanal'naya model' razlicheniya signalov v sensory'x sistemax // *Vestnik MGU. Ser. 14. Psixologiya.* № 3. 1998. S. 29–40.
5. *Izmajlov Ch.A., Sokolov E.N., Edrenkin I.V.* Integrirovaniye prosty'x priznakov stimula v neironny'x setyax zritel'noj sistemy' // *Neirokomp'yutery': Razrabotka i primeneniye.* 2008. № 4–5. S. 34–45.
6. *Izmajlov Ch.A., Sokolov E.N., Korshunova S.G., Chudina Yu.I.* Geometricheskaya model' razlicheniya orientacii linii, osnovannaya na sub''ektivny'x ocenках i zritel'ny'x vy'zvanny'x potencialax // *Zhurnal vy'sshej nervnoj deyatel'nosti.* 2004. T. 54. № 2. S. 267–279.
7. *Izmajlov Ch.A., Lastochkina M.N., Polyanskaya G.N., Sokolov E.N.* Razlicheniye linii i uglov zritel'noj sistemoj // *Vestnik MGU. Ser. 14. Psixologiya.* 1988. Vy'p. 1. S. 41–50.
8. *Sokolov E.N.* Vospriyatie i uslovny'j refleks: novy'ji vzglyad. M.: MPSI, 2003. 287 s.
9. *Sokolov E.N., Izmajlov Ch.A.* Tryoxstadijnnaya model' czvetovogo zreniya // *Sensorny'e sistemy'.* 1988. T. 2. Vy'p. 4. S. 400–407.
10. *Teryoxina A.Yu.* Mnogomernoe shkalirovaniye v psixologii // *Psixologicheskij zhurnal.* 1983. T. 4. № 1. S. 76–88.
11. *Avraham T., Yeshurun Y., Lindenbaum M.* Predicting visual search performance by quantifying stimuli similarities // *Journal of Vision.* 2008. № 8(4)–9. P. 1–22.
12. *Duncan J., Humphreys G.W.* Visual search and stimulus similarity // *Psychological Review.* 1989. № 96. P. 433–458.
13. *Dzhafarov E.N.* Dissimilarity Cumulation as a procedure correcting for violations of triangle inequality // *Journal of Mathematical Psychology.* 2010. № 54. P. 284–287.
14. *Foster D.H., Ward P.A.* Asymmetries in oriented-line detection indicate two orthogonal filters in early vision // *Proceedings of the Royal Society (London B).* 1991. № 243. P. 75–81.

15. *Izmailov Ch.A., Sokolov E.N.* Multidimensional scaling of lines and angles discrimination // *Psychophysical Explorations of Mental Structures* (P. 181–189) / Ed. by H.G. Geissler. 1990. Toronto-Bern-Stuttgart. Hogrefe and Huber Publishers.
16. *Schneider W., Shiffrin R.M.* Controlled and automatic human information processing: Detection, search and attention // *Psychological Review*. 1977. V. 84. №. 1. P. 1–66.
17. *Shepard R.N.* Attention and the metric structure of the stimulus space // *J. of Mathemat. Psychol.* 1964. V. 1. P. 54–87.
18. *Shevelev I.A., Lazareva N.A., Novikova B.V., Tikhomirov A.S., Sharaev G.A.* Double orientation tuning in the cat visual cortex units // *Neuroscience*. 1994. № 61(4). P. 965–973.
19. *Treisman A.* Search, similarity, and integration of features between and within dimensions // *J. Exp. Psychol.: Human Perception and Performance*. 1991. № 17(3). P. 652–676.
20. *Treisman A., Gormican S.* Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries // *Psychological Review*. 1988. № 95 (1). P. 15–48.

***I.V. Edrenkin***

### **Integration of Spatial Orientation and Line-Brightness Features in the Visual System**

The work investigates into such mechanisms of complex stimuli perception as lines differing in spatial orientation and brightness. The data on these stimuli discrimination by the visual system are acquired through the visual search method and analyzed through the multidimensional scaling method. The acquired model constitutes a four-dimensional subjective stimuli space, in which the first three axes encode spatial orientation of the line and the fourth axis encodes its brightness. An interaction between brightness and spatial orientation encoding mechanisms is observed.

*Key-words:* psychophysics; visual perception; visual search; multidimensional scaling; vector encoding.

**В.Т. Дмитриева,  
А.Т. Напрасников**

## **Бинарная устойчивость водного режима почв**

В статье аргументируются теоретические подходы к оценке бинарной устойчивости геосистем. За основу принята теория гидролого-климатического процесса, обоснованная М.И. Будыко и В.С. Мезенцевым. Показаны зональные стадии влагоемкости почвогрунтов и структурно-гидрологических потенциалов их устойчивости.

*Ключевые слова:* гидролого-климатический процесс; бинарная устойчивость; водный режим почв; организация систем; критерии устойчивости.

**П**очвы — *информативно-универсальный объект географии, почвоведения и мелиорации*. Почвы являются функцией естественной эволюции ландшафта, множества географических факторов, в том числе своего местоположения и связей с соседним окружением. В какой бы форме почвы ни проявлялись, они принадлежат географической оболочке Земли и определяются ее основными признаками. Эти признаки, как и все географические явления, весьма изменчивы в пространственно-временных масштабах. Но, кроме этого, почвы относятся еще к более широкому классу явлений, типичных как для планеты в целом, так и для ее внешней оболочки. Эти явления определяют не только естественную зональность устойчивости водных режимов почв, но и их структуру. Почвы оказались универсальными пространственно-временными информаторами широкомасштабных географо-почвенных и общественных процессов [4; 8].

«Почва – память» интегрирует в себе комплекс устойчивых свойств и признаков, возникающих в ходе эволюции. «Почва – момент» является отображением их региональных и локальных свойств с учетом текущих климатических процессов и человеческой деятельности, в том числе мелиорации. Следовательно, с географо-мелиоративных позиций «почва – память» и «почва – момент» являются двумя единовременными состояниями единого географического объекта. Необходимость в подобном пояснении возникает в случае потребности обозначить основы их устойчивости. Поэтому довольно конкретной должна быть цель — *избежать почвенно-экологического риска, когда почвы подвергаются коренному мелиоративному изменению, смене своей структуры и соответствующему нарушению гидролого-почвенных констант*. Всем известна потеря черноземов в условиях избыточного мелиоративного переувлажнения. В современных условиях около половины орошаемых земель планеты оказались вторично засоленными.

2 млрд. га почв, или 15% поверхности суши, деградировало вследствие деятельности человека. Сильно эродированные почвы составляют в России 50 млн. га. Известны многометровые слои ирригационных почв Средней Азии, обеспечивавших на протяжении многих веков высокие урожаи. Частично этим подтверждается сила мелиоративной деятельности человечества, соизмеримая с климатическими и геологическими процессами. Подобная мощь должна быть надежно управляемой, надежно устойчивой и обосновываться фундаментальными законами географии и почвоведения.

***Бинарный гидролого-климатический процесс приземной атмосферы и почвогрунтов.*** В 1943 г. А.А. Григорьев обосновал закон физико-географического процесса, развитие которого ограничено количеством тепловой энергии. Процесс достигает максимума «в соответствии со степенью приближения количества атмосферных осадков к оптимальному, при котором количество осадков несколько превышает величину испарения, отвечающую местным тепловым условиям...» [3]. Эта концепция получила дальнейшее развитие в работах М.И. Будыко [2] и В.С. Мезенцева [6].

Теоретически потенциал тепла каждой точки географического пространства ограничен. Он является функцией солнечного излучения и координат сферической поверхности Земли. Оба эти фактора инвариантны. Однако в условиях мелиорации практически каждый участок на Земле может иметь любое количество влаги и тепла [5]. Деятельность человека уже в состоянии регулировать и создавать необходимые запасы воды и вместе с этим вызывать непредвиденные изменения в почвенных комплексах.

В пределах ландшафтной поверхности и почвенных горизонтов увлажнение и теплообеспеченность распределяются в обратных пропорциях, как симметричные и равнозначные части единого процесса тепло-влагообеспеченности. Количественно выражаются они значениями дисбаланса оптимума ( $-\Delta X$ ;  $+\Delta X$ ). По обе стороны от оптимального соотношения тепла и влаги формируется бинарная система в соотношениях тепла и влаги: избыточного увлажнения и недостаточной теплообеспеченности, недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности (рис. 1).

В мелиорации, так же как в географии и почвоведении, используются понятия «оптимальное увлажнение», «дефициты влаги и тепла», значения, соизмеримые с нормами орошения и осушения. На этих представлениях обоснована гидролого-климатическая концепция устойчивости водных и тепловых режимов почв. Согласно ей чем более удалено текущее увлажнение почв от оптимального увлажнения, тем устойчивее их водный и тепловой режимы.

Это симметричная и континуальная система, состояния которой в любом местоположении планеты изменяются относительно единого инварианта — вещественно-энергетического равенства тепла и влаги в приземной атмосфере и в почвогрунтах, обычно называемого оптимальным соотношением тепла и влаги.



**Граница оптимального соотношения тепла и влаги**



**Рис. 1.** Схема развития гидролого-климатического процесса:

$X$  — атмосферные осадки, мм;  $R_0$  — радиационный баланс увлажненной поверхности, ккал/см<sup>2</sup>;  $Z_{\text{мак}}$  — максимально возможное испарение, мм;  $V_{\text{нв}}$  — влажность почвогрунтов на уровне наименьшей влагоемкости;  $V$  — влажность почвогрунтов в долях наименьшей влагоемкости;  $+\Delta X$  — избыток влаги в почвогрунтах в мм;  $-\Delta X$  — дефицит влаги, мм.

**Концепция бинарной формы развития и устойчивости гидролого-климатического процесса.** Аргументируется она впервые и основывается на понятиях прямых и обратных связей в климатических и почвенных системах [1]. Входящим в систему сигналом принят тепловой ресурс — максимально возможное испарение ( $Z_{\text{мак}}$ ), а выходящим — атмосферные осадки, но уже в формах испарения и стока. Соотношения между выходящим водным параметром ( $X$ ) и тепловым входящим ( $Z_{\text{мак}}$ ) характеризуют работу системы, ее пространственно-временную инвариантность внутреннего состояния, степень увлажнения ландшафта и индексируются коэффициентом увлажнения:

$$\beta_x = X / Z_{\text{мак}} \tag{1}$$

В теории гидролого-климатических процессов установлено, что если суммы атмосферных осадков равны максимально возможному испарению, то в природе формируется оптимальный режим влаготеплообеспеченности. Отклонения от него рассматриваются как дефициты или избытки влаги, которые равны разности в форме дисбалансового оптимума:

$$\Delta X = X - Z_{\text{мак}} \tag{2}$$

Отрицательные значения разности отражают дефициты, а положительные — избытки влаги. В мелиоративной практике они принимаются за нормы орошения и осушения.

Отношения дефицитов (избытков) влаги к сумме атмосферных осадков характеризуют степень дисбаланса оптимума и выражаются коэффициентом дисбаланса оптимума:

$$C_{\Delta x} = (X - Z_{\max}) / X. \quad (3)$$

Коэффициент дисбаланса оптимума в соответствии с входящим в систему сигналом  $Z_{\max}$  и выходящим сигналом  $X$  является показателем обратной связи. Если в системе преобладает водный эквивалент испарения  $Z_{\max}$  (максимально возможное испарение), то его растущая величина характеризует рост тепловой устойчивости системы. Она будет абсолютно устойчивой, когда в ней исчезнет водный ресурс. Тогда содержание системы ограничится отрицательной бесконечностью теплового фактора ( $Z_{\max} \rightarrow -\infty$ ). Если в системе будет безмерно возрастать водный ресурс, то значимость теплового потенциала снизится до нулевых величин и соответственно предельная устойчивость будет стремиться к единице. Следовательно, крайние значения дефицитов влаги и избытков тепловых ресурсов определяют степень устойчивости системы в диапазоне от  $-\infty$  до 1 при  $Z_{\max} \rightarrow -\infty$  и  $X \rightarrow +\infty$ . В данных пределах самое неустойчивое состояние системы наступает при нулевых значениях коэффициента дисбаланса оптимума, когда система находится в оптимальном режиме при эквивалентном равенстве тепловых и водных ресурсов.

Стадии устойчивости гидролого-климатических систем можно проанализировать при интеграции уравнений (1) и (3), дающей следующие комбинации:

$$\beta_x = 1 / (1 - C_{\Delta x}) \text{ и } C_{\Delta x} = 1 - 1 / \beta_x. \quad (4)$$

Если на входе системы подается сигнал  $Z_{\max}$  и он усиливается, то  $C_{\Delta x} < 0$ , а  $\beta_x > 0$ . При стремлении  $C_{\Delta x}$  к единице  $\beta_x \rightarrow +\infty$ ; при  $C_{\Delta x} \rightarrow +\infty$   $\beta_x \rightarrow 0$ . Если в системе  $C_{\Delta x} < 0$ , то она с отрицательной обратной связью, при  $1 > C_{\Delta x} > 0$  — с положительной обратной связью; между ними при  $C_{\Delta x} = 0$  система самая неустойчивая, а при  $C_{\Delta x} \rightarrow 1$  система характеризуется максимальной устойчивостью.

**Потенциалы устойчивости, напряженности и чувствительности водных режимов почвогрунтов.** На основании изложенных положений оценивалась гидролого-климатическая устойчивость почвогрунтов на всех уровнях организации в них тепла и влаги. В зонах недостатка влаги структуры почвогрунтов сформировались при постоянном ее дефиците. При избытке тепла высокий потенциал испарения быстро нейтрализует дополнительное увлажнение, чем и обеспечивает накопление солей в деятельном горизонте. В этих условиях гидролого-климатическую устойчивость определяют ресурсы тепла. При орошении естественный дефицит увлажнения снижается, за чем следует снижение устойчивости всей природно-технической системы. Обычно оценка устойчивости ландшафта дается в следующей формулировке: «свойство... сохранять свою структуру и характер функционирования при изменяющихся условиях среды» [7].

В.Б. Сочава [9] ввел понятие «стабилизирующая динамика» как особый вид саморегуляции геосистем. Ее структура описывается методами статистическо-

го осреднения или стохастической аппроксимации, обеспечивающими решение широкого круга задач вероятностного оценивания устойчивого состояния гидролого-климатического процесса. Данное обстоятельство позволяет обосновать тезис: *в естественных условиях увлажнение и теплообеспеченность деятельной поверхности и почв приближаются к максимальной устойчивости*. Потенциал устойчивости гидролого-климатического процесса ( $ПУ_{ГК}$ ) является физической мерой его сохранения. Изменения в пределах одного типа увлажнения и теплообеспеченности не влекут коренных преобразований.

Потенциал устойчивости выражается через функцию дефицитов (избытков) тепла и влаги деятельной поверхности земли и определяется разностью между суммарным увлажнением (атмосферными осадками) и максимально возможным испарением:

$$ПУ_{ГК} = \Delta X_{ест.} = X - Z_{мак}. \quad (5)$$

Согласно уравнению (5) бинарная структура гидролого-климатического процесса обуславливает разнозначный (положительный, отрицательный) потенциал устойчивости неравновесного увлажнения и теплообеспеченности. Минимальная его величина равна нулю, когда ограничивается потенциалом устойчивости равновесного соотношения эквивалентов тепла и влаги.

В мелиоративной практике естественная устойчивость водного и теплового режимов почвогрунтов нарушается дополнительным притоком или оттоком воды, что и создает в них гидролого-климатическую напряженность. Подобное явление формируется и естественным путем, при наступлении периодов климатических потеплений и похолоданий. Изменения тепла ( $\Delta Z_{изм}$ ) и влаги ( $\Delta X_{изм}$ ) от их средних статистических значений, то есть от естественного потенциала устойчивости системы, можно рассматривать как величины *уязвимости природной экосистемы* в зависимости от внешних условий, которые приводят к нарушению его структуры и функционирования. Интегрально они характеризуют гидролого-климатическую напряженность:

$$H_{Г-К.} = \Delta X_{изм}. \quad (6)$$

Напряженность гидролого-климатического процесса характеризуется отклонениями от естественной (максимальной) устойчивости ( $\Delta X_{ест.}$ ), статистически равновесного состояния увлажнения и теплообеспеченности почвогрунтов. В мелиоративной практике она определяется нормами орошения и осушения, в естественных условиях — отклонениями тепла и влаги, обусловленных периодами повышенного или пониженного увлажнения и теплообеспеченности.

Параметры устойчивости и напряженности гидролого-климатического процесса характеризуют и степень естественного или измененного геоэкологического состояния системы. Вместе с тем они интегрально отражают и степень *чувствительности* системы к внешним воздействиям. Она может быть выражена отношением величин напряженности к потенциалу устойчивости системы:

$$Ч_{Г-К.} = H_{Г-К.} / ПУ_{Г-К.} = (\Delta X_{изм} / \Delta X_{ест.}) 100\%. \quad (7)$$

Чувствительность гидролого-климатического процесса отражает изменчивость увлажнения и теплообеспеченности. При отсутствии внешнего влияния ( $\Delta X_{изм} = 0$ ) чувствительность системы будет равна нулю. Когда величины потенциальной устойчивости и напряженности сравниваются, ее значения достигнут 100%.

Выделяются следующие критерии гидролого-климатической напряженности и чувствительности: *естественная (равновесная); изменяемая и преобразованная*. Согласно В.Б. Сочаве преобразованная часть геосистем (уже преобразованная и потенциально доступная преобразованию) находится в динамическом состоянии [9].

Потенциалы устойчивости, напряженности и чувствительности гидролого-климатического процесса взаимосвязаны. Они отражают разные формы состояний увлажнения и теплообеспеченности деятельной поверхности почв, а также пространственно-временной процесс естественного формирования и трансформации гидролого-климатического цикла в целом. Вместе с тем в структурах древних почв сохраняется информация о деятельности человечества. Так, в Малый ледниковый период XII–XV вв. монгольские полупустыни превратились в травянистые степи. В эпоху развитого Средневековья (XI–XIV вв.) в природной среде евразийских степей произошло улучшение экологических условий, что подтверждается палеопочвенными материалами. Природные условия «способствовали наращиванию экономической и военной мощи центральноазиатских кочевников и в конечном счете послужили одной из причин татаро-монгольского нашествия в Среднюю Азию и Восточную Европу» [4].

**Зональные почвенно-гидрологические стадии увлажнения почв.** Стадия водной влагоемкости ( $V_{в.в.}$ ) формируется в геосистемах озерных тундр, когда их поверхность систематически покрывается слоем воды. Стадия избыточно полной влагоемкости ( $V_{и.п.в.}$ ) характерна для мохово-кустарничковой тундры с тиксотропными почвогрунтами, которые как бы разбавлены водой. Стадия дефицитной полной влагоемкости ( $V_{д.п.в.}$ ) формируется в геосистемах редколесья тундр и северной тайги, когда при временном дефиците атмосферного увлажнения не все поры почвогрунтов заполняются водой. Зональные свойства последующих стадий увлажнения: стадия капиллярной влажности ( $V_{к.в.}$ ) почвогрунтов средней тайги; стадия оптимально избыточной влажности ( $V_{о.и.в.}$ ) почвогрунтов южной тайги (при некотором избытке атмосферных осадков сохраняются режимы увлажнения, теплообеспеченности и аэрации, близкие к оптимальным); стадия оптимально дефицитной влажности ( $V_{о.д.в.}$ ) почвогрунтов лесостепи; стадия влажности разрыва капиллярных связей ( $V_{р.к.}$ ) в почвогрунтах степи; стадия влажности завядания ( $V_{в.з.}$ ) почвогрунтов полупустынь; стадия влажности максимальной гигроскопичности ( $V_{м.г.}$ ) почвогрунтов пустынь; стадия пленочной влаги ( $V_{пл.в.}$ ) почвогрунтов пустынь с чрезвычайно редким выпадением атмосферных осадков. Стадии увлажнения и качественные критерии их устойчивости оценены и систематизированы.

Изложенное выше позволяет выделить следующие стадии увлажнения и устойчивости водных режимов почв (табл. 1).

Таблица 1

**Зональные стадии влагоемкости почвогрунтов  
и структурно-гидрологических потенциалов их устойчивости**

| <b>Влажность почвогрунтов, в долях, <math>v_{н.в.}</math></b> | <b>Зональная стадия влагоемкости и влажности почвогрунтов</b>  | <b>Потенциал устойчивости почвогрунтов</b> |
|---|--|--|
| 1,9–2,5   | Максимально полная влагоемкость ( $v_{м.п.в.,сл.в.}$ ) почвогрунтов озерных тундр, со слоем воды   | максимальный                               |
| 1,5–2,5   | Повышенная полная влагоемкость ( $v_{п.п.в.}$ ) почвогрунтов мохово-лишайниковых тундр   | весьма повышенный                          |
| 1,2–1,9   | Водно-воздушная полная влагоемкость ( $v_{вон.в.}$ ) почвогрунтов северной тайги   | повышенный                                 |
| 1,1–1,3   | Капиллярная влагоемкость ( $v_{к.в.}$ ) почвогрунтов средней тайги   | средний                                    |
| 1,0–1,3   | Оптимальная влажность в условиях избыточного увлажнения ( $v_{о.в.и.у.}$ ) почвогрунтов южной тайги  | минимальный                                |
| 1,0   | Оптимальная влажность — наименьшая влагоемкость в условиях эквивалентного равенства тепла и влаги  | минимальный                                |
| 0,6–1,0   | Оптимальная влажность в условиях недостаточного увлажнения ( $v_{в.н.у.}$ ) почвогрунтов лесостепи ( $v_{о.в.л.}$ ) почвогрунтов лесостепи | минимальный                                |
| 0,6–0,5   | Влажность разрыва капиллярных связей ( $v_{в.р.к.}$ ) почвогрунтов степи   | средний                                    |
| 0,5–0,3   | Влажность «завядания» ( $v_{в.з.}$ ) почвогрунтов полупустынь  | повышенный                                 |
| 0,3–0,2   | Влажность максимальной гигроскопичности ( $v_{в.м.г.}$ ) почвогрунтов пустынь  | весьма повышенный                          |
| $\leq 0,1$  | Влажность пленочной влаги ( $v_{в.пл.в.}$ ) почвогрунтов очень сухих пустынь   | максимальный                               |

Таким образом, стадии формирования зональной влагоемкости и режимов увлажнения выступают в инвариантной форме конкретного единения увлажнения, структуры почвогрунтов и факторов окружающей среды, таких как рельеф, растительность и климат.

*Литература*

1. *Борисенков Е.П.* Многофакторная природа парникового эффекта (роль механизмов прямой и обратной связи и сопутствующих явлений) // Географические проблемы конца XX века. СПб.: РГО, 1998. С. 183–205.
2. *Будыко М.И.* Испарение в естественных условиях. Л.: Гидрометеиздат, 1948. С. 136.
3. *Григорьев А.А.* Некоторые итоги разработки новых идей в физической географии // Известия АН СССР. Серия геогр. и геофиз. – 1946. – Т. X. – № 2. – С. 139–168.
4. *Демкин В.А., Демкина Т.С.* Среда обитания древнего и средневекового населения восточноевропейских степей (по материалам почвенно-археологических исследований) // Экология и почвы. М., 1999. Т. 111. С. 272–287.
5. *Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т.* Физико-географические основы мелиорации и гидрологии // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2010. № 1 (5). С. 22–33.
6. *Мезенцев В.С.* Метод гидролого-климатических расчетов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности // Труды Омского сельскохозяйственного института. 1957. XXVII. 121 с.
7. *Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П.* Основы ландшафтного анализа. М.: Наука, 1988. 192 с.
8. *Соколов И.А., Таргульян В.О.* Взаимодействие почвы и среды. М.: Изд-во АН СССР, 1976. 187 с.
9. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.

*Literatura*

1. *Borisenkov E.P.* Multifaktornaya priroda parnikovogo efekta (rol' mexanizmov pryamoj i obratnoj svyazi i sopotstvuyushhix yavlenij) // Geograficheskie problemy' koncza XX veka. SPb.: RGO, 1998. S. 183–205.
2. *Budy'ko M.I.* Isparenie v estestvenny'x usloviyax. L.: Gidrometeoizdat, 1948. S. 136.
3. *Grigor'ev A.A.* Nekotory'e itogi razrabotki novy'x idej v fizicheskoy geografii // Izvestiya AN SSSR. Seriya geogr. i geofiz. 1946. T. X. № 2. S. 139–168.
4. *Demkin V.A., Demkina T.S.* Sreda obitaniya drevnego i srednevekovogo naseleniya vostochnoevropeskix stepej (po materialam pochvenno-arxeologicheskix issledovanij) // E'kologiya i pochvy'. M., 1999. T. III. S. 272–287.
5. *Dmitrieva V.T., Naprasnikov A.T.* Fiziko-geograficheskie osnovy melioracii i gidrologii // Vestnik MGPU. Seriya «Estestvennye nauki». 2010. № 1 (5). S. 22–33.
6. *Mezencev V.S.* Metod gidrologo-klimatichekix raschetov i opy't ego primeneniya dlya rjionirovaniya Zapadno-Sibirskoj ravniny' po priznakam uvlazhneniya i teploobespechennosti // Trudy' Omskogo sel'skoxozyastvennogo instituta. 1957. XXVII. 121 s.
7. *Preobrazhenskij V.S., Aleksandrova T.D., Kupriyanova T.P.* Osnovy' landshaftnogo analiza. M.: Nauka, 1988. 192 s.

8. Sokolov I.A., Targul'yan V.O. Vzaimodeistvie pochvy' i sredy'. M.: Izd-vo AN SSSR, 1976. 187 s.
9. Sochava V.B. Vvedenie v uchenie o geosistemax. Novosibirsk: Nauka, 1978. 319 s.

*V.T. Dmitrieva,  
A.T. Naprasnikov*

### **Binary Stability of Soil Water-retention**

The article gives reasons for theoretical approaches to the geosystem binary stability estimation. The theory of hydrological climatic process by M.I. Budyko and V.S. Mezentsev serves as the basis. The work demonstrates zonal stages of moisture retention capacity and structural hydrological stability potentials of soils.

*Key-words:* hydrological climatic process; binary stability; water retention; system organization; stability criteria.

**В.Н. Латчук,  
С.Р. Карьёнов**

### **Комплексный подход к обеспечению безопасности образовательных учреждений**

В статье рассматриваются результаты аналитического исследования системы управления комплексной безопасностью образовательных учреждений, в том числе условия и факторы возникновения источников потенциальной опасности в образовательной среде, угрозы безопасности внешней и внутренней среды образовательного учреждения, субъекты и объекты безопасности, функции управления персоналом по защите от внешних и внутренних угроз.

*Ключевые слова:* образовательное учреждение; система безопасности; принципы безопасности; комплексный подход; внешние угрозы; природные угрозы; внутренние угрозы; функции управления безопасностью.

**М**одернизация российского образования в последние годы проходит на фоне повышения рисков природного, техногенного, экологического, социального и экономического характера; усиления международного терроризма, локальных военных конфликтов, ухудшения криминогенной обстановки.

Ущерб, наносимый объектам системы образования вследствие угроз и опасностей различного характера, не может быть оценен никакими денежными эквивалентами ввиду их государственной и общественной важности. К тому же это, как правило, объекты с массовым пребыванием детей, что в случае возникновения опасных ситуаций может привести к массовым трагическим последствиям.

Анализ проблем безопасности образовательных учреждений позволяет сделать вывод о том, что сформированная сегодня законодательная база, а именно: Конституция Российской Федерации; законы Российской Федерации: «Об образовании», «О безопасности», «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», «О пожарной безопасности», «О безопасности дорожного движения», «Об экологической безопасности», «О борьбе с терроризмом», «О радиационной безопасности населения», «О са-



нитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «О гражданской обороне», а также законодательные акты Российской Федерации по охране здоровья граждан, Концепция национальной безопасности Российской Федерации и другие нормативно-правовые акты в области безопасности ставят перед органами управления образования всех уровней следующие важные задачи:

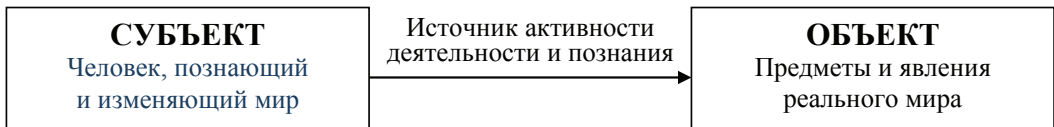
- создание действенной нормативно-правовой базы по обеспечению безопасности образовательных учреждений;
- создание хорошо продуманной комплексной системы мер по установлению порядка охраны, основ безопасности и обеспечению устойчивого функционирования образовательных учреждений всех видов и типов;
- разработку и реализацию комплексных мер, направленных на обеспечение безопасности объектов системы образования и создание безопасных условий для участников образовательного процесса;
- осуществление взаимодействия органов управления образованием на всех уровнях с государственными службами, ведающими проблемами безопасности личности, общества и государства, занимающимися охраной здоровья населения и его защитой в чрезвычайных ситуациях;
- разработку и расчет технико-экономической эффективности мероприятий, направленных на обеспечение безопасности образовательных учреждений с целью принятия экономически обоснованных решений по их защите;
- организацию и проведение обучения участников образовательного процесса в области защиты от угроз и опасностей различного характера.

В последние годы в специальной литературе обсуждаются отдельные вопросы, касающиеся различных аспектов безопасности образовательных учреждений и участников образовательного процесса. Однако в стране до настоящего времени отсутствует единая **комплексная система обеспечения безопасности образовательных учреждений**.

Практически отсутствуют также научные разработки по организационно-методическим основам обеспечения комплексной безопасности; по внедрению новых систем безопасности, технических и методологических решений, средств измерений и контроля для обеспечения безопасности образовательных учреждений, основанных на использовании современных достижений отечественной и зарубежной науки и техники; не создана единая информационная среда по решению проблем безопасности образовательных учреждений. Решение этих задач требуют комплексного подхода к построению системы безопасности образовательного учреждения.

Исследованные нами труды ученых и специалистов в области теоретических аспектов безопасности В.И. Ярочкина, О.Н. Русака, Л.А. Михайлова [2; 5; 6] позволяют выявить механизмы возникновения источников потенциальной опасности в среде обитания, а также констатировать, что угрозы и опасности всегда указывают на взаимодействие двух сторон: субъекта, который выступает источником и носителем опасности, и объекта, на который направлена угроза или опасность.

Источники опасности представляют собой условия и факторы, которые таят в себе, а при определенных условиях сами по себе или в различной совокупности проявляют или обнаруживают враждебные намерения, вредоносные свойства, деструктивную природу, реальные или потенциальные действия. По своей природе они имеют природное, техногенное и социальное происхождение. Исходя из этого, субъект выступает как носитель предметно-практической деятельности и познания, источник активности, направленной на объект. Объект, в свою очередь, выражает то, что противостоит субъекту в его предметно-практической или познавательной деятельности. Взаимосвязь субъекта и объекта иллюстрирует рисунок 1.



*Рис. 1.* Взаимосвязь субъекта и объекта как предмета познания, практического воздействия и деятельности.

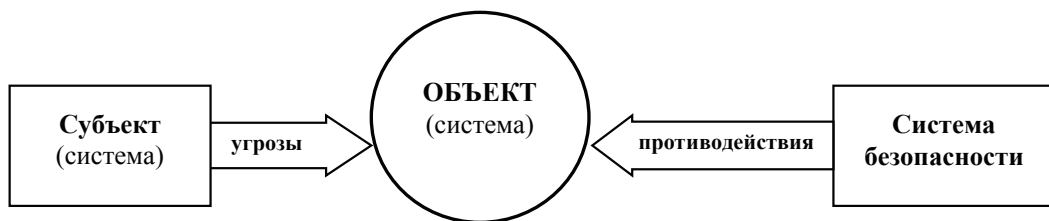
Все опасности реальны, когда они воздействуют на конкретные объекты (объекты защиты). Каждый компонент окружающей среды может быть объектом защиты от опасностей. В порядке приоритета к объектам защиты относятся: человек, общество, государство, природная среда (биосфера), техносфера и т.п. Основное желаемое состояние объектов защиты — безопасное. Состояние безопасности достигается при условии, когда действующие на объект защиты опасности снижены до предельно допустимых уровней воздействия.

Анализируя исследования В.И. Ярочкина в области теории и методики безопасности, мы пришли к пониманию того, что основополагающими методологическими принципами обеспечения безопасности деятельности человека являются:

1. *Принцип системности*, в основе которого лежит соотношение целого и части. С одной стороны, любое явление в сфере безопасности надо рассматривать как целое, относительно самостоятельное и включающее ряд явлений меньшего масштаба. С другой — само оно есть часть большего явления, испытывает его влияние и на него воздействует. Таким образом, каждое явление процесса обеспечения безопасности есть определенная система составляющих его элементов как единство взаимосвязанных и взаимодействующих предметов, процессов, отношений.

В сфере безопасности жизнедеятельности человека под целым понимается система «субъект – объект – система безопасности» для любых объектов, любых уровней и масштабов (рис. 2).

Под объектом здесь понимается любая система, в том числе планета, страна, личность, технические средства, сооружения, элементы природной среды, то есть все то, что необходимо для обеспечения безопасности человека в самом широком смысле слова и что может подвергаться негативному воздействию различного характера.



*Рис. 2.* Обобщенное представление целого: Система «субъект – объект – система безопасности».

2. *Принцип взаимосвязи и взаимозависимости.* Суть его заключается в том, что мир, в котором живет человек, представляет собой единое целое. Все его части неразрывно связаны между собой. Ни в природе, ни в общественной жизни нет абсолютно изолированных явлений и предметов. Объективное существование всеобщей взаимосвязи явлений и процессов действительности, как и взаимодействие всех их сторон, обуславливаются именно этими связями.

3. *Принцип определяющих факторов,* который состоит в выделении существенных связей и отношений, оказывающих решающее влияние на состояние безопасности. Этот принцип позволяет отсеять второстепенные воздействия, не имеющие значительного влияния на функционирование тех или иных систем.

Таким образом, в безопасности жизнедеятельности человека проявляются выраженные закономерности угроз и опасностей и способы защиты от них. Реализуясь в пространстве и времени, они угрожают и человеку, и обществу, и государству, следовательно, профилактика опасностей и защита от них — актуальнейшая проблема, в решении которой должно быть заинтересовано и государство, и общество, и каждый человек.

Общественная практика свидетельствует о том, что слабость системы безопасности оборачивается огромными бедами и несчастьями, ведущими к человеческим жертвам, значительным материальным и нравственным издержкам, что государство, общество, конкретный человек, не заботящиеся о своей безопасности, оказываются нежизнеспособными. Это в полной мере относится и к объектам системы образования.

Проведенные нами исследования характерных угроз и опасностей для объектов системы образования позволили выделить как внешние, так и внутренние явления и события, влияющие на безопасность образовательных учреждений. Эти явления и события можно классифицировать следующим образом:

- а) угрозы безопасности внешней среды образовательного учреждения;
- б) угрозы безопасности внутренней среды образовательного учреждения.

**Угрозы безопасности внешней среды образовательного учреждения** рассматриваются в работах К.В. Жарикова, Т.Л. Партыка, Н.И. Гаранина, М.С. Петровой, С.В. Петрова и С.Н. Вольхина и др.

К таким угрозам мы относим:

а) *природные:* геофизические, геологические, метеорологические и агрометеорологические, гидрологические, гидрогеологические опасные

явления; природные пожары; массовую и инфекционную заболеваемость людей и др.;

*б) техногенные:* транспортные аварии и катастрофы; пожары, взрывы и угрозы взрывов; аварии с выбросом химически опасных веществ; аварии с выбросом радиоактивных веществ; аварии с выбросом биологически опасных веществ; внезапное обрушение зданий и сооружений; аварии на электро-энергетических объектах и др.;

*в) социальные:*

- социально-политические: массовые беспорядки и нарушения общественного порядка; угрозы правам и свободам граждан; акты политического (международного, религиозного) экстремизма и терроризма; военные конфликты и противостояния; действия вооруженных сил против незаконных вооруженных формирований и др.;
- социально-экономические: экономические кризисы; бедственное экономическое положение; резкое повышение курса валют, размеров государственных пошлин, значительное увеличение тарифов на транспортные расходы и др.;
- социально-криминогенные: противоправное проникновение посторонних лиц в образовательные учреждения; хищения имущества обучающихся, воспитанников, работников образовательных учреждений; хулиганские действия, насилие, вандализм; причинение вреда здоровью; вымогательство, мошенничество; употребление и распространение наркотиков; уличные проявления экстремизма, наличие преступных группировок; угрозы осуществления терактов и сами теракты;
- социально-биологические: эпидемии опасных инфекционных заболеваний с уровнем смертности или заболеваемости, превышающим среднестатистический в три и более раз; инфекционные или лихорадочные заболевания невыясненной этиологии; массовые отравления некачественными продуктами питания и водой, опасными химическими веществами в быту; появление в местах массового проживания людей опасных для человека больных диких животных и птиц и др.;

*г) экологические:* смог; превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных примесей в атмосфере; загрязнение водных бассейнов, нехватка питьевой воды и воды для обеспечения технологических процессов в системах жизнеобеспечения и др.;

**Угрозы безопасности внутренней среды образовательного учреждения** исследуются в работах С.Я. Федоткина, Н.И. Гаранина, С.В. Петрова, О.В. Павловой, Л.А. Тропкиной, Л.А. Михайлова и др.

К ним отнесены:

- плохая материальная база и внутренняя инфраструктура образовательного учреждения;
- слабая система безопасности и охраны образовательного учреждения;

- целенаправленные действия преступников;
- недисциплинированность и бесконтрольность педагогического персонала и учащихся;
- непонимание серьезности проблем безопасности и неорганизованность досуга обучающихся;
- сокрытие фактов правонарушений и непринятие соответствующих мер к правонарушителям;
- негативное влияние преступной и молодежной субкультуры;
- отсутствие необходимой правовой и социальной информации;
- недостаточные знания, умения и навыки безопасного поведения, недостаточное изучение педагогами реальной жизни учащихся, их интересов и контактов.

По мнению М.С. Петровой и С.В. Петрова, комплекс причин опасностей в образовательных учреждениях не может быть нейтрализован действиями в каком-либо одном направлении: правовом, экономическом, информационном, техническом, кадровом или организационном. Однако главным звеном остается воздействие внутренних и внешних угроз на учащихся, родителей и персонал.

Причины происшествий, несчастных случаев, производственного травматизма и профессиональных заболеваний персонала и воспитанников в образовательных учреждениях можно разделить на причины внешнего характера (технические и организационные) и причины, зависящие непосредственно от учащегося или работника (личностные).

#### **К техническим причинам относятся:**

- неисправности механизмов, приборов, инженерного и санитарно-технического оборудования и инвентаря;
- отсутствие или несовершенство оградительных, заземляющих, блокирующих, защитных и предохранительных устройств;
- отсутствие и неисправность автоматических систем защиты и оповещения, неисправность электропроводки, недостатки в освещении, вентиляции, отоплении, водоснабжении, а также шум, вибрация, недоброкачественные продукты питания, и прочее;
- невыполнение санитарных и противоэпидемиологических правил обеспечения безопасности жизни и здоровья обучающихся при организации питания в образовательных учреждениях (хранение и обработка пищевых продуктов, кухня и кухонное оборудование, питьевая вода, совместимость блюд, количество калорий, обслуживающий персонал и ряд других).

#### **К организационным причинам относятся:**

- нарушение норм внутреннего распорядка и охраны труда по вине администрации, слабый контроль за соблюдением инструкций по технике безопасности;
- недостаточный надзор и неудовлетворительная организация обучения педагогических работников безопасным приемам работы, недостатки в проведении инструктажей по безопасности;

- неудовлетворительное отношение преподавателей к обучению безопасным приемам проведения учебной деятельности;
- нарушение режима труда и отдыха учащихся;
- неудовлетворительное содержание территории учебного учреждения и учебных мест;
- несвоевременное и неквалифицированное расследование происшествий;
- недостатки воспитательной работы, слабое взаимодействие с родителями учащихся по вопросам профилактики правонарушений и травматизма.

**К личностным причинам относятся:**

- недостаточное внимание, ослабление зрения, слуха, памяти, болезнь, утомление, ослабление у учащихся самоконтроля над своей деятельностью;
- недисциплинированность учащихся, нетрезвость, беспечность, нарушение правил внутреннего распорядка и инструкций по безопасности;
- незнание правил и алгоритмов безопасного поведения, отсутствие необходимых знаний, навыков и умений, культуры безопасного поведения;
- неудовлетворительные социально-экономические условия жизни, недостаточная работа социальных служб, малоэффективная педагогическая работа по воспитанию культуры безопасного поведения учащихся.

Как правило, все происшествия, аварии, травмы случаются по нескольким причинам, действующим одновременно, что облегчает их заблаговременное выявление. Однако для устранения и личных, и внешних причин возникновения опасных ситуаций необходим комплексный системный подход с участием всех субъектов безопасности: учащихся, психологов, педагогов, родителей, при котором немаловажное значение будут иметь гуманитарный и управленческий компоненты.

Л.А. Михайлов утверждает, что в обеспечении безопасности *гуманитарный компонент* заключается в безукоризненном выполнении следующих основных принципов в работе педагогического персонала:

- добропорядочность, чистосердечность, предупредительность, постоянная забота об учениках;
- соблюдение этикета и уважительное отношение к ученикам, требовательность к себе, честность, вдумчивое отношение ко всем мелочам;
- глубокое осознание своей моральной и юридической ответственности за безопасность образовательного пространства.

*Управленческий компонент* влияет на осознание важности человеческого фактора, умение реализовать свои знания и возможности с учетом потенциала педагогического персонала и определяет непреложные управленческие правила:

- подчинение деятельности всех педагогических работников единой концепции безопасности образовательного учреждения, базовым положением которой (принятой философией учреждения) является стремление к максимально возможному обеспечению безопасности;

- наличие постоянной, четко отработанной и выполняемой программы работы с участниками образовательного процесса по ознакомлению с целями, задачами, философией деятельности по обеспечению безопасности, с программой учета и выполнения предложений и замечаний, способствующих улучшению безопасности образовательного учреждения;

- наличие постоянной, отработанной, выполняемой программы обучения персонала;

- повышение квалификации персонала путем обучения вновь принимаемых работников мерам обеспечения безопасности;

- четкое информирование участников образовательного процесса обо всех изменениях в работе образовательного учреждения;

- понятные, действенные методы мотивации всех участников образовательного процесса, активно и творчески участвующих в обеспечении безопасности (система поощрений, механизм ротации, повышение в должности, перемещения);

- вовлечение всех участников образовательного процесса во все сферы работы образовательного учреждения как участников общего дела по обеспечению безопасности;

- четко продуманное содержание и соблюдение всех технологических компонентов и функций управления безопасностью: планирование, организация, мотивация и контроль.

Управление безопасностью образовательного учреждения представляет собой организованную управленческим персоналом систему специальных мер и средств, обеспечивающих безопасность как самого объекта, так и безопасность участников образовательного процесса.

Исходя из положений общей теории безопасности, комплексную безопасность образовательного учреждения следует рассматривать как временное состояние, не снимающее потенциальной внутренней или внешней угрозы безопасности. Это вытекает из презумпции потенциальной опасности любого вида деятельности.

Вышеизложенное позволяет нам трактовать *систему обеспечения комплексной безопасности образовательного учреждения* как совокупность предусмотренных законодательством мер и мероприятий, разрабатываемых и осуществляемых руководством образовательного учреждения во взаимодействии с органами местного самоуправления, правоохранительными структурами, вспомогательными службами и общественными организациями (формированиями) с целью обеспечения его безопасного функционирования, а также готовности участников образовательного процесса к рациональным действиям в условиях угроз и опасностей внешней и внутренней среды.

Анализ литературы в области организации управления безопасностью объектов экономики показывает, что система безопасности образовательного учреждения состоит из управляющей (субъект управления) и управляемой

(объект управления) составляющих. Схема управления безопасностью образовательного учреждения представлена на рисунке 3.



*Рис. 3.* Схема управления безопасностью образовательного учреждения.

Объектами обеспечения безопасности являются: участники образовательного процесса (педагогические работники и персонал образовательного учреждения, учащиеся и родители); имущество образовательного учреждения и участников образовательного процесса.

Субъектами обеспечения безопасности являются: руководитель образовательного учреждения и его заместители по различным вопросам, в том числе по обеспечению безопасности.

Комплексная безопасность образовательного учреждения достигается в процессе осуществления следующих основных мер и мероприятий:

- организации физической охраны объекта и территории с целью своевременного обнаружения и предотвращения опасных ситуаций;
- организации пропускного режима, исключающего несанкционированное проникновение на объект посторонних граждан и техники;
- защиты участников образовательного процесса от насильственных действий (физическая охрана осуществляется путем привлечения сил подразделений вневедомственной охраны органов внутренних дел, частных охранных предприятий или штатных сторожей);
- осуществления пожарного надзора, выполнения норм и правил пожарной безопасности;
- плановой работы по антитеррористической защищенности образовательного учреждения;
- соблюдения норм охраны труда и техники безопасности;
- разработки и реализации мероприятий по защите участников образовательного процесса и самого предприятия от чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени;
- обеспечения инженерно-технической укрепленности предприятия (ограждения, металлические двери, решетки, противотаранные устройства и т.п.);
- четкой работы инженерно-технического оборудования (охранная сигнализация; тревожно-вызывная сигнализация — локальная или выведенная на «01»; телевизионное видеонаблюдение; ограничение и контроль за доступом; пожарная сигнализация; радиационный и химический контроль).



Основными задачами управления безопасностью образовательного учреждения являются:

- создание хорошо продуманной комплексной системы мер по обеспечению безопасных условий для участников образовательного процесса;
- создание и поддержка имиджа образовательного учреждения как совершенно безопасного места для участников образовательного процесса.

Управление системой комплексной безопасности образовательного учреждения достигается за счет выполнения следующих основных функций:

*а) четкого планирования*, которое предполагает:

- разработку стратегии образовательного учреждения по обеспечению безопасности;
- анализ экономических факторов, влияющих на полноту и эффективность осуществления мероприятий по обеспечению безопасности;
- формирование ценовой политики с учетом полноты и эффективности решений в отношении обеспечения безопасности и имиджа образовательного учреждения как безопасного объекта;
- долгосрочное и краткосрочное планирование деятельности образовательного учреждения в отношении обеспечения мер безопасности;

*б) эффективной организации* работы и взаимодействия службы безопасности со всеми структурными подразделениями образовательного учреждения, задачами которой являются:

- организация и управление отношениями образовательного учреждения во внешней среде (с государственными органами, партнерами, банками, страховыми компаниями, другими предприятиями) по вопросам обеспечения безопасности;
- оптимизация ресурсов образовательного учреждения при решении задач обеспечения безопасности;
- формирование эффективной организационной структуры системы комплексной безопасности и управления этой структурой;
- разработка инновационной политики по повышению уровня безопасности;
- разработка мероприятий по снижению рисков и организация системы мероприятий по профилактике и минимизации рисков, связанных с недостаточным уровнем обеспечения безопасности в силу финансово-экономических причин;

*в) создания и реализации системы мотивации* персонала со следующими задачами:

- формирование у работников образовательного учреждения творческого, заинтересованного отношения к работе по обеспечению безопасности, к внутренней мотивации труда, основанной на заинтересованности в таком труде;
- материальное и моральное поощрение работников образовательного учреждения за участие в программах обеспечения безопасности;

- подбор, расстановка, повышение квалификации и профессионального роста кадров, работающих по программам обеспечения безопасности;
  - создание благоприятных условий для самореализации человека в его основной работе и работе по обеспечению безопасности;
- г) эффективного контроля за соблюдением мер безопасности и обеспечения обратной связи «участники образовательного процесса – образовательное учреждение». Такой контроль позволит регулярно выявлять направления совершенствования системы безопасности объекта и будет способствовать реализации следующих задач:
- анализ деятельности образовательного учреждения в области обеспечения безопасности;
  - корректировка планов и проектов образовательного учреждения, касающихся, в частности, вопросов обеспечения должного уровня безопасности;
  - контроль за полнотой и качеством исполнения управленческих решений, за деятельностью участников образовательного процесса в области обеспечения безопасности;
  - анализ рисков в деятельности, связанной с недостаточным уровнем безопасности образовательного учреждения.

### *Литература*

1. *Гаранин Н.И.* Менеджмент безопасности в туризме и гостеприимстве. М.: Советский спорт, 2005. 224 с.
2. *Михайлов Л.А.* Обеспечение безопасности образовательных учреждений. М.: Академия, 2008. 256 с.
3. Охрана жизнедеятельности образовательного учреждения / Сост. Л.А. Тропкина. Волгоград: Учитель, 2007. 175 с.
4. *Петров С.В.* Обеспечение безопасности образовательного учреждения. – М.: НЦ ЭНАС, 2006. – 248 с.
5. *Русак О.Н., Маляян К.Р., Занько Н.Г.* Безопасность жизнедеятельности. М.: Лань, 2004. 448 с.
6. *Ярочкин В.И.* Секьюритология — наука о безопасности жизнедеятельности. М.: Ось–89, 2000. 234 с.
7. *Ярочкин В.И.* Система безопасности фирмы. М.: Ось–89, 1997. 144 с.

### *Literatura*

1. *Garanin N.I.* Menedzhment bezopasnosti v turizme i gostepriimstve. M.: Sovetskij sport, 2005. 224 s.
2. *Mixajlov L.A.* Obespechenie bezopasnosti obrazovatel'ny'x uchrezhdenij. M.: Akademiya, 2008. 256 s.

3. Ochrana zhiznedeyatel'nosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya / Sost. L.A. Tropkina. Volgograd: Uchitel', 2007. 175 s.
4. *Petrov S.V.* Obespechenie bezopasnosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya. M.: NC ENAS, 2006. 248 s.
5. *Rusak O.N., Malayan K.R., Zan'ko N.G.* Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. M.: Lan', 2004. 448 s.
6. *Yarochkin V.I.* Sek'yuritologiya — nauka o bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti. — M.: Os'-89, 2000. — 234 s.
7. *Yarochkin V.I.* Sistema bezopasnosti firmy'. — M.: Os'-89, 1997. — 144 s.

*V.N. Latchuk,*  
*C.R. Karionov*

### **Complex Approach to Securing Life Safety in Educational Institutions**

The article reviews the results of an analytical investigation into the system of educational institutions security management, including circumstances, factors and sources of potential threats emersion in the educational environment, outsider and insider safety threats to educational institutions, safety subjects and objects, personnel management functions in case of protection against outsider and insider threats.

*Key-words:* educational institution; security system; security principles; complex approach; outsider threats; natural threats; insider threats; security control functions.

**Б.Б. Вагнер**

**Загадки речных имен  
(об обманчивой «прозрачности»  
некоторых московских гидронимов)**

В статье пересматриваются ставшие привычными традиционные объяснения происхождения названий некоторых московских рек. На основании анализа природных и исторических обстоятельств возникновения указанных гидронимов предлагаются новые варианты расшифровки этих речных имен.

*Ключевые слова:* топонимика; этимология; гидронимы; московские реки.

**В** топонимическом изучении московских и подмосковных рек давно уже сложился явный переко́с в сторону исследований, посвященных дославянским (балтским и угро-финским) гидронимам. Объем и число публикаций, разбирающих происхождение названий таких рек, как Яуза, Руза, Истра, Шерна, Пахра, Нара или более мелких, таких как Искона, Иночь, Воймега или Ушма, на порядок превышают количество работ, рассматривающих простые и вроде бы «прозрачные» славянские гидронимы.

Первое пришедшее на ум ученым былых времен объяснение некритически принимается за истину всеми последующими исследователями и переходит из словаря в словарь даже при очевидной нелепости старого толкования. Это относится порой и к довольно известным водотокам, вроде Неглинки, и к менее знакомым большинству москвичей рекам Очаковка, Кровянка, Коршуниха или Лихоборка. Что уж говорить о бывших подмосковных реках, ныне вошедших в черту столицы — Алёшинке, Цыганке и др.

Особенно вопиющим представляется случай с Неглинкой. С конца XVIII века из книги в книгу кочует странная и явно притяннутая за уши версия, расшифровывающая имя этой реки как «неглинистая» и объясняющая это характером ее дна и берегов (песчаных или каменистых) и прозрачностью воды.

Правда, отдельные исследователи, поняв нелепость такого объяснения, уклонились вовсе от попытки выяснить происхождение имени этой реки (улицы) [4; 10], и лишь В.Б. Муравьев [8] и независимо от него автор данного исследо-

вания [1] обратились в поисках его значения к трудам В.И. Даля [5] и Э.М. Мурзаева [9], где без труда нашли простое и понятное объяснение названия Неглинка. Однако «неглинистая» версия усилиями журналистов и некомпетентных в топонимике москвоведов по-прежнему выдается за основную и даже, увы, попала в школьный учебник [7]. Поэтому стоит разобрать ее подробнее, тем более, что в данном случае мы имеем дело не с рядовым водотоком. Ведь Неглинка, являясь третьей по величине и второй по важности (в оборонном плане) рекой древней Москвы, упоминается в летописи уже с XII века [6].

В русской топонимике названия водотоков нередко отражают их природные особенности, характер грунта в русле, скорость течения, флору и фауну на берегах и в самой реке и т.д. Нам привычны и понятны такие гидронимы, как Быстрянка, Ленивка, Глубочица, Сухменка, Вьюнка (*вьюн* — «водоворот»), Каменка, Песочня, Берёзовка, Ольшанка, Бобровка и др. Но никогда в русском языке названия не давались *по отсутствию* того или иного признака. Немыслимы гидронимы типа Некаменка, Непесочня, Неберёзовка, Небобровка. К этому ряду закономерно примыкает Неглинка, как «неглинистая» река.

Стоит добавить, что берега и дно этой речки (до заключения ее в трубу и мощения образовавшейся улицы) были как раз глинистыми и представляли собой, по словам историка XIX в. И.М. Снегирёва, «непроходимые грязи» (цит. по П.В. Сытину [11]). О мутных водах Неглинки, вливающихся в чистые струи Москвы-реки, упоминает и Н.М. Карамзин. Таким образом, расшифровка названия Неглинка, как неглинистая река, — типичная «народная этимология». Между тем в своем «Толковом словаре живого великорусского языка» В.И. Даль приводит существовавший в рязанских говорах термин *неглинок* — «болотце, болотистое место с ключами». Отсюда легко допустить, что название Неглинка имело когда-то смысл — «болотистая река».

Действительно, начиналась она в прежние времена в обширном болоте близ Марьиной Рощи, впадая в Москву-реку возле протянувшегося на полверсты болота (по-старинному — «моха») в районе теперешней Моховой улицы. Таким образом, значение гидронима Неглинка — «болотистая река», исходя из природных условий ее долины, выглядит вполне логичным.

Однако есть одно обстоятельство, позволяющее предположить и иное происхождение имени рассматриваемой реки. Это название местности Занеглименье, означавшее территорию, расположенную по отношению к Кремлю за Неглинкой (подобно тому, как местность за Москвой-рекой именовалась Замоскворечьем, а за Яузой — Заяюзьем). Если реконструировать имя реки по топониму Занеглименье, то получается, что речка должна была именоваться Неглимна, Неглимка или Неглименка (от Неглинки было бы Занеглинье).

В поисках разгадки происхождения такого странного топонима автор обратился к картам соседних областей. И неожиданно в Тверской области обнаружили сразу две реки со сходным названием Меглинка (одна — приток Мологи, вторая — приток Руны, впадающей в одно из Верхневолжских озер — Стерж). Есть в бассейне Мологи и довольно крупное озеро Меглино. Вновь обратившись

к словарю В.И. Даля, можно найти там бытовавший в северных говорах географический термин *мег* — «речной мыс». В словаре Э.М. Мурзаева *мег* — «*излучина реки*». Нетрудно предположить, что в языке древних славян тоже существовал гидрографический термин с похожим значением (скажем, «изгиб, извилина, поворот»). От него мог возникнуть эпитет *меглый* — «извилистый».

Тогда гидроним Меглинка должен означать «извилистая река». В устной речи ставшее со временем малопонятным название легко могло превратиться в более знакомое Неглинка. В глухих же лесных дебрях севера Тверской области, с их редким и сейчас населением, исконные имена рек дожили до наших дней.

Но соответствует ли гипотетическая расшифровка имени Неглинка, как искаженного Меглинка («извилистая река»), географическим реалиям? Обратившись к карте, мы видим, что от истока до устья этой реки по прямой всего 4 км, тогда как общая длина ее (до спрямления трубой) составляла около 10 км (сейчас — около 8 км). Таким образом, коэффициент извилистости Неглинки ( $K_{изв}$ ) в древние времена составлял 2,5, что резко выделяет ее на фоне соседних водотоков и что могло послужить поводом для наименования ее «извилистой».

Для сравнения: у других малых рек Москвы указанный коэффициент колеблется в пределах 1,2–1,5. Так, Чертановка при длине 12 км имеет  $K_{изв}$  — 1,2; у Городни (длина 16 км)  $K_{изв}$  — 1,3; у Чермянки (длина 12 км)  $K_{изв}$  — 1,5. Даже у относительно крупных московских рек длиной 30–50 км  $K_{изв}$  колеблется в районе 2,0 (у Сходни с длиной 47 км — 1,9; у Сетуни с длиной 38 км — 2,1; у Яузы с длиной в черте Москвы 29 км — 1,7). Следовательно, Неглинка, по московским меркам, действительно очень извилистая река.

Возможен, кстати, еще один механизм превращения Меглинки в Неглинку. Сразу после возникновения названия заречной слободы стало ясным, что выговорить слово «Замеглиненье» очень сложно, из-за чего этот топоним быстро стал звучать как «Занеглименье». Вслед за этим и название речки могло видоизмениться и из Меглинки превратиться в Неглинку.

Из других «якобы прозрачных» гидронимов старой Москвы остановимся на нескольких именах малых рек. Название речки Очаковки, начинающейся в районе станции метро «Теплый Стан» и впадающей затем в Раменку (приток Сетуни), считается унаследованным от названия деревни, стоявшей на ее берегах. Однако названия селениям в старину давались обычно по имени или кличке первопоселенца либо по фамилии владельца. Но имени-клички Очак ни в одном древнем документе не зафиксировано. Остается предположить, что деревня получила название по реке. Тогда что же означает гидроним Очаковка? На помощь снова приходит В.И. Даль, в словаре которого можно найти старинное слово *обчачнуть* — «хилеть, исхудать». В Архангельской области автор столкнулся и с более краткой формой «очачнуть» («Родник, почитай, 20 лет не чистили — вишь, очач совсем»). Если предположить, что, местами похожая на ручей и выше пруда в Тропаревском парке полностью высыхающая в жаркое лето, речка носила на смешливое имя *Обчачовка (Очачовка)* — «иссыкающая, хилая речка» (что-то вроде Переплюевки), то легко допустить, что в устной речи местных жителей этот гидроним быстро стал звучать как *Очаковка*.

Другой пример «лобового» истолкования гидронима — объяснение происхождения названия речки Кровянки, протекающей в трубе близ Даниловского кладбища. Уже не первый век различные авторы сообщают, что имя эта речка получила после одного из татарских набегов, когда вода в ней покраснела от крови зарубленных кочевниками пленных воинов и мирных жителей.

Однако есть веские основания предполагать, что имя свое река носила задолго до Батгя и Тохтамышя (и тогда, и в наше время реки крайне редко меняли названия). Кроме того, водотоки с красноватым цветом воды носили у славян иное название, происходящее от слова *чермный* — темно-красный, «цвета крови». Так, на севере Москвы, где распространены красные кирпичные глины ледниковых отложений, одна из рек с красноватой водой получила название Чермянка. Имя же нашей Кровянки происходит, скорее всего, от известного по словарю В.И. Даля слова *кровень* — «заяц», тогда Кровенька — «заячья река». Позже, когда первоначальный смысл речного имени забылся, в речи окрестных жителей оно стало звучать как Кровянка.

Недалеко от Кровянки, в Черемушках (местами в трубе), протекает небольшая речка Коршуниха, иногда именуемая также Черемушкой. Второе название, бесспорно, ведет свое начало от имени селения Черемушки, не требующего долгих объяснений (черемухи здесь хватает и в наши дни).

А вот «птичье» название, более древнее, только на первый взгляд кажется простым и понятным. Во-первых, реки, в отличие от озер, крайне редко носят имена зверей, птиц или рыб. Для примера можно сказать, что среди подмосковных озер есть и Медвежья, и Лебединое, а также Щучье, Линево, Карасево, Осетрино и др. В то же время из примерно 800 речных имен, рассмотренных автором в его последних работах [2; 3], лишь название протекающей в Шаховском районе речки Колпяны с натяжкой может считаться зоологическим (колпь, колпица — цапля). Понятно, что крупная колония цапель, обитающая на берегах реки, могла стать поводом для такого названия. Однако на деле река получила свое имя от волости Колпь, по которой она протекала (здесь и ныне сохранилось село Белая Колпь — бывший центр этой волости). Что же касается обитателя подмосковных краев — черного коршуна, — то эта птица летает и охотится в одиночку, и она никогда не проявляла особого пристрастия к водоемам и водотокам. Поэтому можно предположить, что первоначальное имя этой речки звучало чуть иначе и лишь затем в речи москвичей стало «птичьим».

Действительно, в том же словаре В.И. Даля можно найти термин *коржа* или *коржавина* — «ржавое болото», а также *корза* — «речной пережат». Оба эти слова могли лечь в основу данного гидронима. Позже название *Коржаниха* или *Корзуниха* превратилось в устной речи в более привычное и понятное *Коршуниха*.

Протекающая в Ново-Переделкине речка Алёшинка местными жителями воспринимается как названная по имени жившего на ее берегах крестьянина. До создания легенды, связанной с этим Алешей, дело пока не дошло, но народная фантазия, думается, не заставит нас долго ждать.

Между тем на старых картах эта речка обозначалась как *Олешинка* или *Олешанка*, что позволяет уверенно предположить происхождение этого

гидронима от названия дерева ольхи — типичного растения пойменных зарослей малых рек.

Еще одна окраинная московская речка — Цыганка (в Бутове) — имеет, казалось бы, совсем «прозрачное» имя. Но если вдуматься, то становится ясно, что речных названий типа Татарка, Хохлушка, Чухонка, Литвинка или Цыганка в русском языке быть не может. Зато в словаре В.И. Даля можно найти забытое ныне слово *чикан*, означающее околородное растение — ирис-касатик. Если на берегах этой небольшой речушки встречались заросли ириса (по-тогдашнему, чикана), то ее вполне могли назвать *Чиканкой*. Затем, когда заросли извели, либо забылось само слово, либо народ изменил имя речки на более понятное *Цыганка*.

Наконец, еще одним примером «народной этимологии» является общепринятое объяснение названия довольно крупной речки Лихоборки (правого притока Яузы), протекающей на севере столицы. Как правило, исследователи прошлых лет, начиная с П.В. Сытина, приводят легенду о том, что в дремучем бору на берегах этой реки обитали «лихие люди» — разбойники. Поэтому, дескать, и бор прозвали «лихим» (?!), и речку — Лихоборкой.

Однако весьма сомнительно, что в болотистой долине этой речки произрастали когда-либо сосновые боры. Да и шайка разбойников вряд ли могла собирать богатую поживу на глухой окраинной речке. Выгоднее было бы заняться грабежом на протекающей не так далеко Яузе — в прежние времена крупной торговой артерии, ведущей к Мытищинскому волоку на Клязьму.

Гораздо логичнее вывести название реки из существовавшего в старину и зафиксированного В.И. Далем слова *лихобойный* — «бедственный, губительный». Действительно, весенние разливы на широко раскинувшейся пойме Лихоборки могли приносить жителям окрестных селений немало бед, и в их представлении она была действительно *Лихобойкой* — «бедственной, губительной» рекой. С годами Лихобойка зазвучала в речи москвичей, как *Лихоборка*, чем не замедлили воспользоваться сочинители этимологических небылиц.

### Литература

1. Вагнер Б.Б. К вопросу о происхождении гидронима Неглинка. Старые ошибки и новые гипотезы // Учитель XXI века: мат-лы VII межвузовской конференции. М.: МГПУ, 2009. С. 142–144.
2. Вагнер Б.Б. Реки и озера Подмосковья. М.: Вече, 2007. 480 с.
3. Вагнер Б.Б. Топонимика Московского региона. М.: МГПУ, 2009. 320 с.
4. Горбаневский М.В. Кольца столетий. Из истории названий местностей и районов, улиц и переулков столицы. М.: Астрель, 2007. 448 с.
5. Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка: в 4-х тт. М.: Астрель, 2001–2003.
6. Забелин И.Е. История города Москвы. Репринтное воспроизведение издания 1904 г. М.: Московский рабочий, 1990. 656 с.
7. Московведение. География Москвы и Московской области: учеб. пособие для 8–9 классов / Под ред. А.И. Алексеева. М.: Экопрос, 1994. 256 с.



8. *Муравьев В.Б.* Улочки-шкатулочки, московские двory. М.: Белый Город, 1996. 272 с.
9. *Мурзаев Э.М.* Словарь народных географических терминов. М.: Мысль, 1959. 304 с.
10. *Смолицкая Г.П.* Названия московских улиц. М.: Наука, 2006. 224 с.
11. *Сытин П.В.* Из истории московских улиц. М.: Московский рабочий, 1947. 424 с.

### *Literatura*

1. *Vagner B.B.* К вопросу о происхождении гидронима Neglinka. Stary'e oshibki i novy'e gipotezy' // Uchitel' XXI veka: mat-ly' VII mezhvuzovskoj konferencii. М.: МGPU, 2009. S. 142–144.
2. *Vagner B.B.* Reki i ozyora Podmoskov'ya. М.: Veche, 2007. 480 s.
3. *Vagner B.B.* Toponimika Moskovskogo regiona. М.: МGPU, 2009. 320 s.
4. *Gorbanevskij M.V.* Kol'cza stoletij. Iz istorii nazvanij mestnostej i rajonov, ulicz i pereulkov stoliczy'. М.: Astrel', 2007. 448 s.
5. *Dal' V.I.* Tolkovy'j slovar' zhivogo velikoruskogo yazy'ka: v 4-x tt. М.: Astrel', 2001–2003.
6. *Zabelin I.E.* Istoriya goroda Moskvy'. Reprintnoe vosproizvedenie izdaniya 1904 g. М.: Moskovskij rabochij, 1990. 656 s.
7. Moskvovedenie. Geografiya Moskvy' i Moskovskoj oblasti: ucheb. posobie dlya 8–9 klassov / Pod red. A.I. Alekseeva. М.: E'kopros, 1994. 256 s.
8. *Murav'ev V.B.* Ulochki-shkatulochki, moskovskie dvory'. М.: Bely'j Gorod, 1996. 272 s.
9. *Murzaev E.M.* Slovar' narodny'x geograficheskix terminov. М.: My'sl', 1959. 304 s.
10. *Smoliczkaya G.P.* Nazvaniya moskovskix ulicz. М.: Nauka, 2006. 224 s.
11. *Sy'tin P.V.* Iz istorii moskovskix ulicz. М.: Moskovskij rabochij, 1947. 424 s.

***B.B. Vagner***

### **Mysteries of River-Names (On Deceptive «Transparence» of some Moscow Hydronyms)**

The paper reconsiders traditional explanations of some Moscow river-names' origins. The results of analysis of natural and historical circumstances which caused the emersion of the mentioned hydronyms suggest new variants of decoding these river-names.

*Key-words:* toponymy; etymology; hydronyms; Moscow rivers.

**А.И. Зимина,  
М.В. Дорофеев**

## **Изучение испарения на уроках химии с использованием цифровых лабораторий**

Использование современной измерительной техники, цифровых лабораторий для организации учебного эксперимента на уроках химии позволяет сформировать осознанный подход учащихся к описанию свойств веществ и изучаемых явлений. На примере изучения процесса испарения показана реализация принципов эффективного использования цифровых лабораторий для организации самостоятельного исследования, в ходе которого учащиеся приобретают новые знания.

*Ключевые слова:* цифровые лаборатории; датчиковые системы; учебный эксперимент; учебное исследование; испарение; межмолекулярные взаимодействия; водородные связи.

Современное общество требует от школы обеспечения выпускников прочными знаниями, расширяющими кругозор человека, и умениями пользоваться этими знаниями. Решить поставленную задачу можно, реализуя в полной мере возможности школьного химического эксперимента, предполагающего использование современной измерительной техники — цифровых лабораторий.

Цифровая (компьютерная) лаборатория (далее — ЦЛ), программно-аппаратный комплекс, датчиковая система — комплект учебного оборудования, включающий измерительный блок, интерфейс которого позволяет обеспечить связь с персональным компьютером, и набор датчиков, регистрирующих значения различных физических величин. Применение ЦЛ позволяет организовать учебный эксперимент на принципиально новом уровне, сделать его более наглядным, показать изменение величин во времени, перейти от исключительно качественной оценки наблюдаемых явлений к системному анализу количественных характеристик [1].

В качестве примера проиллюстрируем применение ЦЛ для эффективной организации учебного эксперимента, связанного с исследованием процес-

са испарения. В средней школе этот процесс рассматривается при изучении различных дисциплин. На уроках естествознания и биологии изучается роль испарения в жизни живых организмов. В курсе географии рассматривается влияние испарения и конденсации на перераспределение тепла и формирование климата нашей планеты. В курсе физики к этому процессу подходят с точки зрения молекулярно-кинетической теории, при этом анализируют влияние температуры, давления и площади поверхности на скорость испарения.

На уроках химии об испарении должна идти речь, в первую очередь, при изучении межмолекулярного взаимодействия, водородных связей. Обычно рассмотрение данных вопросов ограничивается сравнением температур кипения веществ. Однако этот подход не позволяет взглянуть на явление с разных сторон. Для более глубокого понимания природы межмолекулярных взаимодействий целесообразно расширить спектр анализируемых физических величин. Так, ученики могут самостоятельно измерить снижение температуры при испарении изучаемых веществ, сопоставить полученные данные и прийти к определенным выводам.

При изучении темы «Спирты» десятиклассникам, изучающим химию на базовом уровне, было предложено установить, как влияет на силу межмолекулярного взаимодействия:

- молекулярная масса (увеличение числа атомов углерода в радикале гомологичных спиртов);
- наличие водородных связей;
- степень разветвленности углеродного скелета;
- число функциональных групп.

На этапе актуализации знаний обсуждались следующие вопросы: «Как происходит испарение?», «Почему жидкости при испарении охлаждаются?» Школьники вспомнили, что в результате испарения, перехода вещества из жидкого состояния в газообразное, молекулы, обладающие достаточно большой кинетической энергией, вырываются из поверхностного слоя жидкости. Для такого перехода требуется энергия, которая затрачивается на преодоление сил межмолекулярного сцепления в жидкой среде и работу расширения при превращении жидкости в пар. Мерой этой энергии является теплота испарения. Таким образом, изучаемый процесс является эндотермическим, приводит к понижению температуры.

Затем учащимся предлагалось провести качественный эксперимент: смочить одну руку водой, а вторую — этиловым спиртом, а затем объяснить, почему рука, смоченная спиртом, охлаждается сильнее. Школьники пришли к выводу, что различные жидкости испаряются по-разному, а затем начали выдвигать гипотезы о взаимосвязи строения вещества со скоростью его испарения: чем слабее силы межмолекулярного притяжения, тем легче вещество испаряется, тем сильнее снижается температура.

Проверка выдвинутых гипотез проводилась в форме лабораторного опыта, который предполагал количественные измерения понижения температуры вещества при его испарении [4]. Для выполнения требовались датчики тем-

пературы, концы которых были обернуты фильтровальной бумагой одинакового размера (2,5 × 2,5 см); отрезки скотча, которыми фиксировались датчики на краю столешницы; пробирки и штатив для них; реактивы: по 4 мл этанола, пропанола-1, бутанола-1, бутанола-2, 2-метилпропанола-2, диэтилового эфира, гексана и воды. Для опыта можно взять ректификат (азеотропная смесь с водой, содержащая 95,6% этанола по массе), температура кипения которого на 0,24°C ниже, чем абсолютного этилового спирта.

Лабораторный опыт проводился в малых группах сотрудничества (по 4 человека), каждой из которых предлагалось проверить выдвинутую гипотезу экспериментально. Если предположение не подтверждалось, то участниками выдвигалась новая гипотеза. В том случае, если обсуждение в группе останавливалось, учитель помогал, задавая наводящие вопросы о том, какой результат эксперимента ожидают учащиеся, каковы основные этапы их исследования. Следует обратить внимание, что вопросы учителя не касались содержания знания, на которое был нацелен урок, отсутствовали конкретные подсказки и рекомендации [2: с. 18–19]. Часто достаточно организовать смысловой анализ задания, чтобы у школьников появились идеи для дальнейшего поиска.

Также не менее важен дифференцированный подход в определении заданий для различных групп. Если проблемное задание окажется непосильным, то есть не будет соответствовать возможностям учащихся, то оно внесет дезорганизацию в учебную работу [3: с. 475]. Особое внимание следует обратить на процесс самостоятельной формулировки выводов, во время которого происходит осмысление формируемого знания.

В ходе лабораторного опыта учащиеся наблюдали изменение температуры при испарении исследуемых веществ, фиксировали ее максимальное и минимальное значения. Для большей наглядности измерение температуры проводилось одновременно для трех веществ.

В пробирки с веществами (по 4 мл) опускали температурные датчики так, чтобы фильтровальная бумага, закрепленная на конце, была полностью погружена в исследуемую жидкость. Через 1–2 минуты после погружения датчиков учащиеся начинали регистрировать значения температуры. Сначала они дожидались стабилизации показаний (~60 с), а затем осторожно вынимали датчики из пробирок и закрепляли их на столешнице с помощью скотча таким образом, чтобы щупы выступали на 5–6 см за край и не соприкасались. В тетрадях фиксировались максимальное (начальное) и минимальное значения температуры.

Для экспериментальной проверки гипотезы о влиянии молекулярной массы и числа водородных связей между молекулами на силу взаимодействия между ними учащимся предлагалось измерить понижение температуры при испарении следующих веществ: вода, этанол, пропанол-1 (или бутанол-1). Общий вид полученных графиков представлен на рисунке 1.

Сравнивая молекулярные массы этилового (46 г/моль) и пропилового спиртов (60 г/моль), учащиеся пришли к выводу, что этанол должен испаряться быстрее (как более легкий) и соответственно вызывать большее понижение

температуры. Эта гипотеза подтверждается экспериментально. На рисунке 1 видно, что минимум на кривой испарения этанола (кривая 4) находится ниже минимума на кривой испарения пропанола-1 (кривая 3).

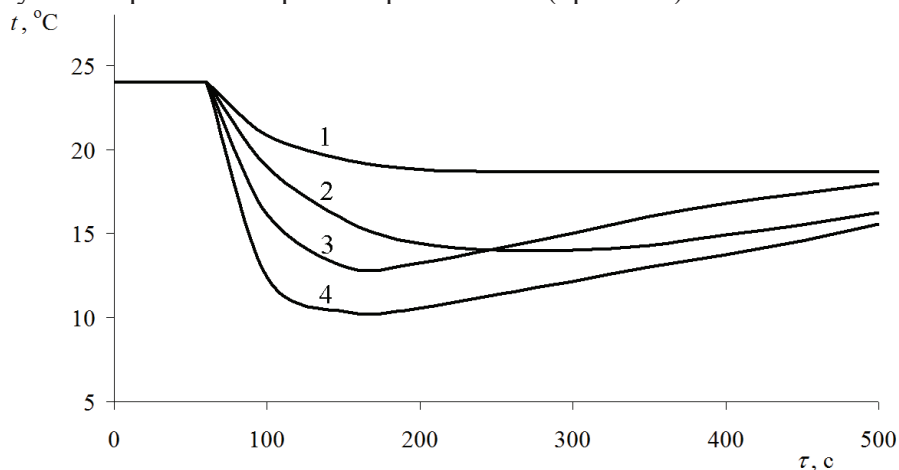


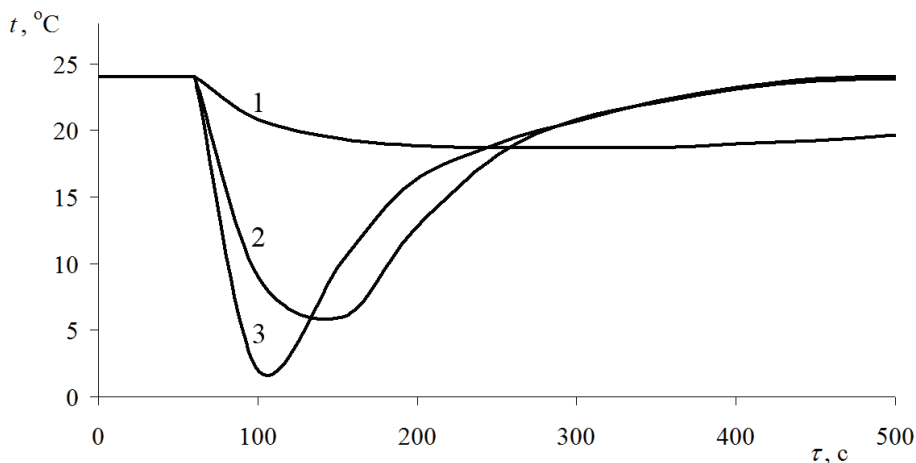
Рис. 1. Графики зависимости температуры от времени испарения:  
1 — бутанол-1; 2 — вода; 3 — пропанол-1; 4 — этанол.

Вместе с тем, распространяя свои рассуждения на процесс испарения воды, учащиеся пришли к противоречию. Вода имеет самую маленькую молярную массу из всех исследуемых веществ (18 г/моль), однако ее молекулы связаны прочнее, чем молекулы этилового и пропилового спиртов. К этому же выводу можно было прийти, анализируя результаты испарения спирта и воды с поверхности руки.

Для облегчения выхода из противоречия ученикам было предложено провести осмысление: сформулировать, что известно, а что остается неясным. В нашем случае такая помощь оказалась недостаточной, поэтому учитель предложил рассмотреть схему образования водородных связей между молекулами воды. При этом проблемность, безусловно, снизилась, однако деятельность учащихся осталась самостоятельной, поскольку в результате обсуждения они сделали вывод об усилении взаимодействия между молекулами воды из-за увеличения энергии водородных связей и их числа, причем этот фактор оказался более влиятельным, чем молекулярная масса.

К выводу о влиянии водородных связей пришли и те учащиеся, которые исследовали испарение бутанола-1, гексана и диэтилового эфира. Кривые испарения данных веществ представлены на рисунке 2.

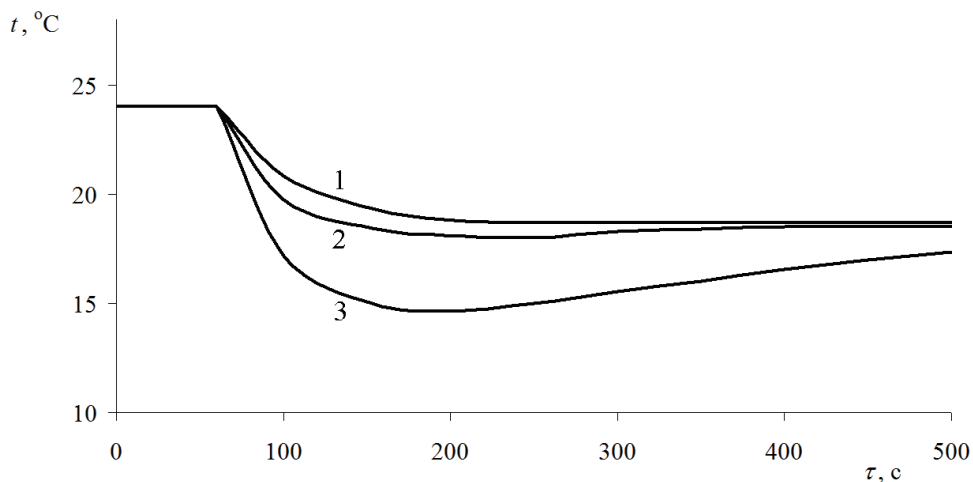
Сравнивая молекулярные массы бутанола (74 г/моль) и гексана (86 г/моль), ученики предположили, что молекулы  $C_6H_{14}$ , обладающие большей массой, притягиваются друг к другу сильнее. Однако в ходе эксперимента было установлено, что гексан испаряется легче бутилового спирта (см. кривые 1 и 2 на рисунке 2). Первоначальную гипотезу пришлось отвергнуть.



**Рис. 2.** Графики зависимости температуры от времени испарения:  
1 — бутанол-1; 2 — гексан; 3 — диэтиловый эфир.

После обсуждения учащиеся пришли к выводу о влиянии водородных связей на взаимодействие между молекулами бутанола-1. Анализ кривой испарения диэтилового эфира (кривая 3 на рисунке 2), изомера бутилового спирта, в молекулах которого отсутствуют гидроксильные группы, также подтверждает вывод о существенном влиянии водородных связей на физические свойства веществ.

В группах, которым было предложено исследовать процессы испарения изомерных спиртов: бутанола-1, бутанола-2 и 2-метилпропанола-2 (см. рис. 3), учащиеся пришли к выводу о влиянии степени разветвления углеродного скелета на силу межмолекулярного притяжения. Чем больше степень разветвления углеродного скелета, тем слабее силы притяжения между молекулами, тем быстрее и легче вещество испаряется, тем сильнее снижается температура.



**Рис. 3.** Графики зависимости температуры от времени испарения:  
1 — бутанол-1; 2 — бутанол-2; 3 — 2-метилбутанол-2.

При правильной и четкой организации урока эксперимент занимает минимум учебного времени, поэтому появляется возможность уделить больше внимания обработке данных, обсуждению полученных результатов, то есть перенести акценты на осмысление и переосмысление полученной информации. На этом этапе целесообразно предложить учащимся вопросы для обсуждения в группах. Примеры подобных заданий представлены ниже.

1. Пентан и бутанол-1 имеют близкие значения молекулярных масс, однако сильно различаются по температуре кипения. А). Как объяснить это различие? Б). Если бы вам предложили исследовать испарение пентана и бутанола-1, в каком случае наблюдалось бы большее охлаждение? Почему?

2. Два изомера имеют состав  $C_2H_6O$ . А). Один из изомеров при обычных условиях ( $20^\circ C$  и 760 мм рт. ст.) является газом, а другой — жидкостью. Объясните данный факт. Б). При испарении какого изомера будет наблюдаться более выраженное понижение температуры? Почему?

3. Прочитайте отрывок из интервью Рината Дасаева (Р. Дасаев — советский футболист, один из лучших голкиперов мира 1980-х годов) и ответьте на вопросы.

*Я долго не знал, удастся ли мне сыграть в этом матче. В одной из контратак в штрафную ворвался Олдридж. Чтобы помешать удару, я бросился ему в ноги и почувствовал, как обожгло колено. Подняться мне помогли уже выбежавшие на поле Савелий Евсеевич Мышалов и массажист Олег Соколов. Ампула с хлорэтилом приглушила боль. Но замену вскоре все-таки пришлось попросить. Уже в следующей атаке мне вновь пришлось вступить в единоборство за мяч, который чуть отпустил Стэплтон. Видя, что он не поспевает, ирландец бросился двумя ногами вперед. И на сей раз я почувствовал уже страшную боль в бедре.*

- Что такое хлорэтил, каково его систематическое название? Какими свойствами он обладает?
- На чем основано применение этого вещества в практике спортивной медицины?
- Как уже через минуту после серьезной травмы колена Ринату Дасаеву удалось снова выйти на поле и играть до следующей атаки?

4. Под давлением пропан легко сжижается. При попадании на кожу жидкий пропан может вызвать обморожение. Предложите объяснение этому факту.

5. Исследователь постоянно измерял температуру этилового спирта. Сначала он добавил к спирту немного воды, а затем налил полученную смесь в блюдце и поставил испаряться. Результаты измерений представлены на рисунке 4.

- Какую исходную температуру имел этиловый спирт?
- Как объяснить, что на начальном этапе наблюдается повышение температуры?
- Попробуйте объяснить, почему при добавлении воды к спирту выделяется тепло.
- Сколько времени прошло с момента добавления воды к спирту до начала активного испарения спирта?

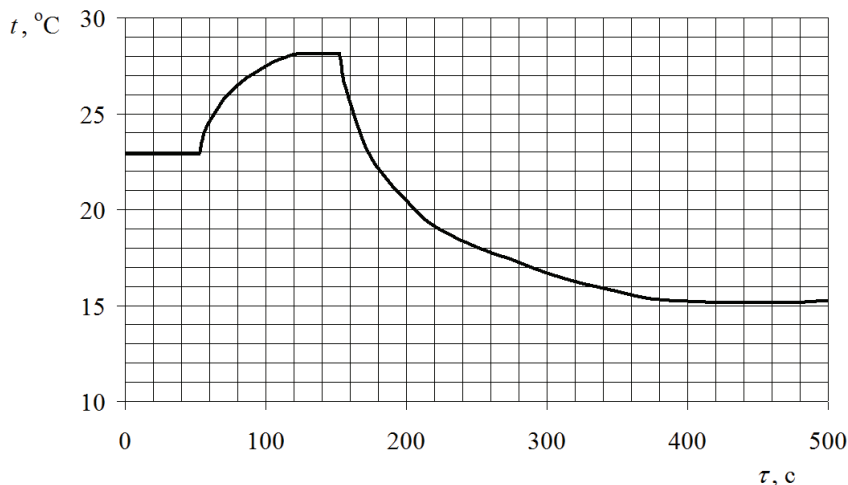


Рис. 4. Результаты измерения температуры этилового спирта.

Наш опыт показал, что учащиеся, использующие ЦЛ для проведения учебного исследования, предлагают более обоснованные ответы, отличающиеся глубиной понимания сущности изучаемого явления. Важно отметить, что внедрение ЦЛ не является самоцелью обучения, однако оно позволяет повысить эффективность процесса овладения новыми знаниями. К преимуществам ЦЛ следует отнести:

- возможность визуализации фиксируемых данных, повышение наглядности химического эксперимента, представление изучаемого процесса в динамике;
- возможность проведения серии повторных измерений, что позволяет ученикам выявить научный факт и соотнести его с изучаемой теорией;
- возможность использования до четырех датчиков одновременно позволяет синхронно снимать несколько различных параметров или проводить исследование сразу нескольких веществ;
- возможность фиксации малых изменений, неочевидных в традиционном эксперименте, повышает точность и достоверность определения измеряемых параметров, то есть повышает качество учебного исследования.

Использование ЦЛ в сочетании с обоснованным методическим сопровождением [1] позволяет сформировать осознанный подход учащихся к описанию свойств веществ, к пониманию учебного и научного факта. Подобная форма организации учебного химического эксперимента позволяет подготовить выпускников к критическому анализу информации, вооружить их инструментами проверки достоверности приводимых аргументов, у учащихся формируются информационные, коммуникативные, исследовательские компетенции. Применение ЦЛ позволяет добиться устойчивого роста познавательного интереса школьников, преодолеть проблемы понимания, добиться высокого уровня усвоения знаний.



### *Литература*

1. *Дорофеев М.В., Зими́на А.И., Стунеева Ю.Б.* Принципы эффективного применения цифровых лабораторий // *Химия в школе*. 2010. № 2. С. 55–63.
2. *Оржековский П.А., Давыдов В.Н., Титов Н.А.* Экспериментальные творческие задания по неорганической химии: книга для учащихся. М.: АРКТИ, 1998. 48 с.
3. *Рапацевич Е.С.* Педагогика. Современная энциклопедия / Под. общ. ред. А.П. Астахова. Мн.: Современная школа, 2010. 720 с.
4. Evaporation and Intermolecular Attractions // Vernier Software & Technology. URL: [http://www2.vernier.com/sample\\_labs/CWV-09-COMP-evaporation\\_intermolecular\\_attractions.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/CWV-09-COMP-evaporation_intermolecular_attractions.pdf) (Дата обращения: 25.04.2010).

### *Literatura*

1. *Dorofeev M.V., Zimina A.I., Stuneeva Yu.B.* Principy' e'ffektivnogo primeneniya cifrovyy'x laboratorij // *Ximiya v shkole*. 2010. № 2. S. 55–63.
2. *Orzhekovskij P.A., Davy'dov V.N., Titov N.A.* E'ksperimental'ny'e tvorcheskie zadaniya po neorganicheskoj hxmii: kniga dlya uchashhixsya. M.: ARKTI, 1998. 48 s.
3. *Rapacevich E.S.* Pedagogika. Sovremennaya e'nciklopediya / Pod. obshh. red. A.P. Astaxova. Mn.: Sovremennaya shkola, 2010. 720 s.
4. Evaporation and Intermolecular Attractions // Vernier Software & Technology. URL: [http://www2.vernier.com/sample\\_labs/CWV-09-COMP-evaporation\\_intermolecular\\_attractions.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/CWV-09-COMP-evaporation_intermolecular_attractions.pdf) (Data obrasheniya: 25.04.2010).

*A.I. Zimina,  
M.V. Dorofeev*

#### **Evaporation Study in the Chemistry Classroom with the Use of Digital Laboratories**

The use of modern measuring equipment such as digital laboratories for carrying out training experiments in the chemistry classroom allows students to comprehensively describe substances and phenomena properties. The study of evaporation process serves as an example of realized principles of digital laboratories effective use for a self-consistent research organization in course of which the students acquire new knowledge.

*Key-words:* digital laboratories; sensor-provided systems; training experiment; training research; evaporation; intermolecular attractions; hydrogen bonds.

**А.Н. Ховрин**

## **Понятие «обмен веществ и превращение энергии» как системообразующее в содержании раздела «Человек» курса биологии в общеобразовательной школе**

В статье рассматривается возможность структурирования учебного содержания раздела «Человек» при изучении биологии в общеобразовательной школе на основе развития системообразующих понятий «обмен веществ» и «превращение энергии».

*Ключевые слова:* принцип системности; системообразующее понятие; обмен веществ и превращение энергии; взаимосвязь; взаимообусловленность.

**П**онятие «обмен веществ и превращение энергии» занимает одно из важных мест в системе знаний школьного курса биологии. Значение усвоения данного понятия не ограничивается только тем, что его содержание раскрывает закономерности жизнедеятельности биологических систем, оно выполняет системообразующую функцию при формировании целостной системы эмпирических и теоретических понятий курса биологии. Эта функция может быть выполнена только при условии тщательного отбора содержательной основы и определения четко проявляющихся и необходимых существенных связей между элементами знаний системы, которым, по сути, и является понятие «обмен веществ и превращение энергии».

Такой подход при формировании анализируемого понятия в процессе обучения позволит раскрыть сущность обменных процессов в организме, их взаимосвязь и взаимообусловленность. Кроме того, от структуры и динамичности выбранной целостной системы знаний будет зависеть не только внутреннее взаимодействие ее элементов, но и проявление внешних связей понятия «обмен веществ и превращение энергии» в системе общебиологических понятий школьного курса биологии.

Несмотря на существующие разногласия среди методистов и дидактов при определении системы общебиологических понятий практически все они сходятся в том, что понятие «обмен веществ и превращение энергии» — необходимый элемент системы общебиологических знаний в школе. Учитывая важность этого понятия для усвоения всего учебного материала, методисты отмечают необходимость более раннего введения его в содержание школьного курса биологии и постепенного развития.

Н.М. Верзилин и В.М. Корсунская [3] считают целесообразным введение этого понятия уже в первых темах изучения ботаники. Авторы обосновывают это

тем, что понятие «обмен веществ и превращение энергии» способствует определению взаимосвязи и взаимообусловленности между процессами жизнедеятельности организма и являются связующим звеном при изучении тем курса биологии в средней школе. Б.В. Всесвятский [4] аргументирует необходимость более раннего введения понятия «обмен веществ и превращение энергии» важностью последовательного усвоения основных общебиологических понятий всего курса биологии. Этой же точки зрения придерживается И.Д. Зверев [6], который считает, что процесс формирования представлений об «обмене веществ и превращении энергии» как основных свойствах жизни, является одним из основных условий развития представлений об общих понятиях в курсе биологии.

Признавая необходимость более раннего введения в учебный процесс понятия «обмен веществ и превращение энергии» как системообразующего в курсе биологии, в методике ее преподавания акцентируется особое внимание на разделе «Человек», резюмирующем становление содержания данного термина на организменном уровне.

Предлагаемые методики базируются в основном на индуктивном подходе к формированию основных понятий данного раздела. Усвоению учебного материала способствует последовательное (линейное) развитие и интеграция предлагаемых к усвоению знаний. В учебном содержании раздела «Человек» развитие понятия «обмен веществ и превращение энергии» происходит по мере накопления теоретических и эмпирических знаний от темы к теме, что соответствует закономерностям существования суммативных систем и индуктивному принципу развития материала. По этой причине в учебном содержании не может быть отражена системообразующая функция понятия «обмен веществ и превращение энергии», что непосредственно сказывается на логической стороне развития системы знаний о жизнедеятельности организма человека. Кроме этого, при таком развитии содержания невозможно четко определить взаимосвязь и взаимообусловленность изучаемых процессов жизнедеятельности на клеточном и организменном уровнях. Такой подход к структурированию учебного содержания влечет за собой увеличение неаргументированного фактологического материала, усвоение которого требует репродуктивной, а не продуктивной учебной деятельности школьников.

Отсутствие четкого структурированного содержания понятия «обмен веществ и превращение энергии» не позволяют определить этапы развития знаний об обменных процессах в организме человека. Необходима дальнейшая работа по методической адаптации предлагаемых к усвоению биологических знаний, их структурированию, выбору наиболее эффективной логики их формирования.

Повышению качества знаний учащихся при изучении раздела «Человек» может способствовать изменение содержания на основе закономерностей существования целостных систем. В этом случае развитие системообразующего понятия повлечет за собой и развитие теоретических и эмпирических знаний раздела на основе расширения существенных системообразующих связей между всеми элементами выбранной системы. Такой подход обеспе-

чит качество усвоения теоретических и конкретизирующих их эмпирических знаний на основе понимания взаимосвязей и взаимообусловленностей между изучаемыми процессами жизнедеятельности и переход на продуктивный уровень усвоения учебного материала.

Структура системообразующего понятия зависит от определения его собственного содержания, выявления внутренних взаимосвязей и взаимообусловленностей элементов системы, в полной мере обеспечивающих интеграцию и конкретизацию предлагаемого к усвоению знания.

Выбор понятия «обмен веществ и превращение энергии» как системообразующего при структурировании учебного содержания объясняется тем, что в современной биологической науке достаточно полно и однозначно определено содержание этого понятия, выявлены существенные взаимосвязи и взаимообусловленности между обменными процессами в организме, позволяющие отразить не только внутреннюю динамическую структуру интересующего понятия, но и внешние существенные связи с другими элементами системы знаний.

Определение понятия «обмен веществ и превращение энергии» как системообразующего требует изменений при структурировании учебного содержания раздела «Человек».

При изменении структуры учебного содержания необходимо:

1. выбрать понятие «обмен веществ и превращение энергии» как системообразующее в целостной системе знаний раздела;
2. определить содержание выбранного понятия с учетом обеспечения процессов жизнедеятельности на клеточном и организменном уровнях;
3. выявить пути развития понятия «обмен веществ и превращение энергии» в содержании раздела.

При структурировании учебного материала необходимо исходить из теории содержательного обобщения В.В. Давыдова [5]. Согласно этой теории, усвоение теоретических понятий раздела «Человек» возможно по способу восхождения от абстрактного к конкретному в три этапа.

*На первом этапе* происходит введение наиболее общей абстракции, включающей в себя все содержание системообразующего понятия. Структурирование первичной модели осуществляется на основе интеграции ранее полученных знаний. Данная абстрактная модель должна отражать содержание формируемого понятия с учетом взаимосвязей и взаимообусловленностей протекания процессов жизнедеятельности на клеточном уровне. При рассмотрении клеточного метаболизма особое внимание необходимо обратить на значение структур и органоидов клетки в обеспечении жизнедеятельности, их взаимосвязи в клеточном метаболизме. При моделировании клетки как структурно-функциональной единицы живого закладываются сущностные характеристики обменных процессов.

*На втором этапе* происходит конкретизация теоретических понятий абстрактной модели понятия «обмен веществ и превращение энергии» при рассмотрении строения и функционировании органов и систем органов. При этом необходимо постоянно акцентировать внимание на взаимосвязи и

взаимообусловленности физиологических процессов на организменном уровне и их значении в обеспечении клеточного метаболизма. Учебное содержание данного этапа должно структурироваться с учетом постоянного возврата к первичной абстракции в каждой теме с целью постепенного расширения знаний о сущности обменных процессов и определении основных метаболических путей на организменном и клеточном уровнях.

*На третьем этапе* весь накопленный теоретический и эмпирический материал раздела окончательно обобщается с учетом взаимосвязи предлагаемых к усвоению знаний.

### *Литература*

1. *Бруновт Е.П.* Формирование приемов умственной деятельности учащихся. На материале учебного предмета биологии (методическое исследование). М.: Педагогика, 1981. 72 с.
2. *Бруновт Е.П., Малахова Г.Я., Соколова Е.А.* Методика обучения анатомии, физиологии и гигиене человека. М.: Просвещение, 1973. 383 с.
3. *Верзилин Н.М., Корсунская В.М.* Общая методика преподавания биологии. М.: Просвещение, 1983. 384 с.
4. *Всесвятский Б.В.* Системный подход к биологическому образованию в средней школе. М.: Просвещение, 1985. 143 с.
5. *Давыдов В.В.* Виды обобщения в обучении. М.: Педагогическое общество России, 2000. 480 с.
6. *Зверев И.Д., Мягкова А.Н.* Общая методика преподавания биологии. М.: Просвещение, 1985. 191 с.
7. *Зверев И.Д.* Основы системы обучения анатомии физиологии и гигиене в средней школе. – Л.: Просвещение, 1971. 408 с.
8. *Садовский В.Н.* Основание общей теории систем. М.: Наука, 1994. 254 с.

### *Literatura*

1. *Brunovt E.P.* Formirovanie priyomov umstvennoj deyatel'nosti uchashhixsya. Na materiale uchebnogo predmeta biologii (metodicheskoe issledovanie). M.: Pedagogika, 1981. 72 s.
2. *Brunovt E.P., Malaxova G.Ya., Sokolova E.A.* Metodika obucheniya anatomii, fiziologii i gigiene cheloveka. M.: Prosveshhenie, 1973. 383 s.
3. *Verzilin N.M., Korsunskaya V.M.* Obshhaya metodika prepodavaniya biologii. M.: Prosveshhenie, 1983. 384 s.
4. *Vsesvyatskij B.V.* Sistemny'j podxod k biologicheskomu obrazovaniyu v srednej shkole. M.: Prosveshhenie, 1985. 143 s.
5. *Davy'dov V.V.* Vidy' obobshheniya v obuchenii. M.: Pedagogicheskoe obshhestvo Rossii, 2000. 480 s.
6. *Zverev I.D., Myagkova A.N.* Obshhaya metodika prepodavaniya biologii. M.: Prosveshhenie, 1985. 191 s.

7. Zverev I.D. Osnovy' sistemy' obucheniya anatomii fiziologii i gigiene v srednej shkole. L.: Prosveshhenie, 1971. 408 s.
8. Sadovskij V.N. Osnovanie obshej teorii sistem. M.: Nauka. 1994. 254 s.

*A.N. Khovrin*

**«Metabolism and Energy Conversion» as a Core Concept in the Contents of the Unit «Human» in the Biology Course at Comprehensive School**

The article considers possible structuring of the course unit «Human» in Biology teaching at comprehensive school. Structuring is based on the development of the core concepts «metabolism» and «energy conversion».

*Key-words:* complexity principle; core concept; metabolism and energy conversion; interrelation; interconditionality.

**Е.В. Кутузова**

## **Экзамен как способ повышения качества знаний по географии**

Данная статья посвящена актуальной теме оценки качества знаний и умений в современной школе. Акцент делается на анализ переводного экзамена по географии в 6-м классе как наиболее эффективной и оптимальной формы итогового контроля. Рассматривается структура экзамена и результативность сдачи экзамена учащимися за несколько лет, выявляется динамика показателей обученности учеников и эффективность проведения оценочной процедуры.

*Ключевые слова:* экзамен; деятельностный подход; результативность экзамена; критерии оценивания; географическая культура.

**И**зучение географии направлено на развитие и формирование у школьников географической культуры — составной части общей культуры человека. Поэтому ученик через познание географии сможет научиться понимать свое место и роль в жизни окружающей его природы [1: с. 6].

В начальном курсе географии закладываются фундаментальные основы знаний по географии и географической культуры, которые затем пополнятся в последующих курсах географии. Географическая культура имеет следующие составляющие:

- научное восприятие окружающего мира;
- владение языком географической науки (понятиями, терминами, именами);
- развитое географическое (аналитическое) мышление, связанное с умением определять причинно-следственные связи;
- развитие пространственных представлений, умение переложить географическое знание на карту;
- умение использовать географические знания на практике, в повседневной жизни [1: с. 7].

Однако сокращение часов на данный курс приводит к снижению качества знаний, что влечет за собой усложнение понимания последующих курсов географии [3: с. 11]. Для решения данной проблемы в ГБОУ СОШ № 18 г. Москвы введен переводной экзамен по географии, который несколько лет подряд проводится в 6-х классах.

Экзаменационные билеты подготовлены с учетом требований Государственного стандарта второго поколения и рабочих программ по географии [2: с. 3–2; 4; 5: с. 14–25, 179]. Экзамен проводится в устной форме. Каждый экзаменационный билет содержит в себе теоретический вопрос, практический вопрос и вопрос

на проверку географической номенклатуры, всего 25 билетов и 15 вариантов практических вопросов.

Теоретические вопросы содержат в себе основные темы, которые должны усвоить учащиеся по окончании начального курса географии. Оценивался вопрос по шестибалльной шкале следующим образом:

*1 балл — знание понятий (терминов); 1 балл — знание классификации; 1 балл — знание географических закономерностей; 1 балл — умение объяснять причинно-следственные связи; 1 балл — логика и последовательность изложения; 1 балл — самостоятельность в изложении ответа.*

Практическая часть содержит четыре задания, которые проверяют сформированность наиболее важных умений (определение географических координат, высот, направлений и расстояний по карте).

Третий вопрос проверяет знание географической карты, и поэтому учащиеся получают его непосредственно во время ответа.

Учащимся отводится время для подготовки теоретического и практического вопроса, во время которой они могут пользоваться атласом.

Для анализа и оценивания ответа ученика применялся специальный бланк, в котором учитывались все баллы во время ответа учащегося (табл. 1).

Таблица 1

Экзамен по географии учащихся 6-го класса \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ учебного года

| Фамилия и имя ученика          | Теоретический вопрос | Практический вопрос                |                     |                            |                                  | Географическая номенклатура | баллы     | отметка  |
|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------|----------|
|                                |                      | Географические координаты (1 балл) | Расстояние (1 балл) | Абсолютная высота (1 балл) | Определение направления (1 балл) |                             |           |          |
| Максимальное количество баллов | 6 баллов             |                                    |                     |                            |                                  | 5 баллов                    | 15 баллов |          |
| <i>1. Иванов Петр</i>          | <i>6</i>             | <i>1</i>                           | <i>1</i>            | <i>1</i>                   | <i>1</i>                         | <i>5</i>                    | <i>15</i> | <i>5</i> |

В конце экзамена подсчитывалось общее количество баллов и высчитывалась отметка по следующей шкале.

**Критерии оценивания:**

*менее 7 баллов – «неудовлетворительно»;*

*от 7 до 9 баллов – «удовлетворительно»;*

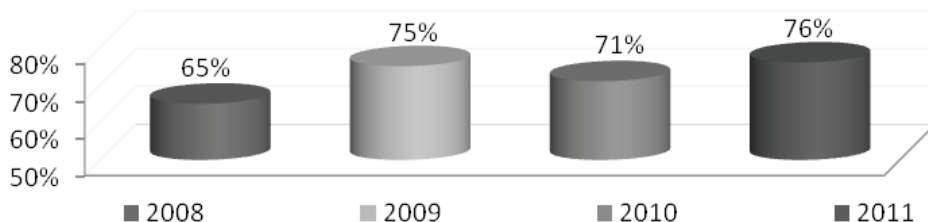
*от 10 до 12 баллов – «хорошо»;*

*от 13 до 15 баллов – «отлично».*



Всего за период с 2008–2011 гг. в экзамене было задействовано 124 человека. Результативность сдачи экзамена в % от максимально возможного уровня выполнения работы показана на диаграмме 1.

Диаграмма 1

**Уровень сдачи экзамена от максимально возможного уровня**

Для анализа результативности сдачи переводного экзамена был высчитан процент успешности выполнения от максимального возможного результата выполнения экзамена всем классом. Получилось, что самый высокий результат показали классы, которые сдавали экзамен в 2009 (75%) и 2011 (76%) году. Наблюдается небольшой спад результативности в 2010 году, что связано с невысоким уровнем подготовки класса, хотя надо заметить, что показатель в 2010 году (71%) выше уровня 2008 года (65%), когда был впервые введен экзамен.

Из диаграммы 1 видно, что начиная с 2009 года (75%) по 2011 год (76%) учащиеся демонстрировали более высокую результативность сдачи экзамена по сравнению с 2008 (65%) годом, поскольку в конце 6-го класса велась целенаправленная подготовка к переводному экзамену.

Надо отметить такой факт, что в первый год (2008) не сдавших экзамен с первого раза было 6 человек, в 2009–2010 годах число учащихся, не сдавших экзамен, значительно снизилось (2 и 3 человека соответственно), а в 2011 году все ученики сдали экзамен с первого раза.

На диаграмме 2 показана доля учащихся, сдавших экзамен на «3», «4», «5». Видно, что доля учащихся, которые сдали экзамен на «3» (удовлетворительно), уменьшалась в 2009 и 2011 год, но снова возросла в 2010 году, что связано с более низким уровнем учебных возможностей класса. Доля учащихся, которые сдали экзамен на «4» (хорошо), оставалась достаточно высокой, кроме 2009 года. Однако в 2010 и 2011 год произошел рост этой доли по сравнению с первым годом (2008) и остается на уровне более 40%. Доля учащихся, которые сдали экзамен на «5» (отлично), менялась из года в год. Самый высокий показатель был зафиксирован в 2009 году, а самый низкий в 2010 году, что связано с низким уровнем самостоятельной подготовки классов к экзамену. Однако самый высокий показатель и наименьший разрыв между долей учащихся, сдавших экзамен по географии на «4» и «5», наблюдается в 2011 году. Это связано с тем, что в течение 2010–2011 учебного года были более тщательно проработаны требования и критерии оценивания экзаменационных вопросов, проводилась планомерная отработка выполнения практической части экзамена на уроках.

Диаграмма 2



Анализируя долю учащихся, принимавших участие в экзамене за четыре года его проведения, следует отметить, что преобладают учащиеся, которые получили оценку «4» (37%) и «5» (34%). Учащихся, получивших оценку «3», всего 29%.

На диаграмме 3 показаны изменения динамики ответа учащихся на теоретический вопрос. Качество выполнения теоретической части экзамена в 2009 (76%) и 2011 (82%) году возрастало, кроме 2010 (63%) года. Однако уже в первый год сдачи экзамена общая результативность ответа на теоретический вопрос была достаточно высокой (65%).

Диаграмма 3



На диаграмме 4 показана положительная динамика доли учеников, которые набрали максимальный балл за теоретический вопрос по сравнению с 2008 годом (0%): в 2009 (40%), в 2010 (26%), в 2011 (42%). Из диаграммы видно, что в 2011 году наблюдался самый большой прирост учащихся, набравших максимальный балл.

Диаграмма 4



На диаграмме 5 показана динамика изменения выполнения различных заданий практической части экзамена (в %). Так, с 2008 года (61%) по 2011 (75%) происходил прирост доли учащихся, которые успешно определяли географические координаты, однако в 2010 году наблюдался существенный спад (всего 47%).

В задании по определению абсолютной высоты по карте происходил постоянный прирост доли учащихся, успешно выполняющих данное задание: с 2008 (63%) по 2011 (92%).

Самый низкий процент выполнения задания на определение расстояний наблюдался опять же в 2010 году (53%), однако в остальные годы он был выше 2008 (65%), 2009 (68%), и явный прирост с остальными годами произошел в 2011 году (75%).

В течение трех лет, с 2008 (73%) по 2010 (63%), наблюдался спад успешности ответов по карте атласа, поэтому, учитывая результаты предыдущих экзаменов, в 2010–2011 учебном году была проведена планомерная работа на отработку данного умения. Это дало положительный результат, поэтому прирост в 2011 году самый высокий (92%).

Также важно отметить, что в 2011 году впервые за 4 года 100% учащихся справились с практической частью экзамена (все учащиеся выполнили одно и более заданий).

Диаграмма 5

Выполнение заданий практического вопроса экзамена, в %



Анализируя результаты экзамена, можно не только увидеть уровень усвоения классом отдельных умений, но и выделить темы, с которыми учащиеся справляются как лучше, так и хуже всего. В последующем это дает возможность скорректировать учебный процесс и уделить особое внимание данным темам при изучении следующего курса географии.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Целенаправленная подготовка (учащимся заранее известны теоретические вопросы, структура практической части и список географической номенклатуры, проводятся консультации по экзаменационным вопросам) к переводному экзамену способствует повышению уровня овладения основными требованиями Государственного стандарта, что видно из диаграмм, отражающих уровень сдачи экзамена (диагр. 1), уровень овладения теоретической (диагр. 4) и практической частью экзамена (диагр. 6).

2. При выполнении практической части экзамена в течение трех лет наблюдается повышение показателей по овладению основными умениями работы с географической картой в сравнении с первым годом проведения экзамена (2008).

3. Проведение экзамена позволяет выявить недочеты как в подготовке учеников, так и в работе учителя, что способствует корректировке учебной деятельности в последующие годы обучения.

При переходе к деятельностному подходу [1: с. 13] для проверки сформированности знаний и умений учеников по географии в 6-м классе экзамен является более эффективным средством по сравнению с итоговыми тестами. Такой экзамен, включающий теоретические вопросы и практические задания, позволяет ученику лучше овладеть теоретическими знаниями по географии и понять принцип их применения на практике.

### *Литература*

1. Душина И.В., Щенев В.А. География. Материки, океаны, народы и страны. 7 кл.: метод. пособие. М.: Дрофа, 2011. 131 с.
2. Летыгин А.А., Душина И.В., Пятунин В.Б. и др. География. 6–11 классы общеобразов. учреждений. 2-е изд. М.: Вентана-Граф, 2011. 80 с.
3. Наумов А.С. Развитие олимпиад школьников по географии и проблемы географического образования в России // География и экология в школе XXI века. 2011. № 4. С. 8–13.
4. Примерные программы по учебным предметам. География. 6–9 классы: проект стандартов второго поколения. М.: Просвещение, 2010. 71 с.
5. Программно-методические материалы. География. 6–9 кл. / Сост. В.И. Сиротин. 3-е изд. М.: Дрофа, 2000. 192 с.

### *Literatura*

1. Dushina I.V., Shhenev V.A. Geografiya. Materiki, okeany', narody' i strany'. 7 kl.: metod. posobie. M.: Drofa, 2011. 131 s.
2. Letyagin A.A., Dushina I.V., Pyatunin V.B. i dr. Geografiya: programma: 6–11 klassy' obsheobrazovatelny'x uchrezhdenij. M.: Ventana-Graf, 2011. 80 p.
3. Naumov A.S. Razvitie olimpiad shkolnikov po geografii i problemy' geograficheskogo obrazovaniya v Rossii // Geografiya i e'kologiya v shkole XXI veka. 2011. № 4. S. 8–13.
4. Primerny'e programmy' po uchebny'm predmetam. Geografiya 6–9 klassy': proekt (Standart vtorogo pokoleniya). M.: Prosveshhenie, 2010. 71 s.
5. Programmno-metodicheskie materialy'. Geografiya. 6–9 kl. / Sost. V.I. Sirotin. 3-e izd. M.: Drofa, 2000. 192 s.

*E.V. Kutuzova*

**End-of-year Examination as a Way  
of Improving Academic Performance in Geography**

This article is devoted to an important topic of academic assessment in contemporary school. The emphasis is made on the analysis of the end-of-year Geography examination in the 6th class, which is considered the most efficient and optimal form of final academic check. The article considers the structure of the examination and students' successfulness at the exam within several years. Dynamics of students' academic performance indexes and assessment procedure effectiveness are exposed.

*Key-words:* examination; activity approach; examination effectiveness; assessment criteria; geographical culture.

## НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ: СОБЫТИЯ, ДИСКУССИИ, ПОЛЕМИКА

**19** ноября 2011 года исполнилось 300 лет со дня рождения Михаила Васильевича Ломоносова. Его личность и творчество вызывали и вызывают живой интерес наших соотечественников. Российской культурой, бесспорно, признается его выдающаяся роль в развитии отечественной и мировой науки. Западная же история науки едва касается деятельности ученого; большинство источников имя его в свои справочники не включает.

15 ноября 2011 года в МГПУ прошла Междисциплинарная конференция на тему «Вклад М.В. Ломоносова в развитие науки и культуры», посвященная этому юбилею, организованная лабораторией инновационного развития естественно-научного и экологического образования НИИСО и Институтом естественных наук. На ней обсуждалось: востребованность в наши дни интеллектуального теоретического наследия М.В. Ломоносова; его роль в развитии естественных и общественных наук, а также вклад в литературу, искусство и образование; увековечение имени выдающегося отечественного ученого и общественного деятеля<sup>1</sup>.

Конференцию открыли доклады доктора исторических и кандидата географических наук, профессора О.В. Шульгиной *«Междисциплинарные идеи М.В. Ломоносова как основа современного развития исторической и экономической географии»* и доктора философских наук, профессора В.М. Мапельман *«Ломоносов об облике и статусе российского ученого-естествоиспытателя»*.

Первый доклад был посвящен роли междисциплинарного мышления ученого в развитии смежных наук и гуманитаризации естественно-научного знания в целом. Представлен вклад М.В. Ломоносова в становление исторической и экономической географии, в понимание тесной взаимосвязи картографии и географии. Подчеркнута основополагающая роль идей М.В. Ломоносова в современном развитии исторической и экономической географии России. Во втором докладе была реконструирована первая попытка в истории россий-

<sup>1</sup> Часть материалов конференции будут опубликованы в очередном номере журнале «Вестник МГПУ», серия «Естественные науки».

ской науки выработать систематизированные профессиональные требования к деятельности ученого и сформулировать основные личностные характеристики и требования, принципиальные для успешного научного творчества.

Изложению вопросов развития научного наследия Михаила Васильевича было посвящено еще три сообщения: кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника Б.Б. Вагнера *«Вклад М.В. Ломоносова в развитие российской геологии»*, кандидата географических наук, доцента Т.С. Вороновой *«Картографическая деятельность М.В. Ломоносова»* и специалиста Управления планирования и координации НИР МГПУ Н.В. Ноздрина *«Вклад М.В. Ломоносова в развитие научной терминологии»*.

Содержательное и глубокое сообщение на тему *«Педагогические взгляды М.В. Ломоносова и Д.И. Менделеева»* сделал доктор педагогических наук, профессор П.А. Оржековский, затронув оригинальные и перспективные идеи подготовки будущих естествоиспытателей, сравнив позиции двух корифеев отечественной науки. Разработку этой проблематики в своих сообщениях развили кандидат юридических наук, старший научный сотрудник Н.С. Винокурова (*«Значение идей М.В. Ломоносова для развития российского образования»*) и кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Ю.А. Соловьева (*«Вклад М.В. Ломоносова в развитие школьного образования»*).

Живой интерес аудитории вызвали сообщения кандидата искусствоведения, доцента Д.П. Шульгиной *«Традиции и новаторство в искусстве М.В. Ломоносова»*, представившей результаты научных экспериментов М.В. Ломоносова по созданию цветных стекол, его достижения в мозаичном искусстве и в художественном творчестве, и студента Е. Барабанова *«Имя М.В. Ломоносова на карте мира»*.

## На книжной полке

Уважаемые читатели! Предлагаем обратить внимание на журналы по естественным наукам, поступающие в университетскую библиотеку!

1. **«Безопасность жизнедеятельности. БЖД»**: ежемесячный научно-практический и учебно-методический журнал.
2. **«Биология в школе»**: научно-теоретический журнал (выходит 8 раз в год).
3. **«Биология для школьников»**: ежеквартальный научно-популярный журнал для старшеклассников.
4. **«В мире животных»**: ежемесячный журнал о природе для детей и взрослых.
5. **«В мире растений»**: ежемесячный научно-популярный журнал.
6. **«Вестник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова». Серия 5. «География»**: научный журнал (выходит 6 раз в год).
7. **«Вокруг света»**: ежемесячный познавательный журнал.
8. **«География в школе»**: научно-методический журнал (выходит 8 раз в год).
9. **«География и экология в школе XXI века»**: научно-методический журнал (выходит 10 раз в год).
10. **«Геоморфология»**: ежеквартальный научный журнал.
11. **«Гражданская защита»**: ежемесячный научно-практический и методический журнал.
12. **«Живописная Россия»**: популярный географический журнал (выходит 6 раз в год).
13. **«Журнал неорганической химии»**: ежемесячный научный журнал.
14. **«Журнал общей биологии»**: научный журнал (выходит 6 раз в год).
15. **«Земля и Вселенная»**: научно-популярный журнал (выходит 6 раз в год).
16. **«Известия Российской Академии наук». Серия химическая**: ежемесячный научный журнал (на русском и английском языках).
17. **«Известия Российской Академии наук». Серия географическая**: научный журнал (выходит 6 раз в год).



18. **«Известия Российского географического общества»:** научный журнал (выходит 6 раз в год).
19. **«Координационная химия»:** ежемесячный научный журнал.
20. **«Микробиология»:** научный журнал (выходит 6 раз в год).
21. **«ОБЖ. Основы безопасности жизни»:** ежемесячный научно-методический и информационный журнал.
22. **«Основы безопасности жизнедеятельности»:** ежемесячное информационное методическое издание для преподавателей.
23. **«Пожарная безопасность»:** ежеквартальный научно-технический журнал.
24. **«Прикладная биохимия и микробиология»:** научный журнал (выходит 6 раз в год).
25. **«Успехи современной биологии»:** научный журнал (выходит 6 раз в год).
26. **«Успехи химии»:** ежемесячный обзорный журнал.
27. **«Физиология растений»:** научный журнал (выходит 6 раз в год).
28. **«Химия в школе»:** научно-теоретический и методический журнал (выходит 10 раз в год).
29. **«GEO»:** ежемесячный научно-познавательный журнал (русская версия).
30. **«Mendeleev Communications»:** научный журнал // Russian Academy of Sciences, University College London, UK (выходит 6 раз в год на английском языке).
31. **«National Geographic». Россия:** ежемесячное официальное издание национального географического общества (на русском языке).

Составитель  
*О.А. Юдахина*

**АВТОРЫ «ВЕСТНИКА МГПУ»,**  
**СЕРИЯ «ПЕДАГОГИКА И ПСИХОЛОГИЯ»**  
**2012, № 1 (19)**

**Бовт Анатолий Николаевич** — доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ОАО «Научно-технический центр взрывобезопасности».

E-mail: agnizam@eandex.ru

**Бубнов Владимир Алексеевич** — доктор технических наук, профессор, действительный член Академии информатизации образования, заведующий общеинститутской кафедрой естественно-научных дисциплин Института математики и информатики ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: vladimbubnov@yandex.ru

**Вагнер Бертиль Бертильевич** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории инновационного развития естественно-научного и экологического образования НИИСО ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: bert@wagner.pp.ru

**Дмитриева Валентина Тимофеевна** — кандидат географических наук, профессор, заведующая кафедрой физической географии и геоэкологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: dvtmgpu@yandex.ru

**Дорофеев Михаил Викторович** — кандидат химических наук, доцент кафедры методики преподавания химии Московского института открытого образования (МИОО).

E-mail: m-dorofeev@yandex.ru

**Едренкин Илья Владимирович** — аспирант кафедры психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: ilya.edrenkin@gmail.com

**Жидкова Мария Николаевна** — аспирант кафедры химии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: zloba33@mail.ru

**Зими́на Алла Ивановна** — аспирант кафедры методики преподавания химии Московского института открытого образования (МИОО), учитель ГБОУ СОШ № 1287 г. Москвы.

E-mail: A.I.Zimina@gmail.com

**Зубков Николай Владимирович** — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры методики преподавания биологии и общей биологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: zubkovnv@mail.ru

**Зубкова Валентина Михайловна** — профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры методики преподавания биологии и общей биологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: zubkova@ Rambler.ru

**Карёнов Сергей Рудольфович** — кандидат педагогических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: sergei.karjenov@yandex.ru

**Кондратьев Александр Сергеевич** — доктор технических наук, профессор общеинститутской кафедры естественно-научных дисциплин Института математики и информатики ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: ask41@mail.ru

**Котов Виталий Юрьевич** — доктор химических наук, профессор, директор Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: KotovV@cbf.mgpu.ru

**Кутузова Екатерина Витальевна** — аспирант кафедры физической географии и геоэкологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ, учитель ГБОУ СОШ № 18 г. Москвы.

E-mail: gusenka@list.ru

**Латчук Владимир Николаевич** — кандидат педагогических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: latchuk@yandex.ru

**Лауринавичюте Вероника Кестучё** — кандидат химических наук, старший научный сотрудник химического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: nika@elch.chem.msu.ru

**Напрасников Александр Тимофеевич** — доктор географических наук, главный научный сотрудник Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (г. Иркутск).

E-mail: naprasnikov@irigs.irk.ru

**Низамов Александр Жафферович** — кандидат технических наук, доцент общеинститутской кафедры естественно-научных дисциплин Института математики и информатики ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: agnizam@eandex.ru

**Онищенко Эдуард Васильевич** — кандидат физико-математических наук, доцент общеинститутской кафедры естественно-научных дисциплин Института математики и информатики ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: ed\_onischenko@mail.ru

**Ховрин Аркадий Николаевич** — кандидат педагогических наук, доцент кафедры методики преподавания биологии и общей биологии Института естественных наук ГБОУ ВПО МГПУ.

E-mail: skds12@mail.ru

## MCPU Vestnik, № 1 (19) – 2012 / Authors

***Bovt Anatoly Nikolaevich*** — Doctor of Engineering, senior researcher, leading researcher of OJSC “Research and Development Centre of Explosion Safety”.

E-mail: agnizam@eandex.ru

***Bubnov Vladimir Alexeevich*** — Doctor of Engineering, professor, full member of Academy of Informatization in Education, head of Natural Sciences department, Mathematics and Computer Science institute of MCPU.

E-mail: vladimbubnov@yandex.ru

***Vagner Bertil' Bertilievich*** — PhD (Geologo-mineralogical Sciences), docent, senior researcher of Laboratory of Innovational Development of Natural Sciences and Ecological Education, SRIMCE of MGPU

E-mail: bert@wagner.pp.ru

***Dmitrieva Valentina Timofeevna*** — PhD (Geography), professor, head of Physical Geography and Geo-ecology department, Natural Sciences institute of MCPU.

E-mail: dvtmgpu@yandex.ru

***Dorofeev Mikhail Victorovich*** — PhD (Chemistry), associate professor of Methods of Chemistry Teaching department, Moscow institute of Open Education.

E-mail: m-dorofeev@yandex.ru

***Edrenkin Ilya Vladimirovich*** — postgraduate student of Psychophysics department, Psychology faculty of Lomonosov Moscow State university.

E-mail: ilya.edrenkin@gmail.com

***Zhidkova Maria Nikolaevna*** — postgraduate student of Chemistry department, Natural Sciences institute of MCPU.

E-mail: zloba33@mail.ru

***Zimina Alla Ivanovna*** — postgraduate student of Methods of Chemistry Teaching department, Moscow institute of Open Education, teacher of SEI SCS № 1287, Moscow.

E-mail: A.I.Zimina@gmail.com

***Zubkov Nikolai Vladimirovich*** — PhD (Agriculture), associate professor of Methods of Biology and General Biology Teaching department, Natural Sciences institute of MCPU

E-mail: zubkovnv@mail.ru

***Zubkova Valentina Mikhajlovna*** — Doctor of Biology, professor of Methods of Biology and General Biology Teaching department, Natural Sciences institute of MCPU

E-mail: zubkova@rambler.ru

**Karionov Sergey Rudolfovich** — PhD (Pedagogy), associate professor of Life Security department, Natural Sciences institute of MCPU.

E-mail: sergei.karjenov@yandex.ru

**Kondratiev Alexander Sergeevich** — Doctor of Engineering, professor of Natural Sciences department, Mathematics and Computer Science institute of MCPU.

E-mail: ask41@mail.ru

**Kotov Vitaly Yurievich** — Doctor of Chemistry, professor, director of Natural Sciences institute of MCPU.

E-mail: KotovV@cbf.mgpu.ru

**Kutuzova Ekaterina Vitalievna** — postgraduate student of Physical Geography and Geo-ecology department, Natural Sciences institute of MCPU, teacher of SEI SCS №18, Moscow.

E-mail: gusenka@list.ru

**Latchuk Vladimir Nikolaevich** — PhD (Pedagogy), associate professor of Life Security department, Natural Sciences institute of MCPU.

E-mail: latchuk@yandex.ru

**Laurinavichyute Veronica Kestuchyo** — PhD (Chemistry), senior researcher of Chemistry faculty, Lomonosov Moscow State University.

E-mail: nika@elch.chem.msu.ru

**Naprasnikov Alexander Nimofeevich** — Doctor of Geography, chief researcher of V.B. Sochava Geography institute SB RAS, Irkutsk.

E-mail: naprasnikov@irigs.irk.ru

**Niazmov Alexander Zhakferovich** — PhD (Engineering), associate professor of Natural Sciences department, Mathematics and Computer Science institute of MCPU.

E-mail: agnizam@eandex.ru

**Onishchenko Eduard Vasilievich** — PhD (Physico-mathematical sciences), associate professor of Natural Sciences department, Mathematics and Computer Science institute of MCPU.

E-mail: ed\_onischenko@mail.ru

**Khovrin Arkady Nikolaevich** — PhD (Pedagogy), associate professor of Methods of Biology and General Biology Teaching department, Natural Sciences institute of MCPU.

E-mail: skds12@mail.ru

## Требования к оформлению статей

Уважаемые авторы!

Редакция просит Вас при подготовке материалов, предназначенных для публикации в «Вестнике МГПУ», руководствоваться требованиями к оформлению научной литературы, рекомендованными Редакционно-издательским советом Университета.

1. Шрифт — Times New Roman, 14 кегль, межстрочный интервал — 1,5, поля: верхнее, нижнее и левое — по 20 мм, правое — 10 мм. Объем статьи, включая список литературы, постраничные сноски и иллюстрации, не должен превышать 40 тыс. печатных знаков (1,0 а.л.). При использовании латинского или греческого алфавита, обозначения набираются: латинскими буквами — в светлом курсивном начертании; греческими буквами — в светлом прямом. **Рисунки** должны выполняться в графических редакторах. **Графики, схемы, таблицы** нельзя сканировать.

2. Инициалы и фамилия автора набираются полужирным шрифтом в начале статьи слева; заголовок — посередине полужирным шрифтом.

3. В начале статьи после названия помещаются аннотация на русском языке (не более 500 печатных знаков) и ключевые слова (не более 5). Ключевые слова и словосочетания разделяются точкой с запятой.

4. Статья снабжается пристатейным списком литературы, оформленным в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая запись» на русском и английском языках.

5. Ссылки на издания из пристатейного списка даются в тексте в квадратных скобках, например: [3: с. 57] или [6: Т. 1, кн. 2, с. 89].

6. Ссылки на Интернет-ресурсы и архивные документы помещаются в тексте в круглых скобках или внизу страницы по образцам, приведенным в ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка».

7. В конце статьи (после списка литературы) указываются автор, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

8. Рукопись подается в редакцию журнала в установленные сроки на электронном и бумажном носителях.

9. К рукописи прилагаются сведения об авторе (ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, электронный адрес для контактов) на русском и английском языках.

10. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

В случае несоблюдения какого-либо из перечисленных пунктов автор по требованию главного или выпускающего редактора обязан внести необходимые изменения в рукопись в пределах срока, установленного для ее доработки.

Более подробно о требованиях к оформлению рукописи можно посмотреть на сайте [www.mgpi.ru](http://www.mgpi.ru) в разделе «Документы» издательского отдела Научно-информационного издательского центра.

По вопросам публикации статей в журнале «Вестник МГПУ», серия «Естественные науки» обращаться к составителю, заведующей кафедрой безопасности жизнедеятельности *Мапельман Валентине Михайловне* (e-mail: [mapelman@mail.ru](mailto:mapelman@mail.ru)).

## **Вестник МГПУ**

Журнал Московского городского педагогического университета

*Серия «Естественные науки»*

№ 1 (9), 2012

### **Главный редактор:**

доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук,  
профессор *С.Л. Атанасян*

### **Составитель:**

доктор философских наук, профессор *В.М. Манельман*

Свидетельство о регистрации средства массовой информации:  
ПИ № 77-5797 от 20 ноября 2000 г.

Главный редактор выпуска:

кандидат исторических наук, старший научный сотрудник *Т.П. Веденева*

Редактор:

*В.П. Бармин*

Корректор:

*Л.Г. Овчинникова*

Техническое редактирование и компьютерная верстка:

*О.Г. Арефьева*

**Адрес Научно-информационного издательского центра ГОУ ВПО МГПУ:**

129226, Москва, 2-й Сельскохозяйственный проезд, д. 4.

Телефон: 8-499-181-50-36. E-mail: Vestnik@mgpu.ru

Подписано в печать: 20.03.2012 г. Формат 70 × 108 1 / 16

Бумага офсетная.

Объем усл. 8 п.л. Тираж 1000 экз.