

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **I ВСЕРОССИЙСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ**

*Всероссийская с международным участием конференция  
студентов, аспирантов и молодых ученых*

**«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ»**

*г. Томск  
25–29 апреля 2011 г.*

**ТОМ I**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТОЧНЫЕ НАУКИ**

Томск  
2011

**ББК 74.58+65  
В 85**

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
Томского государственного  
педагогического университета

- В 85      I Всероссийский фестиваль науки:**  
Всероссийская с международным участием конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (г. Томск, 25–29 апреля 2011 г.) : материалы конференции. – Том I : Естественные и точные науки. – Томск : Издательство Томского государственного педагогического университета, 2011. – 312 с.

ББК 74.58+65

Научные редакторы:

*Э. Г. Гельфман*, д-р пед. наук, проф.; *А. И. Забарина*, канд. физ.-мат. наук, доц.;  
*Е. А. Румбешта*, д-р пед. наук, проф.; *Н. Л. Чуприков*, д-р физ.-мат. наук;  
*В. П. Перевозкин*, канд. биол. наук, доц.; *С. А. Войцековская*, канд. биол. наук, доц.;  
*О. Х. Полещук*, д-р хим. наук, проф.; *С. В. Ковалёва*, д-р хим. наук, проф.;  
*И. А. Шабанова*, канд. пед. наук, доц.; *Е. Е. Пугачёва*, канд. геол.-минерал. наук, доц.;  
*А. В. Родикова*, канд. биол. наук

**СЕКЦИЯ  
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**





# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ $\pi$ МЕЗОНОВ НА ПРОТОНЕ В КОНЕЧНОМ СОСТОЯНИИ

М. В. Егоров

*Томский государственный университет*

Фоторождение мезонов в резонансной области энергий является сегодня основной областью адронной физики, где упомянутые выше феноменологические модели применяются в полной мере. К настоящему времени довольно детально исследованы, как теоретически, так и экспериментально, процессы образования одиночных мезонов ( $\pi$ ,  $\eta$  и  $K$  мезонов) на нуклонах. Полученная информация существенно расширила наши знания о кварковой структуре нуклона. Вместе с тем, многие вопросы мезон-нуклонного взаимодействия остаются нерешенными. К последним следует отнести так называемую проблему «недостающих» резонансов. Конгруэнтные кварковые модели предсказывают существование возбужденных состояний нуклона, до сих пор не наблюдавшихся в экспериментах с одиночными мезонами. В качестве одной из возможных причин противоречия рассматривается слабая связь «недостающих» возбужденных состояний с одномезонными каналами. В связи с этим, именно исследование процессов множественного (прежде всего, парного) образования мезонов должно дать необходимую информацию о динамической природе «недостающих» резонансов.

Фоторождение двух пионов на нуклонах  $\gamma N \rightarrow \pi\pi N$  довольно подробно рассмотрено авторами работ [1–4]. Как показано в цитируемых работах, одной из ярких особенностей этого процесса является сильный кролл-рудермановский член, приводящий к образованию  $s$ -волновых мезонов в канале  $\pi\Delta$ . Как следствие, полное сечение вблизи порога обнаруживает линейную зависимость от энергии фотонов. При этом в области широкого максимума при  $E_\gamma = 800$  МэВ вклад кролл-рудермановского механизма остается значительным и составляет около 85%. В то же время, в нейтральном канале

$$\gamma p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p \quad (1)$$

кролл-рудермановский член исчезает, что, вообще говоря, должно вызывать доминирование в амплитуде более высоких парциальных волн и, как следствие, приводить к подавлению полного сечения в области малых энергий (штриховая кривая на рис. 1). Однако, полученные в работах [5, 6] экспериментальные данные не подтверждают этот тезис. А именно: в отличие от предсказаний теории, наблюдаемое в эксперименте полное сечение реакции (1) демонстрирует практически линейный рост вплоть до энергий фотонов  $E_\gamma = 700$  МэВ (см. рис. 1). Вопрос о возможном источнике  $s$ -волн в процессе (1) частично рассматривался в рамках эффективной теории поля (ЭТП) в работе [7], где было показано, что эффект подавления в значительной степени компенсируется учетом петлевых поправок из-за взаимодействия образующихся мезонов. Непосредственные расчеты действительно предсказывают значительное увеличение сечения при учете мезонных петель. Однако, применимость ЭТП ограничена областью малых переданных импульсов (порядка массы пиона), что позволяет использовать ее только при энергиях фотонов, не превышающих 350 МэВ.

В настоящей работе мы вычисляем поправки к амплитуде процесса (1), возникающие вследствие перерасеяния мезонов. В отличие от работы [7] рассматриваемая область энергий не ограничивается околопороговыми значениями.

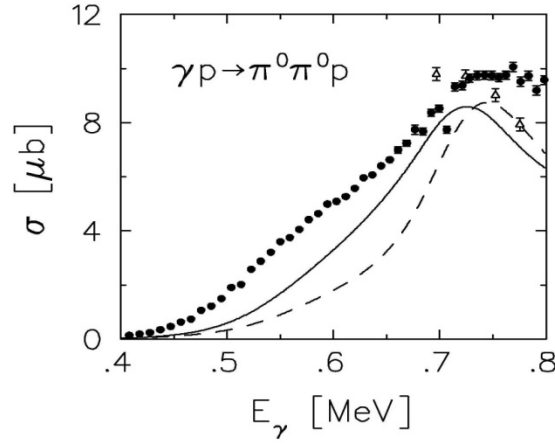


Рис. 1. Полное сечение фоторождения двух  $\pi^0$  мезонов на протонах во второй резонансной области. Штриховая и сплошная кривые представляют результаты, полученные без учета и с учетом перерасеяния  $\pi$  мезонов. Экспериментальные значения взяты из работ [5] и [6]

Для расчетов используется изобарная модель, подобная той, что была представлена в статье [4]. Эффекты перерасеяния учтены в рамках стандартной теории взаимодействия в конечном состоянии (см., например, [8]). Динамика самого  $\pi\pi$  рассеяния в  $s$ -волне аппроксимирована путем образования и распада скаляр-изоскалярного мезона  $\sigma(600)$ . В заключении обсуждаются результаты учета эффектов перерасеяния в полном сечении.

Рассматриваемая фотореакция с парным фоторождением  $\pi$  мезонов на нуклоне выглядит так:

$$\gamma(k, \vec{\epsilon}_\lambda) + N(p_i) \rightarrow \pi^{\mu_1}(q_1) + \pi^{\mu_2}(q_2) + N(p_f), \quad (2)$$

где четырехмерные импульсы частиц, налетающего фотона, начального и конечного нуклона и двух пионов, обозначены, соответственно, как

$$k = (E_\gamma, \vec{k}), p_{i/f} = (E_i, \vec{p}_{i/f}), q_{1/2} = (\omega_{1/2}, \vec{q}_{1/2}). \quad (3)$$

Вектор поляризации фотона обозначен через  $\vec{\epsilon}_\lambda$  с индексом  $\lambda = \pm 1$ . Верхний индекс  $\mu_i = 0, \pm 1$  в (2) соответствует заряду  $i$ -го пиона. Используя стандартную ковариантную нормировку для свободного состояния частиц [9], неполяризованное сечение реакции в системе центра масс (ц.м.), может быть представлено в терминах матричного элемента  $t_\lambda^{\mu_1\mu_2}$ :

$$d\sigma = (2\pi)^{-5} \frac{M_N^2}{8W^2} \frac{q}{E_\gamma} \frac{p}{4} \alpha \times \sum |t_\lambda^{\mu_1\mu_2}(\vec{q}_1, \vec{q}_2, \vec{k})|^2 d\omega_{\pi\pi} d\Omega_q d\Omega_p, \quad (4)$$

где  $W$  – полная энергия в системе центра масс (ц.м.);  $\vec{p} = -(\vec{q}_1 + \vec{q}_2)$  – конечный импульс нуклона;  $\omega_{\pi\pi}$  и  $\vec{q}^*$ , соответственно, инвариантная  $\pi\pi$  масса и релятивистский импульс двух пионов в системе ц.м. Для  $\pi^0\pi^0$  канала параметр  $\alpha$  равен 1/2 в связи с тождественностью мезонов. Для других каналов ( $\pi^+\pi^-$ ,  $\pi^0\pi^+$  и т.д.)  $\alpha = 1$ . Спиновая структура амплитуды реакции может быть представлена с помощью спиновых матриц Паули  $\vec{\sigma} = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z\}$  в виде

$$t_{\lambda}^{\mu_1\mu_2}(\vec{q}_1, \vec{q}_2, \vec{k}) = K_{\lambda}^{\mu_1\mu_2}(\vec{q}_1, \vec{q}_2, \vec{k}) + i\vec{L}_{\lambda}^{\mu_1\mu_2} \cdot \vec{\sigma}. \quad (5)$$

Поскольку  $\pi$  мезон является псевдоскаляром ( $J^{\pi} = 0^{-}$ ), то амплитуда  $t_{\lambda}^{\mu_1\mu_2}$  образования двух пионов должна быть скаляром. Как следствие,  $K^{\mu_1\mu_2}$  – скаляр, а  $\vec{L}^{\mu_1\mu_2}$  – псевдовектор.

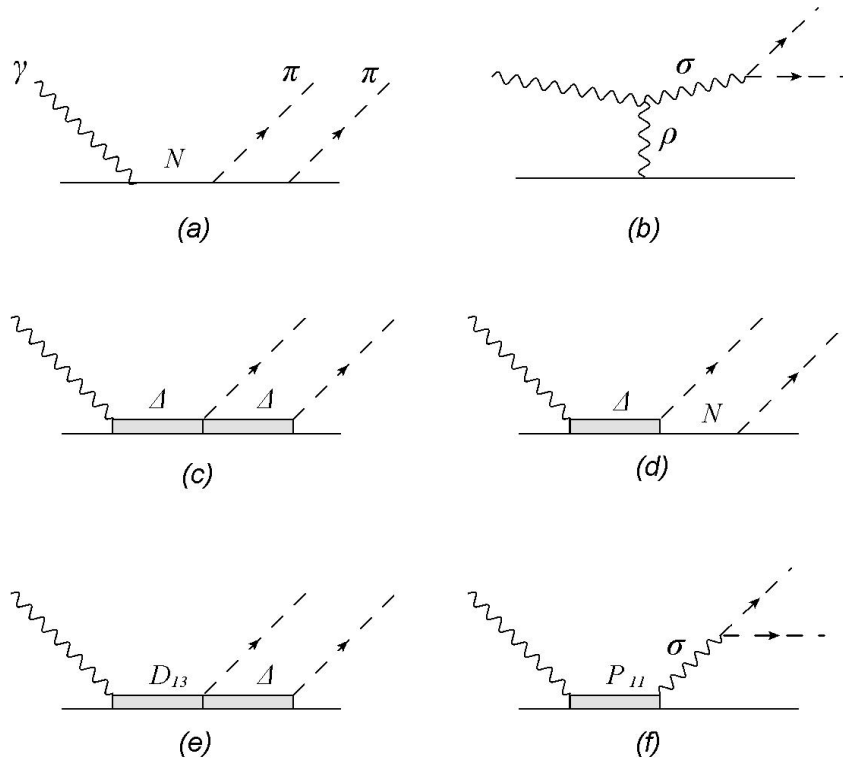


Рис. 2. Диаграммы, дающие основной вклад в процесс  $\gamma N \rightarrow \pi^0\pi^0 N$  в области энергий  $E_{\gamma} < 800$  МэВ. Через  $\Delta$ ,  $D_{13}$ ,  $P_{11}$  обозначены, соответственно, резонансы  $\Delta(1232)$ ,  $D_{13}(1520)$  и  $P_{11}(1440)$

На рис. 2 приведен набор диаграмм, дающих основной вклад в электромагнитное образование двух  $\pi^0$  мезонов на нуклоне. Как отмечено выше, кролл-рудермановский член, возникающий в рамках минимальной связи вершины  $N\pi\Delta$  с электромагнитным током, может давать вклад только в фоторождение заряженных мезонов. В нейтральном канале (1) этот член полностью исключен. По этой причине рассчитанное полное сечение в области низких энергий  $E_{\gamma} < 500$  МэВ в значительной мере подавлено. Основной вклад в амплитуду дает возбуждение резонанса  $D_{13}(1520)$  (рис. 2, e) и, в меньшей степени,  $P_{11}(1440)$

(рис. 2, *f*). Первый из указанных резонансов проявляется в виде отчетливого максимума в районе 700 МэВ, однако при энергиях ниже 600 МэВ его вклад оказывается небольшим.

Как видно из рисунка, экспериментальные данные, полученные в работе [5], обнаруживают заметный рост с увеличением энергии, характерный для *s*-волнового механизма. Как следствие, наблюдается качественное различие в поведении экспериментального сечения и результатов, предсказываемых теорией. Для объяснения противоречия мы учли вклад перерассеяния мезонов. Соответствующий механизм сводится к промежуточному образованию  $\pi^+\pi^-$  состояния, которое посредством взаимодействия между пионами переходит в состояние  $\pi^0\pi^0$ .

Поскольку сечение образования  $\pi^+\pi^-$  пар приблизительно в 20 раз превышает соответствующее сечение для  $\pi^0\pi^0$  в области  $E_\gamma = 600$  МэВ, можно ожидать, что этот механизм будет существенно влиять на динамику фоторождения двух нейтральных пионов.

Знание амплитуды  $f(q)$  для  $\pi\pi$  рассеяния позволяет учесть перерассеяние  $\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^0\pi^0$ . В настоящей работе  $\pi\pi$  взаимодействие аппроксимируется посредством образования и распада скаляр-изоскалярного мезонного резонанса  $\sigma(600)$ . Наилучшее согласие достигается при  $M_\sigma = 740$  МэВ,  $\Gamma_\sigma = 600$  МэВ.

Вклад в амплитуду, соответствующий диаграмме на рис. 2, *a* с учётом  $\pi\pi$  рассеяния, может быть представлен в виде

$$t_{resc,\lambda}^{\pi^0\pi^0} = \int \frac{1}{2\omega_\pi(2\pi)^3} t_\lambda^{\pi^+\pi^-}(q') G_{\pi\pi}(\omega_\pi) t_{\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^0\pi^0}(q, q') d^3q', \quad (6)$$

где  $t_{\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^0\pi^0}$  – амплитуда  $\pi\pi$  рассеяния;  $G_{\pi\pi} = \frac{m_\pi}{q^2 - q'^2}$  – нерелятивистский пропагатор  $\pi\pi$  системы;  $m_\pi$  – масса пиона;  $t_\lambda^{\pi^+\pi^-}$  – амплитуда фоторождения  $\pi^+\pi^-$ , которая аппроксимировалась кролл-рудермановским членом. Ее явный вид дается выражением

$$t_\lambda^{\pi^+\pi^-} = \frac{ef_{\pi N\Delta}^2}{m_\pi^2} \frac{1}{\omega_{\pi N} - M_\Delta + i\frac{\Gamma_\Delta}{2}} \times (\vec{\sigma}_{1/2,3/2} \cdot \vec{q}_+) (\vec{\sigma}_{3/2,1/2} \cdot \vec{\epsilon}_\lambda), \quad (7)$$

где  $f_{\pi N\Delta}$  – константа связи, определяющая распад  $\Delta(1232) \rightarrow \pi N$ ;  $M_\Delta = 1232$  МэВ и  $\Gamma_\Delta = 120$  МэВ – масса и ширина  $\Delta$ -резонанса;  $\vec{\sigma}_{j_2, j_1}$  – матрица оператора перехода из состояния со спином  $j_1$  в состояние со спином  $j_2$ ;  $\vec{q}_+$  – импульс мезона  $\pi^+$  (см. рис. 2, *a*).

В настоящей работе при вычислении интеграла в формуле (6) мы ограничились полюсным приближением. А именно, в расчетах было учтено лишь первое слагаемое, возникающее в общем выражении

$$\int \frac{q^2 f(q')}{q^2 - q'^2 + i\varepsilon} dq = -i\frac{q}{2}\pi f(q) + P \int \frac{q'^2 f(q')}{q^2 - q'^2 + i\varepsilon} dq'. \quad (8)$$

Учет лишь полюсного вклада равносильно отбрасыванию в выражении (8) интеграла в смысле главного значения. Физически данное приближение (в литературе иногда называемое *K*-матричным приближением) эквивалентно предположению, что между двумя последовательными актами рассеяния мезон находится на массовой поверхности. Таким образом, в полюсном приближении достаточно знания матрицы  $t_{\pi^+\pi^-\rightarrow\pi^0\pi^0}(q',q)$  лишь при

$$q' = q = \sqrt{\omega_\pi^2 - m_\pi^2}. \quad (9)$$

Матрица  $t$  связана с амплитудой рассеяния  $f(q)$  соотношением

$$t_{\pi^+\pi^-\rightarrow\pi^0\pi^0} = -\frac{2\pi}{\mu} f(q) \frac{2}{3}, \quad (10)$$

где  $\mu = \frac{m_\pi}{2}$  – приведенная масса  $\pi\pi$ -системы.

Результаты наших расчетов для полного сечения с включением эффектов перерассеяния в рамках описанных выше приближений показаны на рис. 2. Как видим, взаимодействие образующихся  $\pi$  мезонов действительно играет ключевую роль в области энергий  $E_\gamma < 600$  МэВ. Его учет приводит к заметному увеличению сечения и, как следствие, к улучшению согласия с экспериментальными данными. Вместе с тем, предсказываемое теорией сечение по-прежнему недооценивает экспериментальную величину. Так, например, при энергии  $E_\gamma = 500$  МэВ отношение  $\sigma_{exp}$  к  $\sigma_{theor}$  достигает двух. Окончательный вывод о качестве модели и влиянии эффектов пион-пионного взаимодействия может быть сделан лишь после корректного вычисления амплитуды (6) с учетом главного значения интеграла в формуле (8).

Дальнейшие шаги к пониманию динамики фоторождения двух нейтральных пионов в области второго резонанса могут быть связаны с исследованием поляризационных характеристик.

*Работа выполнена при финансовой поддержке фонда некоммерческих исследований «Династия» в рамках МЦФФ в г. Москва.*

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор А. И. Фикс.*

### Литература

1. Gomez, T.J.A., Oset, E. Double pion photoproduction on the nucleon: Study of the isospin channels / T.J.A. Gomez, E. Oset // Nucl. Phys. 1996. Vol. A600. P. 413–435.
2. Murphy, L.Y., Laget, J.M. Reaction mechanisms in two pion photoproduction on the proton: Meson exchange picture / L.Y. Murphy, J.M. Laget // Preprint Saclay. 1996. 32 p.
3. Ochi, K., Hirata, M., Takaki, T. Photoabsorption on a nucleon in the  $D_{13}$  resonance energy region / K. Ochi, M. Hirata, T. Takaki // Physical Review C. 1997. Vol. 56. P. 1472–1482.
4. Fix, A., Arenhövel, H. Double-pion photoproduction on nucleon and deuteron / A. Fix, H. Arenhövel // European Physical Journal A. 2005. Vol. 25. P. 115–135.
5. Wolf, M. et al. Photoproduction of neutral pion pairs from the proton / M. Wolf et al. // European Physical Journal A. 2000. Vol. 9. P. 5–8.
6. Assafiri, Y. et al. Double  $\pi^0$  photoproduction on the proton at GRAAL / Y. Assafiri et al. // Physical Review Letters. 2003. Vol. 90. P. 222001 (1–4).

7. Bernard, V. et al. Threshold two pion photoproduction and electroproduction: More neutrals than expected / V. Bernard, N. Kaiser, U.G. Meissner, A. Schmidt // Nuclear Physics A. 1994. Vol. 580. P. 475–499.

8. Watson, K. M. The effect of final state interaction on reaction cross sections / K.M. Watson // Physical Review. 1952. Vol. 88. P. 1163–1171.

9. Бьеркен, Дж. Д. Релятивистская квантовая теория. Т. 1: Релятивистская квантовая механика / Дж. Д. Бьеркен // М. : Наука, 1978. 295 с.

## ПРИНЦИП СООТВЕТСТВИЯ В ПРЕЦЕССИИ СПИНА

О. А. Константинова

Томский государственный университет

Известно, что при движении электрически нейтральных релятивистских частиц во внешних электромагнитных полях прецессия спина с высокой степенью точности описывается классическим уравнением Баргманна – Мишеля – Телегди (БМТ) [1, 2]. Однако классическая теория прецессии спина, на наш взгляд, не получила должного развития в связи с возросшей ролью квантовых методов исследования физических явлений. Так, спиновые процессы были подробно изучены в работах [3, 4, 5]. Вместе с тем, наиболее строгое описание спина возможно только в рамках релятивистской квантовой теории на основе уравнения Дирака. В квантовой теории прецессия спина описывается в терминах квантовых переходов с изменением ориентации спина. Этот подход существенно отличается от классического метода описания прецессии спина. Поэтому естественно возникает вопрос об адекватности более простого и наглядного классического метода.

Исследование данной проблемы и является целью нашей работы. Для нахождения связи между известными результатами исследования квантовых переходов с переворотом спина и классической теорией прецессии спина рассматривается уравнение БМТ для нейтрона, движущегося в однородном магнитном поле. Чтобы проконтролировать полученные результаты, решается уравнение Дирака – Паули для соответствующих начальных условий, и находятся средние значения спина с нестационарной волновой функцией, построенной на спин-флип состояниях частицы (впервые эта идея была высказана в [3], см. также [6]).

### Прецессия спина в классической теории

Прецессию спина мы будем изучать в чистом виде на примере нейтрона, который обладает полностью аномальным магнитным моментом (электрический заряд равен нулю)  $\mu = -1,91\mu_N$ , где  $\mu_N = e_0\hbar/2m_p c$  – ядерный магнетон Бора;  $m_p$  – масса протона, остальные обозначения совпадают с общепринятыми.

Движение нейтрона мы будем рассматривать в однородном магнитном поле. Для таких полей справедливо считать, что движение заряда и прецессия спина происходят независимо друг от друга. Тензорное уравнение БМТ [1] для нейтрона имеет вид [3]

$$\frac{d\Pi^{\mu\nu}}{d\tau} = -\frac{|\mu|}{s\hbar} \left\{ H^{[\mu\rho}\Pi_{\rho}{}^{\nu]} + \frac{1}{c^2} v^{[\mu}\Pi^{\nu]} H_{\rho\sigma} v^{\sigma} \right\}. \quad (1.1)$$

Здесь  $\Pi^{\mu\nu} = (\Phi, \Pi)$  – пространственноподобный тензор спина, удовлетворяющий условию  $\Pi^{\mu\nu}v_\nu = 0$ ;  $H^{\mu\nu} = (-E, \mathbf{H})$  – тензор внешнего электромагнитного поля;  $v^\mu = (v_0, \mathbf{v}) = c\gamma(1, \beta)$  – четырехмерный вектор скорости;  $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ ,  $s = 1/2$ . В дальнейшем мы будем полагать  $E = 0$ ,  $\mathbf{H} = (0, 0, H)$ .

Согласно условию пространственноподобности  $\Phi = [\beta\Pi]$ , можно ограничиться рассмотрением уравнения

$$\frac{d\Pi}{d\tau} = -\frac{|\mu|}{s\hbar} \left( \Pi + \frac{1}{c^2} v(\Pi v) \right) \mathbf{H}. \quad (1.2)$$

Заметим, что согласно уравнениям (1.1) и (1.2) для описания прецессии спина можно использовать безразмерную форму, согласно которой тензор  $\Pi^{\mu\nu}$  имеет инвариант

$$\frac{1}{2} \Pi^{\mu\nu} \Pi_{\mu\nu} = \zeta^2, \quad (1.3)$$

где  $\zeta$  – единичный вектор спина, определенный в системе покоя.

В случае равномерного и прямолинейного движения нейтрона для  $\beta = \beta(\sin \alpha, 0, \cos \alpha)$ , система уравнений (1.2) принимает вид

$$\begin{cases} \frac{d\Pi_x}{d\tau} = -h\Pi_y, \\ \frac{d\Pi_y}{d\tau} = h\left\{ \gamma^2(1-\beta^2 \cos^2 \alpha)\Pi_x + \gamma^2\beta^2 \cos \alpha \sin \alpha \Pi_z \right\}, \\ \frac{d\Pi_z}{d\tau} = 0, \end{cases} \quad (1.4)$$

где  $h = |\mu|H/s\hbar$ . Решение этой системы будем искать при начальной ориентации спина  $\Pi_1 = (0, \Pi_1, 0)$ .

$$\begin{cases} \Pi_x = -\Pi_\perp / \gamma \sqrt{1-\beta^2 \cos^2 \alpha} \sin(\omega t + \eta), \\ \Pi_y = \Pi_\perp \cos(\omega t + \eta), \\ \Pi_z = 0. \end{cases} \quad (1.5)$$

Амплитуду  $\Pi_\perp$  можно определить и с помощью инварианта (1.3). При наших начальных значениях будем иметь  $\Pi_\perp = \gamma\zeta$  и, стало быть,

$$\begin{cases} \Pi_x = -\zeta / \sqrt{1-\beta^2 \cos^2 \alpha} \sin \omega t, \\ \Pi_y = \gamma\zeta \cos \omega t, \\ \Pi_z = 0. \end{cases} \quad (1.6)$$

Частота прецессии спина  $\omega$  определяется соотношением

$$\omega = \frac{|\mu|H}{s\hbar} \sqrt{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}. \quad (1.7)$$

### ***Прецессия спина в квантовой теории***

Исследуем, как зависит прецессия спина нейтральной дираковской частицы от начальных условий.

Уравнение Дирака для нейтрона в ортогональных полях имеет вид [6]

$$\left( m_0 c - i\gamma_\mu p^\mu - \frac{|\mu|}{2c} \sigma_{\alpha\beta} H^{\alpha\beta} \right) \Psi = 0. \quad (2.1)$$

Здесь  $p^\mu = -i\hbar\partial^\mu$  – оператор четырехмерного импульса;  $\gamma^\mu = i\rho_3(1, \alpha)$ ;  $\sigma^{\mu\nu} = (-i\alpha, \sigma)$  – снова матрицы Дирака;  $\Psi(r, t)$  – четырехмерный спинор, который мы будем искать в виде нестационарной волновой функции

$$\Psi(r, t) = L^{-3/2} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 e^{i\varphi} \\ c_3 \\ c_4 e^{-i\varphi} \end{pmatrix} \exp\left(\frac{im_0 c}{\hbar} [(br) - \gamma_\zeta ct]\right) = \psi_\zeta(r) \exp\left(-\frac{im_0 c}{\hbar} \gamma_\zeta t\right), \quad (2.2)$$

где  $b^\mu = \gamma(1, \beta)$  – безразмерный аналог четырехмерного импульса частицы.

Положим далее  $v = |\mu|H/m_0 c^2$ ,  $b_\varphi = b_x + ib_y = b_\perp e^{i\varphi}$ . Подставляя (2.2) в уравнение (2.1), получим следующую систему однородных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$\begin{cases} (\gamma_\zeta - 1 - v)c_1 - b_\perp^* c_4 - b_z c_3 = 0, \\ (\gamma_\zeta - 1 + v)c_2 - b_\perp c_3 + b_z c_4 = 0, \\ (\gamma_\zeta + 1 + v)c_3 - b_\perp^* c_2 - b_z c_1 = 0, \\ (\gamma_\zeta + 1 - v)c_4 + b_\perp c_1 + b_z c_2 = 0. \end{cases} \quad (2.3)$$

Из условия нетривиальности этой системы однородных уравнений с постоянными коэффициентами (равенства нулю определителя из коэффициентов при неизвестных) находим что

$$\gamma_\zeta = \sqrt{\beta_z^2 + \left(\sqrt{1 + \beta_\perp^2} + \zeta v\right)^2}. \quad (2.4)$$



С учетом нормировки  $c^+c = 1$  коэффициенты  $c_i$  из (2.16) записываются в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} c_1 = \frac{\zeta}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\zeta}{q} \right)} (\sqrt{1 + \beta_z} + \zeta \sqrt{1 - \beta_z}), \\ c_2 = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\zeta}{q} \right)} (\sqrt{1 + \beta_z} - \zeta \sqrt{1 - \beta_z}), \\ c_3 = \frac{\zeta}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\zeta}{q} \right)} (\sqrt{1 + \beta_z} - \zeta \sqrt{1 - \beta_z}), \\ c_4 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\zeta}{q} \right)} (\sqrt{1 + \beta_z} + \zeta \sqrt{1 - \beta_z}), \end{array} \right. \quad (2.5)$$

где введены следующие обозначения:  $q = \sqrt{1 + \gamma^2 b_\perp^2} = \gamma \sqrt{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}$ , и, как всегда,  $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$ .

В квантовой теории прецессия спина описывается как нестационарный процесс с помощью волновой функции, которая представляет собой суперпозицию спиновых состояний  $\zeta = \pm 1$ :

$$\tilde{\Psi}(\mathbf{r}, t) = A \psi_1(\mathbf{r}) \exp\left(-i \frac{m_0 c^2}{\hbar} \gamma_1 t\right) + B \psi_{-1}(\mathbf{r}) \exp\left(-i \frac{m_0 c^2}{\hbar} \gamma_{-1} t\right),$$

$$A^+ A + B^+ B = 1. \quad (2.6)$$

Квантовое число  $\zeta = \pm 1$  характеризует проекцию спина на направление магнитного поля.

Числовые коэффициенты  $A$  и  $B$  определяются из начальных условий, задаваемых проекцией спинного оператора [3]

$$\Pi = \rho_2 [\sigma, b] + \sigma, \quad (2.7)$$

на произвольное направление  $\mathbf{n} = (\sin \theta \cos \varphi, \sin \theta \sin \varphi, \cos \theta)$ :

$$(\Pi \mathbf{n}) \tilde{\Psi}(\mathbf{r}, 0) = \lambda \tilde{\Psi}(\mathbf{r}, 0), \quad (2.8)$$

где

$$\tilde{\Psi}(\mathbf{r}, 0) = A \psi_1(\mathbf{r}) + B \psi_{-1}(\mathbf{r}). \quad (2.9)$$

Заметим, что при этом сама проекция спина вовсе не обязательно должна быть интегралом движения. Начальные условия соответствуют нестационарной

волновой функции с  $t = 0$ . Таким образом, задавая интересующее направление, можно влиять на общий вид спиновых операторов. Далее, исследуем подробнее зависимость от начальных условий.

Рассмотрим, например, случай начальной ориентации спи на вдоль оси  $Y$ . Матрица  $\Pi_1 = (0, \Pi_1, 0)$  при  $\theta = \pi/2$ ,  $\varphi = \pi/2$  имеет вид

$$\Pi_{1y} = \begin{pmatrix} 0 & -i & -ib \cos \alpha & ib \cos \alpha \\ i & 0 & ib \cos \alpha & ib \cos \alpha \\ ib \cos \alpha & -ib \cos \alpha & 0 & -i \\ -ib \cos \alpha & -ib \cos \alpha & i & 0 \end{pmatrix}. \quad (2.10)$$

В случае начальной ориентации спина вдоль оси  $Y$  будем иметь

$$\lambda = \zeta\gamma, \quad A = \frac{i}{\sqrt{2}}, \quad B = \frac{\zeta}{\sqrt{2}}. \quad (2.11)$$

### Сопоставление результатов

Таким образом, интерес для нас представляет случай начальной ориентации спина вдоль оси  $Y$ , так как именно в этом случае мы водим соответствие с классической амплитудой  $\Pi_{\perp} = \gamma\zeta$ . Вычислим далее среднее значение оператора спина (2.7). Для начала необходимо вычислить матричные элементы

$$\begin{aligned} \langle \zeta | \hat{\Pi}_x | \zeta \rangle &= -\zeta \frac{\gamma\beta^2 \sin \alpha \cos \alpha}{\sqrt{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}}, \\ \langle \zeta | \hat{\Pi}_y | \zeta \rangle &= 0, \\ \langle \zeta | \hat{\Pi}_z | \zeta \rangle &= \zeta\gamma\sqrt{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}, \\ \langle -\zeta | \hat{\Pi}_x | \zeta \rangle &= -\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}}, \\ \langle -\zeta | \hat{\Pi}_y | \zeta \rangle &= -i\zeta\gamma, \\ \langle -\zeta | \hat{\Pi}_z | \zeta \rangle &= 0. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Средние значения  $\langle \hat{\Pi} \rangle_t$  будут существенно отличаться друг от друга в зависимости от начальной ориентации спина. Рассматриваемый нами случай начальных условий дает

$$\langle \hat{\Pi}_x \rangle_t = -\frac{\zeta \sin \omega t}{\sqrt{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}}, \quad \langle \hat{\Pi}_y \rangle_t = \zeta \cos \omega t, \quad \langle \hat{\Pi}_z \rangle_t = 0. \quad (3.2)$$

Фактически эти решения ничем не отличаются от решения тензорного уравнения БМТ (2.7). Частота прецессии спина соответствует квантовому спин-флип переходу  $\zeta \rightarrow -\zeta$  и равна

$$\omega = \frac{m_0 c^2}{\hbar} (\gamma_\zeta - \gamma_{-\zeta}) = \zeta \frac{2|\mu|H}{\hbar} \sqrt{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}, \quad (3.3)$$

что совпадает с (1.7).

Таким образом, в результате проведенных исследований мы убедились, что классическая теория прецессии спина нейтральной релятивистской частицы абсолютно обоснована. Все интересные результаты, полученные чисто квантовыми методами в работах [2, 6] были подтверждены и проверены с точки зрения более простых и наглядных классических методов.

*Автор выражает благодарность профессору Бордовицыну за ценные указания и постановку задачи, а также профессору Багрову за интересные дискуссии.*

*Данная работа написана в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», контракт № 02.740.11.0238; № П789.*

*Научные руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. А. Бордовицын.*

#### Литература

1. Bargmann, V., Michel, L., Telegdi, V. L. // Phys. Rev. Lett. 1959. Vol. 2. P. 435–436.
2. Багров, В. Г., Бисноватый-Коган, Г. С., Бордовицын, В. А. и др. Теория излучения релятивистских частиц / В. Г. Багров, Г. С. Бисноватый-Коган, В. А. Бордовицын и др. ; под ред. В. А. Бордовицына. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. 576 с.
3. Тернов, И. М., Багров, В. Г., Хапаев, А. М. // ЖЭТФ. 1965. 48. С. 921–927.
4. Бордовицын, В. А., Торрес, Р. // Изв. вузов. Физика. 1986. Т. 29, № 2. С. 43–45.
5. Константинова, О. А. // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 11. С. 90–94.
6. Bordovitsyn, V. A., Gushchina, V. S., Myagkii, A. N. // Nucl. Instrum. Methods A. 1998. Vol. 405. P. 256–257.

## **ВЕКТОР УМОВА – ПОЙНТИНГА НАКЛОННОГО МАГНИТНОГО РОТАТОРА**

М. А. Мастерова

*Томский государственный педагогический университет*

В настоящей работе исследован поток энергии в окрестности прецессирующего диполя. Обычно поток энергии изменяющегося со временем источника электромагнитного поля вычисляется вдали от источника, в так называемой, волновой зоне. В этой области поток энергии направлен радиально от источника и представляет собой излучение. В данной работе вычислено распределение потока энергии на любых расстояниях от источника поля. В частности, показано, что в ближней зоне вектор Умова – Поинтинга имеет не только радиальную, но и существенную азимутальную составляющую. Другими словами, энергия поля в ближней зоне участвует во вращении вместе с электромагнитным полем, и только в волновой зоне поток энергии приобретает значительную радиальную

составляющую превращаясь в поток излучения. Исследования потока энергии в ближней зоне имеет практическое значение для небесных тел, окруженных атмосферой из нейтрального газа. В этом случае электромагнитное поле оказывает на газ давление, аналогичное давлению света.

### *Поле прецессирующего магнитного дипольного момента*

Рассмотрим поле, создаваемое прецессирующим магнитным диполем. Закон движения вектора дипольного момента  $\vec{\mu}$  в декартовой системе координат  $(x, y, z)$  зададим в виде [1]:

$$\vec{\mu} = \mu(\sin \alpha \cos \omega t, \sin \alpha \sin \omega t, \cos \alpha), \quad (1)$$

где  $\mu$  – модуль и угловая скорость прецессии дипольного момента;  $\alpha$  – угол между вектором  $\vec{\mu}$  и осью прецессии. Из [2] легко получить векторы напряженности электрического поля в сферической системе координат:

$$\begin{aligned} r^3 E_r &= 0, \\ r^3 E_\theta &= \rho M^* \sin(\omega t' - \psi - \varphi), \\ r^3 E_\varphi &= -\rho M^* \cos \theta \cos(\omega t' - \psi - \varphi), \end{aligned} \quad (2)$$

где обозначено:

$$t' = t - \frac{r}{c}, \quad \rho = \frac{r\omega}{c}, \quad M^* = \mu\sqrt{1 + \rho^2} \sin \alpha, \quad \sin \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \rho^2}}, \quad \cos \psi = \frac{\rho}{\sqrt{1 + \rho^2}}, \quad (3)$$

$c$  – скорость света. Из формул (2) видно, что

$$\left( \frac{E_\theta}{E_{0\theta}} \right)^2 + \left( \frac{E_\varphi}{E_{0\varphi}} \right)^2 = 1, \quad (4)$$

где  $E_{0\theta} = \frac{\rho M^*}{r^3}$ ,  $E_{0\varphi} = \frac{\rho M^* \cos \theta}{r^3}$ . Таким образом, вектор  $\vec{E}$  описывает эллипс с полуосями  $E_{0\theta}$  и  $E_{0\varphi}$  в плоскости, ортогональной радиус-вектору. В направлении оси прецессии ( $\theta = 0$ ) магнитного момента эллипс вырождается в окружность, а в экваториальной плоскости ( $\theta = \frac{\pi}{2}$ ) вектор  $\vec{E}$  колеблется в меридиальной плоскости (параллельно оси  $z$ ).

Вектор напряженности магнитного поля имеет компоненты ( $\tau = \omega t' - \varphi$ ):

$$\begin{aligned} r^3 H_r &= 2\mu [\sin \alpha \sin \theta (\cos \tau - \rho \sin \tau) + \cos \theta \cos \alpha], \\ r^3 H_\theta &= -\mu [\cos \theta \sin \alpha (\cos \tau - \rho \sin \tau - \rho^2 \cos \tau) - \sin \theta \cos \alpha], \\ r^3 H_\varphi &= -\mu \sin \alpha (\sin \tau + \rho \cos \tau - \rho^2 \sin \tau). \end{aligned} \quad (5)$$

Из формул (5) следует, что магнитное поле, в отличие от электрического, имеет постоянные составляющие:

$$H_{rc} = \frac{2\mu}{r^3} \cos \theta \cos \alpha, \quad (6)$$

$$H_{\theta c} = -\frac{\mu}{r^3} \sin \theta \cos \alpha. \quad (7)$$

В случае если угол прецессии  $\alpha$  равен нулю, эти составляющие дают поле покоящегося магнитного диполя. При этом электрическое поле, естественно, обращается в ноль.

### ***Плотность потока энергии поля в окрестности прецессирующего диполя***

Исходя формул для компонент магнитного и электрического полей, можно дать характеристику величине и направлению переноса энергии электромагнитного поля, используя вектор Умова – Пойнтинга. Известно, что на больших расстояниях от источника – в данном случае на расстояниях  $\rho \gg 1$  – преобладает поле излучения, т.е. вектор Умова – Пойнтинга сонаправлен радиус-вектору  $\vec{r}$  и убывает как  $1/r^2$ . Если в формулах для  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  в предыдущем разделе устремить  $r \rightarrow \infty$ , то, действительно, получим поле электромагнитной волны:  $\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{n}$ . Таким образом, на больших расстояниях энергия переносится в радиальном направлении от диполя и представляет собой энергию электромагнитного излучения и изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния.

Процессы переноса энергии в ближней зоне гораздо сложнее и практически не исследованы. Важность этих процессов обусловлена тем, что если магнитосфера небесного тела заполнена поглощающим веществом, то поле передает веществу часть своего импульса, оказывая давление на вещество. Динамика атмосферы, окружающей вращающееся намагниченное тело, может существенно определяться силовыми линиями вектора Умова – Пойнтинга в ближней зоне. Построим картину силовых линий вектора Умова – Пойнтинга на любых расстояниях от центра поля.

Вектор плотности потока электромагнитной энергии, называемый вектором Умова – Пойнтинга, определяется формулой [3]:

$$\vec{P} = \frac{c}{4\pi} \vec{E} \times \vec{H}. \quad (8)$$

Найдем компоненты вектора Умова – Пойнтинга в сферической системе координат. Используя полученные формулы для векторов напряженности электрического (2), и магнитного (5), полей, получим:

$$P_r = P_0 \rho \{ \rho^3 \sin^2 \alpha (\sin^2 \tau + \cos^2 \theta \cos^2 \tau) - \rho^2 \sin^2 \alpha \sin 2\tau \sin^2 \theta + \\ + \rho \sin^2 \alpha \cos 2\tau \sin \theta + \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \sin 2\tau \sin^2 \theta + \frac{1}{4} \sin 2\alpha \sin 2\theta (\rho \cos \tau + \sin \tau) \}, \quad (9)$$

$$P_{\theta} = P_0 \rho \sin \alpha \cos \theta \left[ \sin \alpha \sin \theta \left( \frac{1}{2} \rho^2 \sin 2\tau - \rho \cos 2\tau - \frac{1}{2} \sin 2\tau \right) - \cos \alpha \cos \theta (\rho \cos \tau + \sin \tau) \right], \quad (10)$$

$$P_{\phi} = P_0 2\rho \sin \alpha \left[ \sin \alpha \sin \theta (\rho^2 \sin^2 \tau - \rho \sin 2\tau + \cos^2 \tau) - \cos \alpha \cos \theta (\rho \sin \tau - \cos \tau) \right], \quad (11)$$

где  $P_0 = \frac{\mu^2 c}{4\pi r^6}$ . Вблизи источника поля поток энергии ведет себя довольно сложным образом, так как в любой точке пространства вектор Умова – Пойнтинга представляет собой быстро осциллирующую функцию. Практический интерес представляет средний за период поток энергии. Поэтому, полученные результаты в формулах (9), (10), (11) усредним по времени. Тогда будем иметь стационарную картину для распределения потока энергии поля. После усреднения получим:

$$P_r = \frac{\mu^2 \omega^6}{8\pi c^5 \rho^2} \sin^2 \alpha (1 + \cos^2 \theta),$$

$$P_{\theta} = 0, \quad (12)$$

$$P_{\phi} = \frac{\mu^2 \omega^6}{4\pi c^5 \rho^5} \sin^2 \alpha \sin \theta (\rho^2 + 1).$$

Построим силовые линии вектора  $\vec{P}$ . Из того, что  $P_{\theta} = 0$  следует, что силовая линия, проходящая через любую точку пространства, лежит на поверхности конуса с вершиной в начале координат и включающего данную точку. Ось конуса направлена по оси  $oz$ . Построим проекцию силовой линии на плоскость  $xy$  (рис. 1). Запишем уравнение силовой линии в полярных координатах  $R$  и  $\phi$ , где  $R$  – расстояние от начала координат,  $\phi$  – угол, отсчитываемый от оси  $ox$ . Координата  $R$  является проекцией радиус-вектора на плоскость  $xy$ :  $R = r \sin \theta$ .

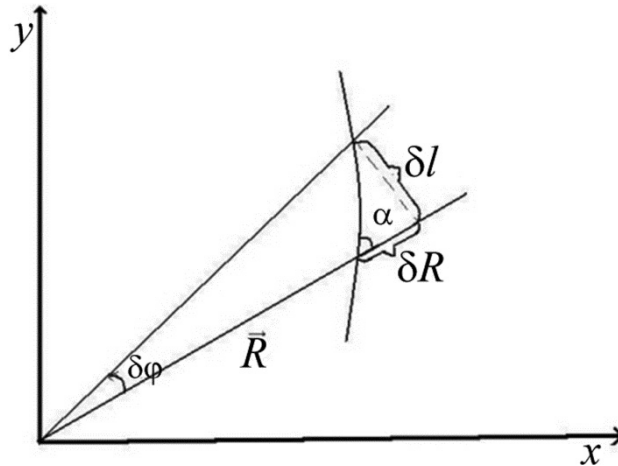


Рис. 1. Наклон силовых линий к радиус-вектору  $\vec{r}$

Из рис. 1 видно, что для угла  $\alpha$  справедливо соотношение:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta l}{\delta R} = \frac{R \delta \varphi}{\delta R}. \quad (13)$$

С другой стороны:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P_{\varphi xy}}{P_{r xy}}, \quad (14)$$

где  $P_{\varphi xy}$  и  $P_{r xy}$  – проекции компонент  $P_\varphi$  и  $P_r$  на плоскость  $xy$ .

Приравнявая (13) и (14) и используя систему (12), получаем дифференциальное уравнение силовой линии вектора  $\vec{P}$ :

$$\frac{d\varphi}{d\rho} = 2 \frac{1 + \rho^2}{\rho^4 (1 + \cos^2 \theta)}. \quad (15)$$

Решая дифференциальное уравнение (15) относительно угла  $\varphi$ , получим уравнение проекции силовой линии вектора Умова – Пойнтинга на плоскость  $xy$ :

$$\varphi = -\frac{2}{(1 + \cos^2 \theta)} \left( \frac{1}{\rho} + \frac{1}{3\rho^3} \right) + \varphi_0. \quad (16)$$

Здесь  $\varphi_0$  – постоянная интегрирования. Разным значения  $\varphi_0$  соответствуют разные силовые линии. Как видно из уравнения (16), при заданном угле  $\theta$  одна силовая линия отличается от другой только поворотом вокруг оси  $z$ .

Построим проекцию одной силовой линии на плоскость  $xy$  в координатах  $(\varphi, \rho)$ . Рассмотрим случаи разных углов  $\theta$ .

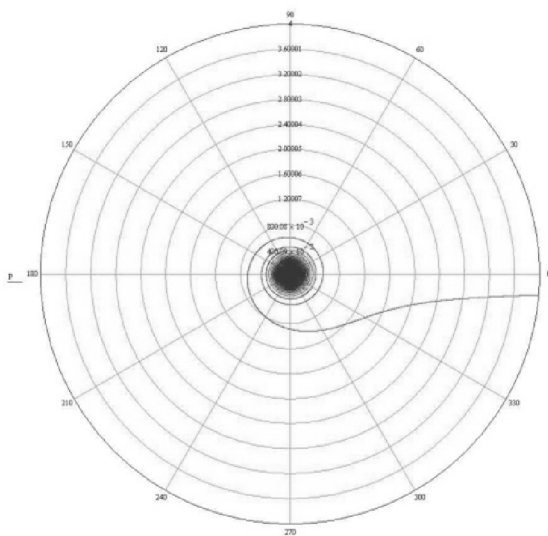


Рис. 2. Картина силовых линий при  $\theta = \frac{\pi}{2}$ ,  
 $\rho$  изменяется от 0 до 4

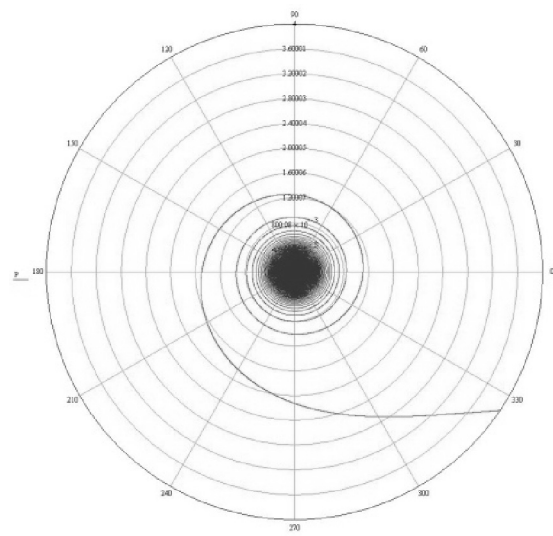


Рис. 3. Картина силовых линий при  $\theta = \frac{\pi}{6}$ ,  
 $\rho$  изменяется от 0 до 4

Из рис. 2–3 видно, что силовая линия вектора  $\vec{P}$  представляет собой спираль. В области малых  $\rho$  шаг спирали мал и силовая линия близка к окружности. С ростом  $\rho$  шаг спирали увеличивается и при  $\rho \gg 1$  силовая линия асимптотически приближается к лучу, исходящему из начала координат. Сравнивая графики для разных  $\theta$  нужно помнить, что они построены в координатах  $(\phi, \rho)$ , в то время как физически радиальной координатой является расстояние  $R$  от оси  $z$ .

$$\rho = \frac{\omega R}{c \sin \theta}. \quad (17)$$

Другими словами, графики построены с масштабным фактором  $\frac{\omega}{c} \sin \theta$ . Величина  $\rho$  является безразмерным расстоянием от начала координат вдоль образующей конуса, на который навивается силовая линия. Рассмотрим зависимость шага спирали от расстояния  $\rho$ . В области  $\rho \ll 1$  шаг спирали  $\lambda$  много меньше  $\rho$ , поэтому в формуле (4), которую мы теперь запишем в виде

$$d\phi = 2 \left( \frac{c}{\omega R} \right)^3 \frac{\sin \theta \left( \sin^2 \theta + \frac{\omega^2 R^2}{c^2} \right)}{1 + \cos^2 \theta} \frac{dR}{R}, \quad (18)$$

можно положить  $d\phi \approx 2\pi$ ,  $dR \approx \lambda$ . Тогда

$$\lambda = \pi R \left( \frac{\omega R}{c} \right)^3 \frac{1 + \cos^2 \theta}{\sin \theta \left( \sin^2 \theta + \frac{\omega^2 R^2}{c^2} \right)}. \quad (19)$$

Отсюда видно, что при  $R \ll \frac{c}{\omega}$  шаг спирали растет как  $R^4$ . С уменьшением угла  $\theta$  шаг спирали так же растет и при  $\theta \rightarrow 0$  он стремится к бесконечности – спираль вырождается в прямую, совпадающую с осью  $z$ . Это следует так же из формул (12), которые для  $\theta = 0$  составляют только радиальную компоненту вектора Умова – Пойтинга:  $P_r = \frac{\mu \sin^2 \alpha}{\rho^2}$ ,  $P_\theta = 0$ ,  $P_\phi = 0$ .

Таким образом, в работе дана характеристика величины и направления переноса энергии электромагнитного поля, используя вектор Умова – Пойтинга. Показано, что в ближней зоне вектор Умова – Пойтинга имеет не только радиальную, но и существенную азимутальную составляющую. Получена стационарная картина для распределения потока энергии поля.

Проведенные исследования могут быть использованы при анализе магнитосферы и динамики атмосферы небесных тел, обладающих магнитным моментом, несовпадающим с осью вращения.

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. Я. Епп.*



### Литература

1. Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sand, M. The Feynman Lectures on Physics / R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sand. Addison-Wesley, 1964. Vol. 2.
2. Michel, F. C. Theory of Neutron Star Magnetospheres / F. C. Michel. London : Chicago Press, 1991. P. 287.
3. Ландау, Л. Д. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М. : Наука, 1988.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ПОЛЕ ПРЕЦЕССИРУЮЩЕГО МАГНИТНОГО ДИПОЛЬНОГО МОМЕНТА**

М. А. Мастерова

*Томский государственный педагогический университет*

### **Введение**

Поле магнитного дипольного момента и движение заряженных частиц в этом поле имеет большое практическое значение в астрофизике. Магнитные поля планет и звезд в хорошем приближении можно считать дипольными. Хорошо исследован стационарный случай, когда магнитный момент небесного тела совпадает с осью вращения. В частности довольно подробно исследовано движение заряженных частиц в поле Земли. Решение уравнений движения в магнитном поле покоящегося диполя дает замкнутые области, в которых могут двигаться заряженные частицы определенного диапазона энергий. Для планет эти области называются радиационными поясами [1].

Также известны тела, у которых направление магнитного момента отличается от направления оси вращения. В этом случае вокруг тела присутствует не только электрическое, но и магнитное поле. Примером таких тел могут служить нейтронные звезды, и в частности пульсары. Поля таких тел хорошо аппроксимируются полем прецессирующего магнитного дипольного момента [2].

Цель настоящей работы получить и исследовать уравнения движения заряженной частицы в поле прецессирующего магнитного дипольного момента.

Рассмотрим одно из допустимых выражений для векторного и скалярного потенциала [3]:

$$\vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad} V, \quad (1)$$

и формулу для вектора напряженности электромагнитного поля:

$$\vec{E} = \frac{[\vec{n}\ddot{\vec{m}}]}{r^2 c} + \frac{[\vec{n}\ddot{\vec{m}}]}{rc^2}. \quad (2)$$

Получим одно из допустимых выражений для потенциалов:

$$\vec{A} = \frac{[\vec{n}\vec{m}]}{r^2} + \frac{[\vec{n}\dot{\vec{m}}]}{rc}, \quad V = 0. \quad (3)$$

Используя формулы для  $\vec{n}$ ,  $\vec{m}$  и  $\dot{\vec{m}}$  найдем компоненты  $\vec{A}$  в сферической системе координат:

$$A_r = 0,$$

$$A_\theta = -\frac{\mu}{r^2} \sin \alpha \sin(\varphi - \omega t') + \frac{\omega \mu}{rc} \sin \alpha \cos(\varphi - \omega t'), \quad (4)$$

$$A_\varphi = -\frac{\mu}{r^2} (\cos \alpha \sin \theta - \sin \alpha \cos \theta \cos(\varphi - \omega t')) - \frac{\omega \mu}{rc} \sin \alpha \sin(\varphi - \omega t').$$

Тогда Лагранжиан для заряженной частицы в поле прецессирующего магнитного дипольного момента:

$$\begin{aligned} L = & -mc^2 \sqrt{1 - \frac{\dot{r}^2 + \dot{\theta}^2 r^2 + \dot{\phi}^2 r^2 \sin^2 \theta}{c^2}} + \\ & + \frac{e}{c} \left\{ -\frac{\mu \sin \alpha}{r} \sin(\varphi - \omega t') \dot{\theta} + \frac{\mu \omega \sin \alpha}{c} \cos(\varphi - \omega t') \dot{\theta} + \right. \\ & + \frac{\mu}{r} (\sin \theta \cos \alpha - \cos(\varphi - \omega t') \cos \theta \sin \alpha) \dot{\phi} \sin \theta - \\ & \left. - \frac{\mu \omega \sin \alpha}{c} \sin(\varphi - \omega t') \cos \theta \sin \theta \dot{\phi} \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Получим релятивистские уравнения движения заряженной частицы в поле прецессирующего магнитного дипольного момента:

$$\begin{aligned} & \frac{m(\dot{\theta}^2 r + \dot{\phi}^2 r \sin^2 \theta)}{\sqrt{1 - \beta^2}} + \frac{e\mu \sin \alpha}{cr^2} \left\{ 2\dot{\theta}(\sin(\varphi - \omega t') - \rho \cos(\varphi - \omega t') - \rho^2 \sin(\varphi - \omega t')) + \right. \\ & \left. + \sin 2\theta \dot{\phi}(\cos(\varphi - \omega t') + \rho \sin(\varphi - \omega t') - \rho^2 \sin(\varphi - \omega t')) \right\} - \\ & - \frac{e\mu \sin \alpha \cos \alpha \sin^2 \theta \dot{\phi}}{cr^2} + \frac{m}{(1 - \beta^2)^{\frac{3}{2}}} \left\{ \frac{\ddot{r}}{c^2} (c^2 - r^2 \dot{\theta}^2 - r^2 \dot{\phi}^2 \sin^2 \theta) + \right. \\ & \left. + \frac{r\dot{r}}{c^2} (\dot{r}\dot{\theta}^2 + r\dot{\theta}\ddot{\theta} + \dot{\phi} \sin^2 \theta (\dot{r}\dot{\phi} + r\ddot{\phi}) + \frac{1}{2} r\dot{\phi}^2 \dot{\theta} \sin 2\theta) \right\} = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{m\dot{\phi}^2 r^2 \cos \theta \sin \theta}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{e\mu}{cr} \sin \alpha \cos 2\theta \dot{\phi} \{ \cos(\varphi - \omega t') + \rho \sin(\varphi - \omega t') \} + \\
& + \frac{e\mu \dot{\phi} \cos \alpha \sin 2\theta}{cr} - \frac{m}{(1-\beta^2)^{\frac{3}{2}}} \left\{ 2r\dot{r}\dot{\theta} + r^2\ddot{\theta} - \frac{r\dot{r}\dot{\theta}}{c^2} (2\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2 + r^2\dot{\phi}^2 \sin^2 \theta) - \right. \\
& \left. - \frac{r^2\ddot{\theta}}{c^2} (\dot{r}^2 + r^2\dot{\phi}^2 \sin^2 \theta) + \frac{r^2\dot{\theta}}{c^2} (\dot{r}\ddot{r} + r^2\dot{\phi}\ddot{\phi} \sin^2 \theta + \frac{1}{2} r^2\dot{\phi}^2 \dot{\theta} \sin 2\theta) \right\} - \\
& - \frac{e\mu \sin \alpha}{c} \left\{ \frac{\dot{r} \sin(\varphi - \omega t)}{r^2} - \frac{1}{r} \cos(\varphi - \omega t') (\dot{\phi} - \omega + \frac{\omega \dot{r}}{c}) - \frac{\omega}{c} \sin(\varphi - \omega t') (\dot{\phi} - \omega + \frac{\omega \dot{r}}{c}) \right\} = 0, \\
& \frac{e\mu \sin \alpha}{cr} \left\{ -\dot{\theta} (\cos(\varphi - \omega t') + \rho \sin(\varphi - \omega t')) + \frac{\sin 2\theta \dot{\phi}}{2} (\sin(\varphi - \omega t') - \rho \sin(\varphi - \omega t')) \right\} - \\
& - \frac{m}{(1-\beta^2)^{\frac{3}{2}}} \left\{ \sin^2 \theta (2r\dot{r}\dot{\phi} + r^2\ddot{\phi}) + r^2\dot{\phi}\dot{\theta} \sin 2\theta - \frac{r \sin^2 \theta}{c^2} \left\{ \dot{r}\dot{\phi} (2\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2 + r^2\dot{\phi}^2 \sin^2 \theta) - \right. \right. \\
& \left. \left. - r\ddot{\phi} (\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2) + r\dot{\phi} (\dot{r}\ddot{r} + r^2\dot{\theta}\ddot{\theta} + \frac{1}{2} r^2\dot{\phi}^2 \dot{\theta} \sin 2\theta) \right\} - \frac{r^2\dot{\phi}\dot{\theta}}{c^2} \sin 2\theta (\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2 + r^2\dot{\phi}^2 \sin^2 \theta) \right\} - \\
& - \frac{\mu e \sin \alpha}{r^2} \left\{ \frac{\rho \dot{\theta} \cos 2\theta}{\omega} (-\rho \sin(\varphi - \omega t') - \cos(\varphi - \omega t')) + \frac{\dot{r} \sin 2\theta}{2c} (\cos(\varphi - \omega t') + \right. \\
& \left. + \rho \sin(\varphi - \omega t')) + \frac{\sin 2\theta}{2} [\rho (1 - \frac{\dot{\phi}}{\omega}) \sin(\varphi - \omega t') + \rho^2 (1 - \frac{\dot{r}}{c} - \frac{\dot{\phi}}{\omega}) \cos(\varphi - \omega t')] \right\} - \\
& - \frac{\mu e \cos \alpha}{cr^2} (\dot{\theta} r \sin 2\theta - \dot{r} \sin^2 \theta) = 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Симметрия рассматриваемой системы относительно плоскости  $z = 0$  позволяет предположить, что возможны траектории движения, лежащие в этой плоскости. Проверим, является ли решением уравнений  $r = R = \text{const}$ ,  $\theta = \frac{\pi}{2}$ . Из уравнений движений получим:

$$\frac{mR^3\dot{\phi}}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{e\mu \cos \alpha}{c}, \tag{9}$$

$$(2\dot{\phi} - \omega)(\cos(\varphi - \omega t') - \rho \sin(\varphi - \omega t')) = 0, \tag{10}$$

$$\frac{m\dot{\phi}r^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = 0. \tag{11}$$

Из (11) следует, что  $\dot{\phi} = \text{const}$ . Таким образом, частица может двигаться по окружности с постоянной скоростью. Обозначим  $\varphi = \Omega t + \varphi_0$ . Из (10) получаем условия на  $\Omega$ . Их два:

1.  $\cos \tau - \rho \sin \tau = 0$ , где  $\tau = \varphi - \Omega t' = t(\Omega - \omega) - \varphi_0$ . Отсюда  $\rho = ctg \tau$ . Это возможно, если  $\tau$  не зависит от времени, т.е.  $\Omega = \omega$ .

2.  $\Omega = \frac{1}{2}\omega$ .

Проверим найденные решения на устойчивость. Разложим в окрестности полученных решений с точностью до первого порядка малости по приращениям координат. Положим:

$$\theta = \frac{\pi}{2} + \delta\theta, \quad \varphi = \Omega t + \delta\varphi, \quad r = R + \delta r.$$

Рассмотрим окрестность первого равновесного решения. Из уравнений движения получим систему дифференциальных уравнения описывающих движение частицы в окрестности окружности с частотой  $\Omega = \omega$ :

$$\begin{aligned} \delta\ddot{\varphi} + \frac{\delta\dot{r}\omega}{R} - \varepsilon\omega^2 tg\alpha \delta\theta &= 0, \\ \delta\ddot{\theta} - \varepsilon \frac{\delta\dot{r}\omega tg\alpha}{R} + 3\omega^2 \delta\theta - \varepsilon\omega^2 tg\alpha \delta\varphi &= 0, \\ \delta\ddot{r} - 3\delta r\omega^2 - \omega R \delta\dot{\varphi} + \varepsilon\omega R tg\alpha \delta\dot{\theta} &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\varepsilon = \pm 1$ .

Из анализа характеристического уравнения системы (14) делаем вывод, что тривиальное решение является не устойчивым.

Рассмотрим Лагранжиан (5). Введем следующие обозначение:

$$\psi = \varphi - \omega t' = \varphi - \omega(t - \frac{r}{c}) = \varphi - \omega t + \rho. \quad (13)$$

Тогда Гамильтониан системы не зависит от времени:

$$\begin{aligned} H = \frac{m}{2}(\dot{r}^2 + r^2 \sin^2 \theta \dot{\psi}^2 + r^2 \dot{\theta}^2) - \frac{\omega^2 r^2 \sin^2 \theta m}{2} + \\ + \frac{e\mu \sin \alpha \omega^2}{c^2} \sin(\psi + \rho) \cos \theta \sin \theta - \\ - \frac{e\mu \omega \sin \theta}{rc} (\sin \theta \cos \alpha - \cos(\psi + \rho) \sin \alpha \cos \theta) \end{aligned} \quad (14)$$

и является интегралом движения.

Так как  $H = K + V_{eff}$ , где  $K = \frac{m}{2}(\dot{r}^2 + r^2 \sin^2 \theta \dot{\psi}^2 + r^2 \dot{\theta}^2)$  – играет роль кинетической энергии, эффективный потенциал можно записать в виде:

$$V_{eff} = \frac{mc^2}{2} \left\{ -\rho^2 \sin^2 \theta + \frac{e\mu \sin \alpha \omega^2 \sin 2\theta}{mc^2 \rho} (\cos(\psi + \rho) + \rho \sin(\psi + \rho)) - \frac{2e\mu \omega^2 \cos \alpha \sin^2 \theta}{mc^2 \rho} \right\} = \text{const.} \quad (15)$$

Налагая различные условия на значения этой функции, мы можем определить допустимую область движения частицы. Необходимо учитывать, что такая область может содержать внутри себя и другие запрещенные области. Рассмотрим случай  $\rho \ll 1$ . Тогда из (17) имеем:

$$\rho = \frac{\sin \alpha \sin 2\theta \cos(\psi)}{2h} - \frac{2 \cos \alpha \sin^2 \theta}{h}, \quad (16)$$

где  $h = \text{const}$ ,  $e\mu\omega^2 = 1$ . Картина распределения зависимости  $\rho$  от  $\theta$  и  $\psi$  будет различна в зависимости от значения угла между магнитным моментом и осью вращения диполя:

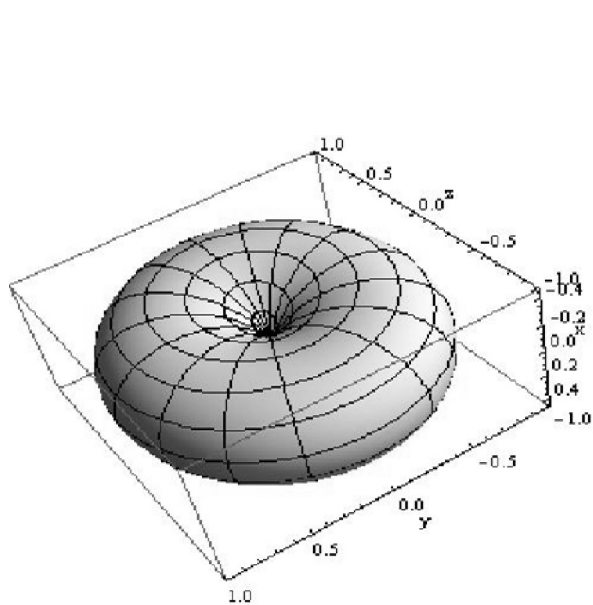


Рис. 1. При  $\alpha = 15^\circ$

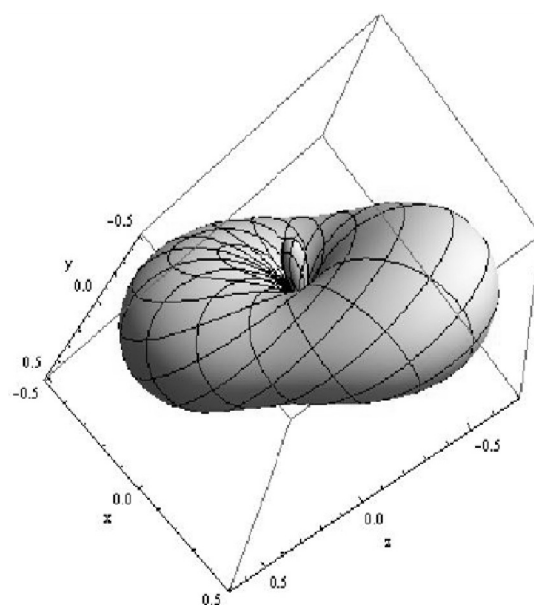


Рис. 2. При  $\alpha = 60^\circ$

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. Я. Епп.*

### Литература

1. Holmes-Siedle, A. G., Adams, L. Handbook of Radiotoins Effects / A.G. Holmes-Siedle, L. Adams. Oxford University Press, England, 2002.
2. Michel, F. C. Theory of Neutron Star Magnetospheres / F.C. Michel. London : Chikago Press, 1991. P. 287.
3. Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. М. : Наука, 1988.

# **N = 2 СУПЕРЧАСТИЦА ВБЛИЗИ ГОРИЗОНТА СОБЫТИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ КЕРРА – НЬЮМАНА – AdS – dS**

К. А. Орехов

*Томский государственный университет*

К настоящему моменту было проведено исследование большого количества решений уравнений Эйнштейна – Максвелла в четырех и пяти измерениях, описывающих экстремальные черные дыры (когда внешний и внутренний горизонты событий совпадают). Для широкого класса подобных решений характерна  $SO(2,1)$ -симметрия вблизи горизонта событий; наиболее интересным случаем является черная дыра Керра, допускающая группу симметрий  $SO(2,1) \times U(1)$  вблизи горизонта.

Исследование подобных моделей представляет интерес по нескольким причинам. Во-первых, как было показано в [1], можно расширить группу  $SO(2,1) \times U(1)$  до группы Вирасоро асимптотических симметрий при изучении Kerr/CFT соответствия.

Во-вторых, группа  $SO(2,1)$  является группой конформных преобразований в одномерном случае, а потому модели пробных частиц, движущихся вблизи горизонта событий, будут конформно-инвариантными.

Наконец, в-третьих,  $SO(2,1)$  является бозонной подгруппой супергруппы  $SU(1,1|1)$ , что позволяет построить  $N = 2$  суперсимметричное обобщение модели частицы вблизи горизонта событий. Наличие суперзарядов, связанных с генераторами  $SU(1,1|1)$  позволяет предположить, что их можно связать со спинорами Киллинга для черной дыры Керра – Ньюмана – AdS – dS [2, 3].

В данной работе проведен анализ динамики пробной частицы вблизи горизонта черной дыры Керра – Ньюмана – AdS – dS. Построено  $N = 2$  суперсимметричное расширение этой модели и найден полный набор ее интегралов движения. Показано, как связаны между собой векторы и тензор Киллинга и интегралы движения, а также установлена приводимость тензора Киллинга вблизи горизонта событий.

## ***Решение Керра – Ньюмана – AdS – dS и его свойства***

Экстремальная черная дыра Керра – Ньюмана – AdS – dS является решением уравнений Эйнштейна – Максвелла с ненулевой космологической постоянной, имеющим вид [4]:

$$ds^2 = \Gamma(\theta)(r^2 dt^2 - \frac{dr^2}{r^2} - \alpha(\theta)d\theta^2) - \gamma(\theta)(d\phi + k r dt)^2, \quad A = f(\theta)(d\phi + k r dt), \quad (1)$$

где

$$\rho^2 = R^2 + a^2 \cos^2 \theta, \quad \Xi = 1 - \frac{a^2}{l^2}, \quad \Delta_\theta = 1 - \frac{a^2}{l^2} \cos^2 \theta, \quad k = \frac{2aR\Xi r_0^2}{(R^2 + a^2)^2},$$

$$\Gamma = \frac{\rho^2 r_0^2}{R^2 + a^2}, \alpha = \frac{R^2 + a^2}{\Delta_\theta r_0^2}, \gamma = \frac{\Delta_\theta (R^2 + a^2)^2 \sin^2 \theta}{\rho^2 \Xi^2}, a^2 = \frac{R^2(1 + 3\frac{R^2}{l^2}) - q^2}{1 - R^2/l^2},$$

$$r_0^2 = \frac{(R^2 + a^2)(1 - \frac{R^2}{l^2})}{1 + 6R^2/l^2 - 3R^4/l^4 - q^2/l^2}, f = \frac{(R^2 + a^2)(q_e(R^2 - a^2 \cos^2 \theta) + 2q_m a R \cos \theta)}{2\rho^2 \Xi a R}.$$

Здесь  $r = R$  – поверхность горизонта событий;  $q_e$  и  $q_m$  – электрический и магнитный заряды черной дыры;  $q^2 = q_e^2 + q_m^2$ , а величина  $l$  связана с космологической постоянной соотношением  $\Lambda = -3/l^2$ .

Метрика и электромагнитное поле (1) допускают следующие симметрии:

- трансляция времени:  $\delta t = a$ ;
- вращение вокруг оси  $z$ :  $\delta \phi = \varepsilon$ ;
- дилатация:  $\delta t = \mu t$ ,  $\delta r = -\mu r$ ,

а также специальное конформное преобразование:

$$\delta t = (t^2 + \frac{1}{r^2})\lambda, \delta r = -2tr\lambda, \delta \phi = -\frac{2k}{r}\lambda,$$

которые вместе образуют группу  $SO(2,1) \times U(1)$ . Им отвечают векторы Киллинга

$$H = \partial_t, P = \partial_\phi, D = t\partial_t - r\partial_r,$$

$$K = (\frac{1}{r^2} + t^2)\partial_t - 2tr\partial_r - \frac{2k}{r}\partial_\phi. \quad (2)$$

Можно убедиться, что они образуют алгебру  $so(2,1) \oplus u(1)$ .

Кроме того, метрика (1) допускает тензор Киллинга – симметричный тензор 2-го ранга, удовлетворяющий уравнению  $\nabla_{(i} L_{jk)} = 0$ . Он равен

$$L = \Gamma(\theta)^2 (r^2 dt^2 - \frac{dr^2}{r^2}). \quad (3)$$

### Конформная механика

Действие для частицы имеет вид:

$$S = -e \int dt f(\theta)(kr + \dot{\phi}) - m \int dt \sqrt{\Gamma r^2 - \frac{\Gamma}{r^2} \dot{r}^2 - \Gamma \alpha \dot{\theta}^2 - \gamma(\dot{\phi} + kr)^2}, \quad (4)$$

а функция Гамильтона, соответственно, равна:

$$H = r \left( \sqrt{m^2 \Gamma + (rp_r)^2 + \frac{p_\theta^2}{\alpha} + \frac{\Gamma}{\gamma} (p_\phi + ef)^2} - kp_\phi \right), \quad (5)$$

где  $(p_r, p_\theta, p_\phi)$  – импульсы, канонически сопряженные переменным  $(r, \theta, \phi)$ .

Вектор Киллинга  $\xi$  и тензор Киллинга  $K$  задают интегралы движения

$$I = \xi^i (mg_{ij} \frac{dx^j}{ds} + eA_i), \quad (6)$$

$$L = K_{ij} \frac{dx^i}{ds} \frac{dx^j}{ds}. \quad (7)$$

Согласно (6) можно построить следующие сохраняющиеся величины:

$$K = \frac{1}{r} (\sqrt{m^2 \Gamma + (rp_r)^2 + p_\theta^2 / \alpha + \Gamma (p_\phi + ef)^2 / \gamma} + kp_\phi) + t^2 H + 2trp_r, \quad (8)$$

$$D = tH + rp_r, \quad P = p_\phi, \quad H,$$

которые соответствуют векторам из (2), где  $H$  определяется формулой (5). Относительно скобки Пуассона они, как и должно быть, образуют алгебру  $so(2,1) \oplus u(1)$  (скобка Пуассона  $P$  со всеми остальными величинами есть ноль):

$$\{H, D\} = H; \quad \{H, K\} = 2D; \quad \{D, K\} = K. \quad (9)$$

Тензор Киллинга (3) дает интеграл движения:

$$L = m^2 \Gamma + p_\theta^2 / \alpha + \Gamma (p_\phi + ef)^2 / \gamma. \quad (10)$$

Однако вычисляя оператор Казимира  $C$  алгебры  $so(2,1)$ , видим, что этот интеграл движения не является независимым, а именно:

$$C = HK - D^2 = L - k^2 P^2. \quad (11)$$

Выражая отсюда  $L$  и переходя от импульсов обратно к скоростям, можно найти, что:

$$L_{ij} = \frac{1}{2} H_{(i} K_{j)} - D_i D_j + k^2 P_i P_j. \quad (12)$$

Подставляя сюда векторы Киллинга из (2), снова получаем (3). Отсюда следует, что тензор Киллинга является приводимым, т.е. выражается через векторы Киллинга (см. [5]).



## *$N = 2$ суперконформная механика*

Теперь необходимо построить  $N = 2$  суперсимметричное расширение механики частицы, рассмотренной выше [6]. Это построение возможно провести, используя тот факт, что  $so(2,1) \oplus u(1)$  является бозонной подалгеброй алгебры  $su(1,1|1)$ . Генераторами этой алгебры, кроме  $H$ ,  $K$ ,  $D$  и  $P$  являются также генераторы суперсимметрии  $Q, \bar{Q}$ , суперконформные генераторы  $S, \bar{S}$  и  $u(1)$ -генератор  $R$ -симметрии  $J$ . Их структурные соотношения (здесь и далее черта обозначает комплексное сопряжение):

$$\begin{aligned} \{Q, \bar{Q}\} &= -2iH; \quad \{K, Q\} = S; \quad \{Q, \bar{S}\} = 2i(D + iJ); \quad \{D, Q\} = -\frac{Q}{2}; \\ \{H, S\} &= -Q; \quad \{D, S\} = \frac{S}{2}; \quad \{S, \bar{S}\} = -2iK; \quad \{J, Q\} = -\frac{i}{2}S; \\ \{H, D\} &= H; \quad \{H, K\} = 2D; \quad \{D, K\} = K; \end{aligned} \quad (13)$$

Для фермионных степеней свободы  $\psi, \bar{\psi}$  имеет место каноническое коммутационное соотношение  $\{\psi, \bar{\psi}\} = -i$ .

Наиболее общая формула генераторов суперсимметрии – это  $Q = a e^{ib} \psi$ ,  $\bar{Q} = a e^{-ib} \bar{\psi}$  ( $a$  и  $b$  – вещественные числа). Тогда

$$H = \frac{a^2}{2} + \left\{ \frac{a^2}{2}, b \right\} \psi \bar{\psi}, \quad (14)$$

и так как  $H|_{\psi=\bar{\psi}=0}$  должен быть бозонным гамильтонианом, находим, что  $\frac{a^2}{2} \equiv H_B$  есть гамильтониан (5).

Генераторы  $D$  и  $K$  достаточно взять в виде (8), где нужно заменить  $H$  на выражение (14). Обозначая  $\kappa = \frac{1}{r} \left( \sqrt{m^2 \Gamma + (rp_r)^2 + \frac{p_\theta^2}{\alpha} + \frac{\Gamma}{\gamma} (p_\varphi + ef)^2} + kp_\varphi \right)$ , из структурных соотношений (14) имеем следующие уравнения на  $b$ :

$$\{rp_r, b\} = 0; \quad \{H_B, \{\kappa, b\}\} = 0; \quad \{\kappa, b\} = \frac{\sqrt{C}}{H_B}, \quad (15)$$

где  $C$  – оператор Казимира (13). Из (15) находим, что общее решение есть:

$$b = -\arctan \frac{rp_r}{\sqrt{C}} + b_{\text{hom}}, \quad (16)$$

где  $b_{\text{hom}}$  – произвольное решение однородного уравнения  $\{\kappa, b\} = 0$ , причем  $b_{\text{hom}} = b_{\text{hom}}(x(\varphi), \theta(\varphi), p_\theta(\varphi))$  ( $x \equiv rp_r$ ), а так как переменная  $\varphi$  являлась циклической,

ской в бозонном случае, то требование сохранения импульса  $p_\phi$  в суперсимметричной модели влечет за собой  $b_{\text{hom}} = 0$ .

Зная  $b$ , теперь можно найти все суперзаряды:

$$\begin{aligned} H &= H_B - \frac{\sqrt{C}}{\kappa} \psi \bar{\psi}; \quad D = tH + rp_r; \quad K = \kappa + t^2 H + 2trp_r; \\ Q &= -i \frac{rp_r + i\sqrt{C}}{\sqrt{\kappa/2}}; \quad S = -tQ + \frac{i}{\sqrt{2\kappa}} \psi; \quad J = \frac{1}{2} \psi \bar{\psi} + \sqrt{C}. \end{aligned} \quad (17)$$

Заметим, что второе слагаемое в гамильтониане соответствует взаимодействию бозонных и фермионных степеней свободы.

Полученный результат замечателен тем, что он был получен исключительно из теоретико-групповых соображений, кроме того, те же соображения влекут за собой единственность решения, так как с их помощью была устранена неоднозначность в (17). По построению, импульс  $p_\phi$  сохраняется, а значит, генератор  $U(1)$ -симметрии  $P$  коммутирует со всеми генераторами  $SU(1,1|1)$ -симметрии, и следовательно, полная группа симметрий полученной  $N = 2$  суперконформной модели есть  $SU(1,1|1) \times U(1)$ .

### Заключение

В первой части данной работы было проведено исследование динамики пробной частицы вблизи горизонта событий экстремальной черной дыры Керра – Ньюмана – AdS – dS и показана ее связь с конформной механикой. Помимо этого был построен тензор Киллинга, и было доказано, что он является приводимым.

Во второй части, исходя из теоретико-групповых соображений, было построено  $N = 2$  суперсимметричное расширение этой модели и доказана его единственность.

Что касается возможных обобщений, то прежде всего требуется указать связь между суперзарядами и спинорами Киллинга, характеризующими геометрию пространства вблизи горизонта событий черной дыры. Кроме того, насущным является вопрос о построении лагранжевой формулировки рассмотренной динамики в суперсимметричном случае. Помимо этого, интересной является задача о построении канонического преобразования от полученной модели к стандартной конформной механике.

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор А.В. Галажинский.*

### Литература

1. Guica, M., Hartman, T., Song, W., Strominger, A. The Kerr/CFT Correspondence / M. Guica, T. Hartman, W. Song, A. Strominger // Phys. Rev. D. 2009. Vol. 80, № 124008.
2. Kostelecky, V.A., Perry, M.J. Solitonic black holes in gauged  $N = 2$  supergravity / V.A. Kostelecky, M.J. Perry // Phys. Lett. B. 1996. Vol. 371. P. 191–198.
3. Caldarelli, M.M., Klemm, D. Supersymmetry of anti-de Sitter black holes / M.M. Caldarelli, D. Klemm // Nucl. Phys. B. 1999. Vol. 545. P. 434–460.

4. Hartman, T., Murata, K., Nishioka, T., Strominger, A. CFT duals for extreme black holes / T. Hartman, K. Murata, T. Nishioka, A. Strominger // JHEP. 2009. Vol. 4, № 19.
5. Walker, M., Penrose, R. On quadratic first integrals of the geodesic equations for the type  $\{2, 2\}$  spacetimes / M. Walker, R. Penrose // Comm. Math. Phys. 1970. Vol. 18. P. 256–274.
6. Galajinsky, A., Orekhov, K.  $N = 2$  superparticle near horizon of extreme Kerr – Newman – AdS – dS black hole / A. Galajinsky, K. Orekhov. Access mode: <http://arxiv.org/abs/1103.1047>

## ПОСТРОЕНИЕ ЛАГРАНЖИАНОВ ДЛЯ АНТИСИММЕТРИЧНЫХ МАССИВНЫХ БОЗОННЫХ ПОЛЕЙ В ИСКРИВЛЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ПОМОЩЬЮ БРСТ-ПОДХОДА

Л. Л. Рыскина

*Томский государственный педагогический университет*

В данной статье мы применяем БРСТ-подход, который изначально развивался для теории полей высших спинов, для построения калибровочно-инвариантного лагранжиана антисимметричных массивных полей в произвольном  $d$ -мерном искривленном пространстве. Полученная теория является приводимой калибровочной моделью значение приводимости которой растет со значением ранга антисимметричного поля. Лагранжиан содержит большой набор вспомогательных полей и обладает большей калибровочной симметрией по сравнению со стандартной лагранжевой формулировкой для антисимметричных полей.

### *Введение*

Известно, что антисимметричное бозонное поле  $\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p}$  ранга  $p$  реализует неприводимое представление группы Пуанкаре (в пространстве – времени Минковского), если выполняются следующие уравнения

$$(\partial^2 - m^2)\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p} = 0, \quad \partial^{\mu_1}\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p} = 0. \quad (1)$$

Рассматривая произвольное искривленное пространство – время, мы предполагаем, что условия на  $\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p}$ , которые должны быть удовлетворены, обращаются в уравнения (1) в плоском пределе. Из этого следует, что уравнения на  $\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p}$  в искривленном пространстве – времени имеют вид

$$(\nabla^2 - m^2)\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p} + \text{члены с кривизной} = 0, \quad \nabla^{\mu_1}\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p} = 0. \quad (2)$$

Далее будет показано, что «члены с кривизной» в процессе построения лагранжиана определяться однозначно.

Статья организована следующим образом: в 1-м разделе мы развиваем БРСТ-подход для массивных антисимметричных бозонных полей; 2-й раздел посвящен обсуждению результатов.

## Построение лагранжианов для массивных полей

Во избежание явных манипуляций с большим количеством индексов, удобно ввести пространство Фока с фермионными операторами рождения и уничтожения с индексами в касательном пространстве

$$\{a_a, a_b^+\} = \eta_{ab}, \quad \eta_{ab} = \text{diag}(-, +, +, \dots, +). \quad (3)$$

Касательные и мировые индексы преобразуются друг в друга с помощью тетрады  $e_\mu^a$ , при этом предполагается, что она удовлетворяет соотношению  $\nabla_\mu e_\nu^a = 0$ . Введем оператор производной

$$D_\mu = \partial_\mu + \omega_\mu^{ab} a_a^+ a_b, \quad D_\mu |0\rangle = \partial_\mu |0\rangle = 0, \quad (4)$$

который действует на произвольный вектор состояния в пространстве Фока  $|\varphi\rangle$  как оператор ковариантной производной

$$D_\mu |\varphi\rangle = \sum_{p=0} (\nabla_\mu \varphi_{\mu_1 \dots \mu_p}) a^{\mu_1+} \dots a^{\mu_p+} |0\rangle. \quad (5)$$

Далее необходимо реализовать уравнения (2) (с  $m = 0$ ) как операторные связи в пространстве Фока. Для этой цели, определим операторы следующим образом

$$l_0 = D^2 + X, \quad l_1 = -ia^\mu D_\mu, \quad (6)$$

где  $D^2 = g^{\mu\nu} (D_\mu D_\nu - \Gamma_{\mu\nu}^\sigma D_\sigma)$  и оператор  $X$  соответствует «членам с кривизной» в первом уравнении (2). Тогда действие этих операторов на произвольный вектор состояния в пространстве Фока  $|\varphi\rangle$  определяется соотношениями:  $l_0 |\varphi\rangle = 0$ ,  $l_1 |\varphi\rangle = 0$  эквивалентны соответствующим уравнениям (2).

Для построения лагранжиана в терминах БРСТ-подхода необходимо выполнение двух условий: 1) иметь набор операторов инвариантных относительно эрмитового сопряжения, 2) которые образуют алгебру.

Принимая стандартное скалярное произведение в пространстве Фока мы предположим, что оператор  $X$ , а следовательно и  $l_0$  эрмитов относительно этого скалярного произведения. Оператор, сопряженный к  $l_1$ , обозначим  $l_1^+$ :

$$l_1^+ = -ia^{\mu+} D_\mu. \quad (7)$$

Таким образом, мы имеем набор операторов  $l_0$ ,  $l_1$ ,  $l_1^+$ , инвариантный относительно эрмитового сопряжения. Теперь, мы должны реализовать второе требование: следует получить набор операторов, который образует алгебру. С этой целью, мы находим все (анти)коммутаторы генерируемые операторами

$l_0, l_1, l_1^+$ . Поскольку оператор  $l_0$  еще не определен, необходимо вычислить антикоммутатор  $\{l_1, l_1^+\}$ . Имеем

$$\{l_1, l_1^+\} = -D^2 - R_{\mu\nu\alpha\beta} a^{+\mu} a^\nu a^{+\alpha} a^\beta, \quad (8)$$

где  $R_{\beta\mu\nu}^\alpha = \partial_\mu \Gamma_{\nu\beta}^\alpha - \partial_\nu \Gamma_{\mu\beta}^\alpha + \Gamma_{\mu\rho}^\alpha \Gamma_{\nu\beta}^\rho - \Gamma_{\nu\rho}^\alpha \Gamma_{\mu\beta}^\rho$ . Так как правая часть (8) содержит оператор  $D^2$ , который присутствует в операторе  $l_0$ , перепишем (8) следующим образом

$$\{l_1, l_1^+\} = -l_0 + X - R_{\mu\nu\alpha\beta} a^{+\mu} a^\nu a^{+\alpha} a^\beta. \quad (9)$$

Из (9) видно для того, чтобы алгебра стала замкнутой, мы должны взять  $X = R_{\mu\nu\alpha\beta} a^{+\mu} a^\nu a^{+\alpha} a^\beta$  и ввести дополнительный оператор  $g_m = m^2$ , как следствие оператор  $l_0$  примет вид:

$$l_0 = D^2 + R_{\mu\nu\alpha\beta} a^{+\mu} a^\nu a^{+\alpha} a^\beta. \quad (10)$$

Отметим, что найденное выражение для оператора  $l_0$  дает следующие уравнения для антисимметричного поля ранга  $p$  в произвольном искривленном пространстве

$$(\nabla^2 - m^2)\varphi_{\mu_1 \dots \mu_p} + (-1)^p p R_{[\mu_1}^{\alpha} \varphi_{\mu_2 \dots \mu_p]\alpha} - p(p-1) R_{[\mu_1}^{\alpha\beta} \varphi_{\mu_2 \dots \mu_p]\alpha\beta} = 0. \quad (11)$$

В результате, алгебра операторов в массивном случае имеет вид:

$$\{l_1, l_1^+\} = -l_0^{(m)} - g_m, \quad \{l_1, l_1\} = \{l_1^+, l_1^+\} = [l_1, l_0^{(m)}] = [l_1^+, l_0^{(m)}] = 0, \quad (12)$$

$$[g_m, l_1] = [g_m, l_1^+] = [g_m, l_0] = 0. \quad (13)$$

В наборе операторов только оператор  $g_m$  не является связью ни в бра-, ни в кет- векторном пространствах. В этом случае, для нахождения лагранжиана в рамках БРСТ-подхода (см. например [2, 3, 4, 5]) необходимо ввести дополнительные (новые) операторы рождения и уничтожения, и построить расширенные операторы  $o_i \rightarrow O_i = o_i + o_i$ ,  $o_i = (l_0^{(m)}, l_1, l_1^+, g_m)$ , которые должны удовлетворять двум условиям: 1) они должны образовывать алгебру  $[O_i, O_j] \sim O_k$ ; 2) операторы, не являющиеся связями, должны обратиться в нуль (т.е. должно выполняться  $G_m = g_m + g_m = 0$ ).

С этой целью вводим пару фермионных операторов, рождения и уничтожения со стандартными коммутационными соотношениями  $\{f, f^+\} = 1$  и определяем

$$l_0^{(m)'} = 0, \quad l_1^{+'} = m f^+, \quad l_1 = m f, \quad g_m = -m^2. \quad (14)$$

Можно проверить, что расширенные выражения для операторов удовлетворяют вышеуказанным требованиям: расширенное выражение для оператора  $g_m$ , который не является связью, обращается в ноль; а операторы  $L_0^{(m)}$ ,  $L_1$ ,  $L_1^+$  образуют алгебру

$$\{L_1, L_1^+\} = -L_0^{(m)}, \quad \{L_1, L_1\} = \{L_1^+, L_1^+\} = [L_1, L_0^{(m)}] = [L_1^+, L_0^{(m)}] = 0. \quad (15)$$

Для этого вводим гостовские «координаты»  $\eta_0$ ,  $q_1^+$ ,  $q_1$  и канонически сопряженные им гостовские «импульсы»  $P_0$ ,  $p_1$ ,  $p_1^+$  с не нулевыми (анти)коммутаторами

$$\{\eta_0, P_0\} = 1, \quad [q_1, p_1^+] = [q_1^+, p_1] = i. \quad (16)$$

Теперь, построим БРСТ-оператор

$$Q_m = \eta_0 L_0^{(m)} + q_1^+ L_1 + q_1 L_1^+ + q_1^+ q_1 P_0, \quad Q_m^2 = 0, \quad (17)$$

$$\sigma_m = a_\mu^+ a^\mu + f^+ f + i q_1^+ p_1 - i p_1^+ q_1, \quad [Q_m, \sigma_m] = 0. \quad (18)$$

В массивном случае, общее состояние в пространстве Фока выглядит следующим образом

$$|\Phi\rangle = \sum_{k_i} \eta_0^{k_1} (q_1^+)^{k_2} (p_1^+)^{k_3} (f^+)^{k_4} a^{+\mu_1} \dots a^{+\mu_{k_0}} \Phi_{\mu_1 \dots \mu_{k_0}}^{k_1 k_2 k_3 k_4}(x) |0\rangle. \quad (19)$$

В сумме (19)  $k_i$  пробегает следующие значения:  $k_1$ ,  $k_4$  от 0 до 1 и  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_0$  от 0 до бесконечности.

Для того чтобы построить лагранжиан для полей ранга  $p$ , накладываем ограничения на поля  $|\Phi\rangle$  и на калибровочные параметры  $|\Lambda^{(i)}\rangle$  в расширенном пространстве Фока (19) следующим образом

$$\sigma_m |\Phi\rangle = p |\Phi\rangle, \quad \sigma_m |\Lambda^{(i)}\rangle = p |\Lambda^{(i)}\rangle, \quad (20)$$

с оператором  $\sigma_m$ , данным в соотношении (18). Если опустить эти условия, тогда лагранжиан (и калибровочные преобразования), будет содержать все поля с различными рангами. Покажем (см. например [2–5]), что лагранжиан, можно записать в виде

$$L = \int d\eta_0 \langle \Phi | Q_m | \Phi \rangle, \quad (21)$$

который инвариантен относительно приводимых калибровочных преобразований

$$\begin{aligned}\delta|\Phi\rangle &= Q_m|\Lambda^{(0)}\rangle, \quad \dots \quad \delta|\Lambda^{(i)}\rangle = Q_m|\Lambda^{(i+1)}\rangle, \\ \dots \quad \delta|\Lambda^{(p-2)}\rangle &= Q_m|\Lambda^{(p-1)}\rangle.\end{aligned}\tag{22}$$

Необходимо отметить, что в массивном случае, мы имеем дело с калибровочной симметрией Штюкельберга. Поля Штюкельберга и калибровочные параметры в разложении (19) – это поля содержащие  $f^+$ , в степени  $k_4 = 1$ :  $\Phi_{\mu_1 \dots \mu_{k_0}}^{k_1 k_2 k_3 1}(x)$ . Порядок приводимости калибровочных преобразований (22) конечен, в силу соотношения (20) и условия на гостовское число:

$$gh(|\Phi\rangle) = 0, \quad gh(|\Lambda^{(i)}\rangle) = -(i+1).\tag{23}$$

Таким образом, лагранжиан для массивных бозонных антисимметричных полей на произвольном искривленном фоне построен.

Покажем, что лагранжиан (21) дает уравнения движения эквивалентные (2), (11) с точностью до калибровочных преобразований. Полагаем, что ранг антисимметричного поля равен  $p$ . Затем имеем калибровочную теорию с  $p-1$ -этапом приводимости. Вследствие (20) и (23) калибровочный параметр низшего этапа имеет вид

$$|\Lambda^{(p-1)}\rangle = \frac{(-i)^p}{p!} (p_1^+)^p \xi^{(p-1)}(x) |0\rangle.\tag{24}$$

Можно явно проверить, что возможно устранить зависимость от  $f^+$  в калибровочной функции  $|\Lambda^{(p-2)}\rangle$  ( $p-2$ )-этапа. Затем можем проверить, что возможно устранить зависимость  $|\Lambda^{(p-3)}\rangle$  от  $f^+$  с помощью остаточных калибровочных параметров  $|\Lambda^{(p-2)}\rangle$  (которое не зависит от  $f^+$ ). Продолжая рассуждения, в конечном итоге, избавляемся от зависимости поля  $|\Phi\rangle$  от  $f^+$ . Таким образом, у нас есть калибровка  $f|\Phi\rangle = 0$ , и все калибровочные параметры использованы.

Обратимся к уравнениям движения  $Q_m|\Phi\rangle = 0$ . Разложим их в ряд по  $f^+$  и находим, что часть уравнений движения имеет форму

$$mq_1 f^+ |\Phi\rangle = 0,\tag{25}$$

которая говорит нам, что поле не зависит от  $p_1^+$ . Это условие вместе с калибровкой  $f|\Phi\rangle = 0$ , означает, что поле  $|\Phi\rangle$  может зависеть только от  $a^{+\mu}$ , что в свою очередь означает, что остается только физическое поле

$$|\Phi\rangle = |\varphi_p\rangle = \frac{(-i)^p}{p!} \varphi(x)_{\mu_1 \dots \mu_p} a^{+\mu_1} \dots a^{+\mu_p} |0\rangle$$

и уравнения движения для этого случая имеют вид:  $l_0^{(m)} |\varphi_p\rangle = 0$  и  $l_1 |\varphi_p\rangle = 0$ . В компонентной форме это есть уравнения (2), (11), которые было необходимо воспроизвести.

### ***Результаты***

Мы показали, что БРСТ-подход, который изначально был разработан для моделей полей высших спинов в пространстве анти де-Ситтера, применим для массивных бозонных антисимметричных полей в произвольном искривленном пространстве – времени. Полученные теории обладают приводимой калибровочной симметрией, порядок приводимости растет с увеличением ранга антисимметричного поля, а соответствующие лагранжианы и калибровочные преобразования задаются формулами (21), (22). Как и все лагранжианы, построенные на основе БРСТ-подхода, полученный лагранжиан обладает более высокой калибровочной симметрией и содержит большее количество полей по сравнению со стандартным описанием антисимметричных полей.

### **Литература**

1. *Buchbinder, I. L.* Lagrangian formulation of massive fermionic totally antisymmetric tensor field theory in AdSd space / I. L. Buchbinder, V. A. Krykhtin, L. L. Ryskina // Nuclear Physics. A. 2009. Vol. 819. P. 453–477.
2. *Buchbinder, I. L., Krykhtin, V. A.* Gauge invariant Lagrangian construction for massive bosonic higher spin fields in D dimensions / I. L. Buchbinder, V. A. Krykhtin // Nucl. Phys. B. 2005. P. 537.
3. *Buchbinder, I. L., Krykhtin, V. A., Lavrov, P. M.* Gauge invariant Lagrangian formulation of higher spin massive bosonic field theory in AdS space / I. L. Buchbinder, V. A. Krykhtin, P. M. Lavrov // Nucl. Phys. B. 2007. P. 344–376.
4. *Buchbinder, I. L., Krykhtin, V. A.* BRST approach to higher spin field theories / I. L. Buchbinder, V. A. Krykhtin // Mod. Phys. Lett. A. 2010. 25. P. 1667–1677.
5. *Buchbinder, I. L., Krykhtin, V. A.* Progress in gauge invariant Lagrangian construction for massive higher spin fields / I. L. Buchbinder, V. A. Krykhtin. Access mode: <http://arxiv.org/abs/0710.5715v2>
6. *Buchbinder, I. L.* Gauge invariant Lagrangian construction for massive higher spin fermionic fields / I. L. Buchbinder, V. A. Krykhtin, L. L. Ryskina, H. Takata // Phys. Lett. B. 2006. P. 386.

## **ЛАГРАНЖЕВО ОПИСАНИЕ БЕЗМАССОВОГО ЗАРЯЖЕННОГО ПОЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ЦЕЛОГО СПИНА ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ**

**Т. В. Снегирев**

*Томский государственный педагогический университет*

Лагранжевы формулировки полей с низшими спинами  $s \leq 2$  построены довольно давно и широко используются в физике элементарных частиц, эйнштейновской общей теории относительности, супергравитации. В тоже время для высших спинов к настоящему времени достаточно хорошо развита только лагранжева теория свободных полей в плоском пространстве и пространстве анти-де-Ситтера. Лагранжева формулировка взаимодействующих полей высших спинов, свободная от внутренних противоречий, в настоящее время не известна.



В связи с этим проблемы теорий полей высших спинов привлекают значительное внимание и широко обсуждаются в современной литературе теоретической физики высоких энергий (см. обзоры [1–3]).

Среди всех взаимодействий электромагнитное взаимодействие является одним из самых хорошо изученных и с давнего времени выступает как площадка для исследования и проверки различных моделей. Поэтому, кажется, естественным начать с исследования взаимодействия полей высших спинов с электромагнитным полем.

### *Общие принципы*

Для безмассовых полей единственная возможность работать в явно лоренц ковариантном формализме является калибровочно-инвариантное описание. Причина этого в том, что невозможно наложить лоренц ковариантные связи, которые выделяли бы две физические степени свободы со спинами (спиральностями)  $\pm s$ . Более того, требование сохранения (пусть и модифицированной) калибровочной инвариантности после включения взаимодействия сильно ограничивает возможный вид взаимодействий, практически полностью определяя, например, основные свойства таких физически важных теорий, как теория Янга – Миллса, гравитации и супергравитации.

Сочетание теории возмущений и калибровочной инвариантности позволило сформулировать конструктивный подход к построению непротиворечивых взаимодействий безмассовых частиц [4]. Идея подхода довольно проста. В теории возмущений любой нелинейный лагранжиан мы можем представить в виде ряда по степеням полей:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2 + \dots,$$

где  $\mathcal{L}_0$  – квадратичен по полям;  $\mathcal{L}_1$  – кубичен и т.д. Точно также и калибровочные преобразования можно представить в виде ряда:

$$\delta = \delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \dots,$$

где  $\delta_1$  – линейны по полям;  $\delta_2$  – квадратичны и т.д. Но тогда и вариация лагранжиана относительно калибровочных преобразований  $\delta\mathcal{L}$

$$\delta\mathcal{L} = (\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \dots)(\mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2 + \dots)$$

естественным образом разлагается в ряд по степеням полей, при этом требование калибровочной инвариантности должно выполняться в каждом порядке по отдельности:

$$\begin{aligned}\delta_0\mathcal{L}_0 &= 0, \\ \delta_0\mathcal{L}_1 + \delta_1\mathcal{L}_0 &= 0, \\ \delta_0\mathcal{L}_2 + \delta_1\mathcal{L}_1 + \delta_2\mathcal{L}_0 &= 0, \\ &\dots\end{aligned}$$

Таким образом, вся конструкция должна начинаться с некоторого свободного лагранжиана  $\mathcal{L}_0$ , инвариантного относительно исходных калибровочных преобразований без полей  $\delta_0$ , что для безмассовых полей со спином  $s \geq 1$  выполняется автоматически. Далее лагранжиан взаимодействия и калибровочные преобразования достраиваются в виде ряда. На практике такой подход уже во втором порядке оборачивается весьма громоздкими вычислениями, однако, важную роль в таком подходе играет линейное приближение, когда лагранжиан достраивается с точностью до кубических по полям членов, а поправки к калибровочным преобразованиям рассматриваются с точностью до линейных членов по полям. Особенность линейного приближения заключается, в том, что результаты такого приближения для любых трех полей (среди которых могут быть и одинаковые) никак не зависят от присутствия в системе любых других полей, оказываясь, таким образом, универсальным для любой теории. В частности, это означает, что невозможность построить линейное приближение для тех или иных полей ведет к невозможности построить такое взаимодействие ни в какой другой системе полей, что и объясняет существование в литературе по высшим спинам множество «по-го» результатов.

Используя этот подход, можно объяснить невозможность включения минимального взаимодействия для теории безмассового поля в плоском пространстве, получая, таким образом, классический «по-го» результат. Подчеркнем, однако, что все три условия: минимальность, безмассовость и плоское пространство, одинаково важны. Отказ от любого из них открывает, в принципе, возможность построения взаимодействующей теории. Так, существуют непротиворечивые взаимодействующие теории безмассовых полей высших спинов в пространстве с отрицательным значением кривизны АдС [5, 6]. В работах [7, 8] были построены модели, описывающие массивные частицы спина-2, движущихся в электромагнитном поле. Случай включения неминимального однородного электромагнитного взаимодействия для заряженного поля с произвольным целым спином  $s$  рассматривается в этой работе. Неминимальными называются любые взаимодействия с электромагнитным полем  $A_\mu$ , в которые входит калибровочно-инвариантный тензор напряженности электромагнитного поля  $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$ .

### ***Безмассовое поле произвольного спина $s$ во внешнем электромагнитном поле***

Рассмотрим заряженное безмассовое поле спина  $s$ , распространяющееся во внешнем постоянном электромагнитном поле. В случае постоянного электромагнитного поля, его напряженность  $F_{\mu\nu}$ , является просто постоянной матрице, не зависящей от пространственных координат.

Мы будем работать с вещественными полями, поэтому для описания заряженного поля произвольного целого спина  $s$  введем дублет симметричных дважды бесследовых тензоров ранга  $s$   $\Phi_s^i, \tilde{\Phi}_{s-4}^i = 0, i = 1, 2$ , здесь и далее будем использовать компактные обозначения

$$\Phi_s^i = \Phi_{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_s}^i, \quad (\partial \Phi)_{s-1}^i = \partial^{\mu_1} \Phi_{\mu_1 s-1}^i, \quad \tilde{\Phi}_{s-2}^i = \eta^{\mu_1 \mu_2} \Phi_{\mu_1 \mu_2 s-2}^i.$$

Свободный лагранжиан для рассматриваемой модели хорошо известен и имеет вид

$$\mathcal{L}_0 = (-1)^s \left\{ \frac{1}{2} \partial^\alpha \Phi^{s,i} \partial_\alpha \Phi_s^i - \frac{1}{2} s (\partial \Phi)^{s-1,i} (\partial \Phi)_{s-1}^i - \frac{1}{2} s(s-1) (\partial \partial \Phi)^{s-2,i} \tilde{\Phi}_{s-2}^i - \right. \\ \left. - \frac{1}{4} s(s-1) \partial^\alpha \tilde{\Phi}^{s-2,i} \partial_\alpha \tilde{\Phi}_{s-2}^i - \frac{1}{8} s(s-1)(s-2) (\partial \tilde{\Phi})^{s-3,i} (\partial \tilde{\Phi})_{s-3}^i \right\}, \quad (1)$$

инвариантный относительно обычных калибровочных преобразований

$$\delta_0 \Phi_s^i = \partial_{(\mu_1} \xi_{s-1)}^i.$$

Мы изучаем линейное приближение, и это означает, что далее при включении неминимального электромагнитного взаимодействия мы будем добавлять только линейные по  $F_{\mu\nu}$  поправки к лагранжиану и калибровочным преобразованиям, игнорируя все выражения, содержащие  $F_{\mu\nu}$ , в квадратичных и выше порядках.

Общий анзац для кубического лагранжиана можно записать

$$\mathcal{L}_1 = (-1)^s \varepsilon^{ij} F^{\alpha\beta} \left\{ a_1 \partial^\nu \Phi_\alpha^{s-1,i} \partial_\nu \Phi_{\beta s-1}^j + a_2 (\partial \Phi)_\alpha^{s-2,i} (\partial \Phi)_{\beta s-2}^j + \right. \\ + a_3 \partial_\alpha \Phi_\beta^{s-1,i} (\partial \Phi)_{s-1}^j + a_4 (\partial \Phi)_\alpha^{s-2,i} \partial_\beta \tilde{\Phi}_{s-2}^j + a_5 (\partial \Phi)_\alpha^{s-3,i} \partial_\nu \tilde{\Phi}_{\beta s-3}^j + \\ \left. + a_6 \partial^\nu \tilde{\Phi}_\alpha^{s-3,i} \partial_\nu \tilde{\Phi}_{\beta s-3}^j + a_7 \partial_\alpha \tilde{\Phi}_\beta^{s-3,i} (\partial \tilde{\Phi})_{s-3}^j + a_8 (\partial \tilde{\Phi})_\alpha^{s-4,i} (\partial \tilde{\Phi})_{\beta s-4}^j \right\}. \quad (2)$$

Наиболее общая линейная поправка к калибровочным преобразованиям запишется в виде

$$\delta_1 \Phi_s^i = \varepsilon^{ij} [\gamma_1 F_{(\mu_1}^\alpha \partial_\alpha \xi_{s-1)}^j + \gamma_2 F_{(\mu_1}^\alpha \partial_{\mu_2} \xi_{\alpha s-2)}^j + \gamma_3 \eta_{(\mu_1 \mu_2} F^{\alpha\beta} \partial_\alpha \xi_{\beta s-2)}^j].$$

При этом есть двухпараметрический произвол, связанный с заменами переменных

$$h_{\mu\nu}^i \Rightarrow h_{\mu\nu}^i + \kappa_1 \varepsilon^{ij} F_{(\mu}^\alpha h_{\nu)\alpha}^j,$$

$$\xi_\mu^i \Rightarrow \xi_\mu^i + \kappa_2 \varepsilon^{ij} F_\mu^\alpha \xi_\alpha^j,$$

С помощью которого, взяв в качестве  $\kappa_1 = -\gamma_1$ , а  $\kappa_2 = \gamma_1 - \gamma_2$ , можно занулить параметры  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Тогда поправку к калибровочным преобразованиям выберем в виде

$$\delta_1 \Phi_s^i = \gamma \varepsilon^{ij} \eta_{(\mu_1 \mu_2} F^{\alpha\beta} \partial_\alpha \xi_{\beta s-2)}^j.$$

И требуем выполнения калибровочной инвариантности в линейном приближении по  $F_{\mu\nu}$

$$(\delta_0 + \delta_1)(\mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_1) = \delta_0\mathcal{L}_0 + (\delta_0\mathcal{L}_1 + \delta_1\mathcal{L}_0) + \delta_1\mathcal{L}_1 = 0.$$

Вариация  $\delta_0\mathcal{L}_0$  равна нулю в силу калибровочной инвариантности свободной теории. Вариация  $\delta_1\mathcal{L}_1$  дает вклад квадратичный по  $F_{\mu\nu}$ , поэтому мы ее отбрасываем. Таким образом, для выполнения калибровочной инвариантности необходимо выполнение условия

$$\delta_0\mathcal{L}_1 + \delta_1\mathcal{L}_0 = 0.$$

Это условие дает нам систему линейных уравнений

$$\begin{aligned} 2a_1 - a_3 &= 0, \\ (s-1)a_1 + a_2 &= 0, \\ 2a_2 - a_3 + 2a_4 &= 0, \\ (s-2)a_2 + a_5 &= 0, \\ 2a_3 - \gamma s[d + 2s - 6] &= 0, \\ 2a_4 - \gamma s(s-1)[d + 2s - 6] &= 0, \\ 4(s-2)a_4 - 8a_7 - \gamma s(s-1)(s-2)d &= 0, \\ 2a_5 - 4a_7 &= 0, \\ a_5 + 2a_6 &= 0, \\ (s-3)a_5 + 4a_8 &= 0. \end{aligned}$$

Решая эту систему, можно выразить все неизвестные коэффициенты, входящие в кубический лагранжиан через параметр калибровочных преобразований  $\gamma$ .

$$\begin{aligned} a_3 &= 2a_1 = \frac{1}{2}\gamma s[d + 2s - 6], \\ a_4 &= -2a_2 = \frac{1}{2}\gamma s(s-1)[d + 2s - 6], \\ a_5 &= -2a_6 = 2a_7 = \frac{1}{4}\gamma s(s-1)(s-2)[d + 2s - 6], \\ a_8 &= -\frac{1}{16}\gamma s(s-1)(s-2)(s-3)[d + 2s - 6]. \end{aligned}$$

Параметр  $\gamma$  является произвольным и его размерность должна равняться  $\frac{1}{m^2}$ , для согласованности размерности действия.

Таким образом, используя калибровочно-инвариантное описание в сочетании с теорией возмущений, мы построили непротиворечивую теорию электромагнитного взаимодействия для безмассового поля с произвольным целым спином  $s$

в линейном приближении. Лагранжиан, описывающий рассматриваемую модель можно записать в виде

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{free} + \mathcal{L}_{int}, \quad (3)$$

где  $\mathcal{L}_{free}$  – лагранжиан свободного движения заряженных частиц, имеющий вид (1);  $\mathcal{L}_{int}$  – лагранжиан взаимодействия с внешним постоянным электромагнитным полем (2). А модифицированные калибровочные преобразования, относительно которых лагранжиан (3) инвариантен, выглядят

$$\delta \Phi_s^i = \partial_{(\mu_1} \xi_{s-1)}^i + \gamma \epsilon^{ij} \eta_{(\mu_1 \mu_2} F^{\alpha\beta} \partial_{\alpha} \xi_{\beta s-2)}^j.$$

### Литература

1. *Vasiliev, M.* Higher spin gauge theories in various dimensions / M. Vasiliev // Fortsc. Phys. 2004. 52. P. 702–707.
2. *Sorokin, D.* Introduction to classical theory of higherspines / D. Sorokin. Access mode: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0405069>
3. *Bonatta, N., Compere, G., Sagnotti, A.* An introduction to free higher-spin fields / N. Bonatta, G. Compere, A. Sagnotti. Access mode: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0409068>
4. *Ogievetski, V.I., Polubarinov, I.V.* Interacting field of spin 2 and the Einstein equations / V. I. Ogievetski, I. V. Polubarinov // Ann. Phys. 1965. 35. P. 165.
5. *Fradkin, E. S., Vasiliev, M. A.* On the gravitational interaction of massless higher-spin fields / E. S. Fradkin, M. A. Vasiliev // Phys. Lett. B. 1987. 189. P. 89.
6. *Fradkin, E. S., Vasiliev, M. A.* Cubic interaction in extended theories of massless higher-spin fields / E. S. Fradkin, M. A. Vasiliev // Nucl. Phys. B. 1987. 291. P. 141.
7. *Argyres, P. C., Nappi, C. R.* // Phys. Lett. B. 1989. 224. P. 89.
8. *Klishevich, S. M., Zinoviev, Yu. M.* On electromagnetic interaction of massive spin-2 particles / S. M. Klishevich, Yu. M. Zinoviev // Phys. Atom. Nucl. 1998. 61. P. 1527. Access mode: <http://arxiv.org/abs/hep-th/9708150>

## ИЗЛУЧЕНИЕ АТОМНОЙ ЦЕПОЧКИ, ВОЗБУЖДЕННОЙ КАНАЛИРУЮЩЕЙ ЧАСТИЦЕЙ

М. А. Соседова

*Томский государственный педагогический университет*

Физика прохождения элементарных частиц через кристалл, в частности, каналирование ускоренных частиц [1], хорошо развита в настоящее время. В процессе взаимодействия каналирующей частицы с кристаллом генерируется электромагнитное излучение. Это излучение можно представить как излучение из разных источников – собственно излучение частицы, совершающей колебания между атомными плоскостями, излучение электронного газа, возбужденного каналирующей частицей и излучение, испускаемое возбужденными атомами кристаллической решетки. Излучение атомов, возбужденных каналирующей частицей практически не изучено. В настоящей работе мы рассмотрим часть этого излучения, обусловленную колебаниями атомов в узлах кристаллической решетки,

оставляя в стороне излучение, вызванное переходами электронов атома из возбужденных состояний. Особенность рассматриваемого излучения состоит в том, что фазы колебаний атомов коррелируют между собой, поскольку колебания возбуждены одной и той же каналирующей частицей. Поэтому излучение следует рассматривать как когерентное.

### *Динамика атомов кристаллической решетки*

Рассмотрим сильно упрощенную модель кристаллической решетки, которая позволяет, тем не менее, определить основные свойства излучения возбужденных атомных цепочек. Будем считать, что кристалл имеет двумерную решетку прямоугольной структуры. Введем систему координат так, чтобы ось  $OX$  была параллельна цепочкам атомов и проходила посередине между соседними цепочками атомов кристалла. Обозначим расстояние между соседними атомами, лежащими параллельно оси  $OX$ , через  $b$ , а расстояние между цепочками атомов через  $2D$ .

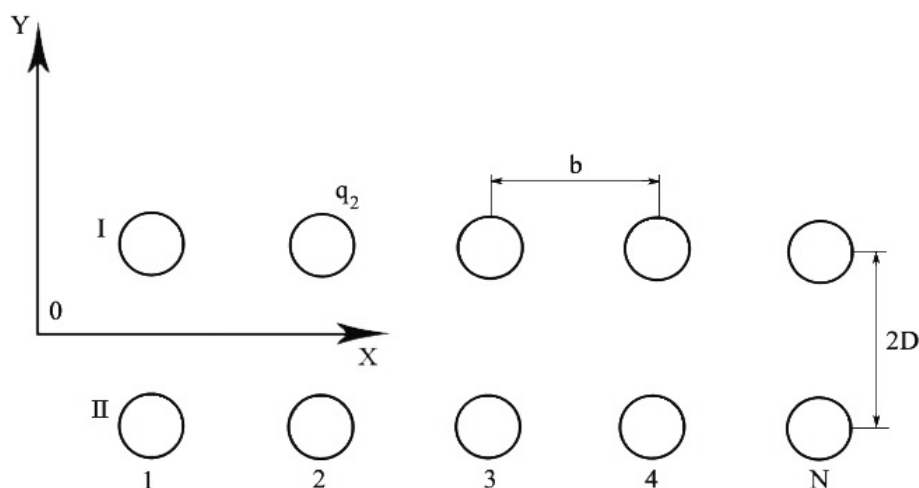


Рис. 1. Модель двумерной кристаллической решетки

Пусть релятивистская, положительно заряженная частица, имеющая заряд  $q_1$ , влетает в кристалл между двумя цепочками атомов под достаточно малым углом к направлению оси цепочки. Будем считать, что энергия частицы велика по сравнению с ее потерями на излучение и взаимодействие с веществом. Тогда скорость заряженной частицы при движении в кристалле остается постоянной и равной скорости влета  $V$ . Так же, при расчете взаимодействия частицы с отдельным атомом считаем, что каналирующая частица движется параллельно атомным цепочкам.

Поле релятивистской каналирующей частицы относительно лабораторной системы отчета сосредоточено, в основном, в плоскости, перпендикулярной направлению движения частицы [2]. При этом следует ожидать, что ее взаимодействие с атомом вещества эффективно осуществляется в течение короткого отрезка времени, когда атом оказывается в этой плоскости, и сводится к передаче импульса в направлении, ортогональном скорости каналирующей частицы. Проверив это предположение, получаем отношение импульсов

$$\frac{P_y}{P_x} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \gamma, \quad (1)$$

из которого видно, что импульс, переданный ядру в направлении оси  $OY$  в гамма раз больше, чем импульс, переданный тому же ядру в направлении оси  $OX$ . Здесь  $\gamma$  – Лоренц-фактор,  $\beta = V/c$ ,  $c$  – скорость света. Поскольку для релятивистских частиц  $P_y \gg P_x$ , отклонением ядра вдоль оси  $OX$  можно пренебречь, и рассматривать колебания ядра только вдоль оси  $OY$ .

Скорость атома относительно положения равновесия является нерелятивистской, поэтому при расчете излучения ядра можно использовать дипольное приближение. Объединим в один диполь два атома, которые находятся в разных цепочках друг против друга и одновременно возбуждаются пролетающей частицей. Дипольный момент полученной системы равен

$$p_{y_i}(x_i, t) = A_i \sin \omega \left( t - \frac{x_i}{V} \right), \quad p_{x_i}(x_i) = 2x_i q_1, \quad (2)$$

где  $A_i$  – амплитуда колебаний  $i$ -го дипольного момента:

$$A_i = \frac{2q_1 q_2^2 K}{mVD^2 \omega} \cos \frac{\Omega x_i}{V}, \quad (3)$$

где  $K$  и  $\Omega$  – амплитуда и частота колебаний каналирующей частицы;  $q_1$  – заряд частицы;  $q_2$  – эффективный заряд атома, экранированного внутренними оболочками;  $\omega$  – частота колебаний ядра атома;  $m$  – масса частицы;  $x_i$  – координаты атомов;  $x_i = ib$ .

Наиболее существенным для дальнейших расчетов является учет затухания колебаний атомов в узлах кристаллической решетки. На языке квантовой механики этот процесс описывается как излучение фононов. Предполагая, что энергия фононов много меньше энергии колебательного состояния атома, мы можем учесть затухание колебаний, вводя экспоненциальный множитель в амплитуду колебаний. С учетом затухания уравнение для дипольного момента принимает вид

$$p_{y_i}(x_i, t) = \begin{cases} A_i e^{-\alpha \left( t - \frac{x_i}{V} \right)} \sin \omega \left( t - \frac{x_i}{V} \right), & t > \frac{x_i}{V}, \\ 0, & t \leq \frac{x_i}{V}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания. Постоянную составляющую дипольного момента  $p_{x_i}$  впредь будем игнорировать, поскольку поле излучения пропорционально второй производной по времени от дипольного момента.

## Излучение возбужденных атомных цепочек

Электрическое поле излучения дипольного момента определяется следующей формулой [2]:

$$\vec{E}_i(\vec{r}, t) = \frac{1}{rc^2} [\vec{n}, [\vec{n}, \ddot{\vec{p}}_i(t')]], \quad (5)$$

где единичный вектор  $\vec{n}$  определяется равенством  $\vec{n} = \vec{r}/r$  и имеет координаты  $\vec{n} = (\sin\theta\sin\varphi, \cos\theta, \sin\theta\cos\varphi)$ ;  $\vec{r}$  – вектор, соединяющий диполь с точкой, для которой записан вектор  $\vec{E}_i$ ;  $r = |\vec{r}|$ , дипольный момент  $\vec{p}_i$  следует брать в предшествующий момент времени  $t' = t - r/c$ .

Далее считаем, что расстояние от кристалла до наблюдателя много больше размеров кристалла. Тогда вектор  $\vec{n}$  и расстояние  $r$  в формуле (5) постоянны и не зависят от  $x$ . Зависимость от  $x$  следует учесть только в фазе электромагнитной волны, а именно в  $t'$ .

Дифференцируя уравнение для дипольного момента (4) дважды по времени, получим формулу

$$\ddot{p}_{y_i}(x_i, t') = \begin{cases} A_i e^{-\alpha\tau} [(\alpha^2 - \omega^2) \sin \omega\tau - 2\alpha\omega \cos \omega\tau], & t' > \frac{x_i}{V}, \\ 0, & t' \leq \frac{x_i}{V}, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\tau = t' - \frac{x_i}{V} = t - \frac{R}{c} - \frac{x_i}{V}(1 - \beta n_x)$ ,  $R = |\vec{R}|$ ,  $\vec{R}$  – вектор из начала координат в точку наблюдения,  $n = R/R$ .

Пусть атомная цепочка состоит из большого, но конечного числа атомов  $N$ . Результирующее поле излучения является дискретной суммой полей отдельных атомов кристалла.

$$\vec{E}(\vec{R}, t) = \sum_{i=0}^N \vec{E}_i(\vec{R}, t). \quad (7)$$

Поскольку расстояние между атомами много меньше длины волны излучения, можно перейти к непрерывному распределению дипольного момента по оси  $OX$ , а суммирование заменить интегрированием. Тогда формула для поля излучения принимает вид

$$E_0(t) = e^{-\alpha t_0} \left[ F(x_2, t) e^{\alpha k x_2} - F(x_1, t) e^{\alpha k x_1} \right], \quad (8)$$

где  $F(x, t)$  – периодическая функция времени. Угол  $\theta$  отсчитывается от оси  $OY$ . Рассматривая экспоненциальные множители в последней формуле, видим, что амплитуда колебаний напряженности поля излучения сначала растет по закону,



близкому к  $1 - e^{-\alpha t}$  (поскольку  $x_2 = t_0/k$ ), и, если кристалл достаточно длинный, выходит на плато. После вылета частицы из кристалла амплитуда поля экспоненциально убывает.

Далее мы пренебрежем краевыми эффектами и будем рассматривать только излучение с постоянной амплитудой поля. Другими словами, в формуле (8) мы оставляем только первое слагаемое, в котором  $x_2 = t_0/k$  и которое, в случае длинного кристалла, является основным. Тогда формула для поля излучения принимает вид:

$$E_\theta(t) = \frac{1}{2k} A_0(\alpha^2 + \omega^2) \left\{ \sin \Omega' t \left[ \frac{\alpha \cos \omega \psi - \Delta_- \sin \omega \psi}{\alpha^2 + \Delta_-^2} - \frac{\alpha \cos \omega \psi + \Delta_+ \sin \omega \psi}{\alpha^2 + \Delta_+^2} \right] + \right. \\ \left. + \cos \Omega' t \left[ \frac{-\alpha \sin \omega \psi - \Delta_- \cos \omega \psi}{\alpha^2 + \Delta_-^2} - \frac{\alpha \sin \omega \psi - \Delta_+ \cos \omega \psi}{\alpha^2 + \Delta_+^2} \right] \right\}, \quad (9)$$

где

$$k = \frac{1}{V}(1 - \beta n_x), \quad \Delta_\pm = \Omega' \pm \omega, \quad \Omega' = \frac{\Omega}{1 - \beta n_x}, \\ \sin \psi \omega = \frac{2\alpha\omega}{\alpha^2 + \omega^2}, \quad \cos \psi \omega = \frac{\alpha^2 - \omega^2}{\alpha^2 + \omega^2}, \quad A_0 = \frac{2q_1 q_2^2 K \sin \theta}{mVD^2 \omega b R c^2}.$$

Как видим, излучение в этом случае генерируется только на частоте  $\Omega'$ .

Найдем угловое распределение интенсивности излучения. Интенсивность излучения  $dI$  в элемент телесного угла  $d\Omega$  равна:

$$\frac{dI}{d\Omega} = \frac{q_1^2 q_2^4 K^2 \sin^2 \theta}{2\pi m^2 b^2 c^3 D^4 \omega^2 (1 - \beta n_x)^2} \frac{(\alpha^2 + \omega^2)^2 + 4\Omega'^2 \alpha^2}{(\alpha^2 - \omega^2 + \Omega'^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}. \quad (10)$$

Зависимость интенсивности излучения от частот  $\Omega'$  и  $\omega$ , в последней формуле, имеет резонансный характер. При достаточно малых  $\alpha$  имеет место резонанс при  $\Omega' = \omega$  или при

$$\frac{\Omega}{1 - \beta n_x} = \omega. \quad (11)$$

Если каналирующая частица является ультрарелятивистской, то условию резонанса (11) соответствует довольно широкий диапазон значений отношения  $\omega/\Omega'$ :

$$\frac{1}{2} < \frac{\omega}{\Omega'} < 2\gamma^2. \quad (12)$$

Вид зависимости интенсивности излучения (10) от углов  $\theta$  и  $\phi$  представлен на рисунке ниже:

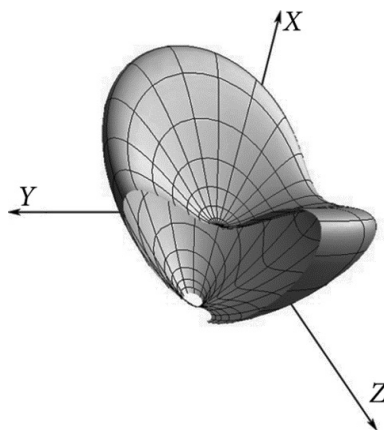


Рис. 2. Угловое распределение интенсивности излучения

Наличие в знаменателе формулы для углового распределения интенсивности излучения (10) фактора  $(1 - \beta n_x)$  приводит к тому, что в случае релятивистской каналирующей частицы основная часть излучения генерируется в направлении скорости частицы. Таким образом, частота излучения и угловое распределение оказываются близкими к соответствующим характеристикам излучения самой каналирующей частицы. Это обстоятельство может привести к проблеме экспериментального отделения одного вида излучения от другого, и к затруднению идентификации рассматриваемого излучения.

### ***Заключение***

В данной работе рассмотрены основные свойства излучения атомных цепочек, возбужденных каналирующей частицей.

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. Я. Эпп.*

### **Литература**

1. Барышевский, В. Г. Каналирование, излучение и реакции в кристаллах при высоких энергиях / В. Г. Барышевский. М. : Изд-во МГУ, 1982. 256 с.
2. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М. : Наука, 1988. Т. 2. С. 378.

## **ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ФУРЬЕ-КОМПОНЕНТ ПОЛЯ ДИПОЛЯ**

Ю. Г. Янц

*Томский государственный педагогический университет*

### ***Введение***

Поле, создаваемое зависящим от времени дипольным электрическим моментом изучено довольно хорошо. Известны выражения для напряженностей электрического и магнитного поля (см., например, [1]). Практически в любом

учебнике электродинамики можно найти выражения для мощности и спектра излучения диполя. Тем не менее, ряд вопросов в этой области остается не изученными, например, задача восстановления динамики диполя по создаваемому полю – обратная задача.

Условия обратной задачи предполагают, что электромагнитное поле создается дипольным электрическим моментом. Напряженности электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{H}$  полей известны как функции времени. Требуется найти источник этого электромагнитного поля, т.е. величину дипольного момента  $\vec{p}$ , как она зависит от времени, и положение этого момента в пространстве.

Решение обратной задачи для общего случая было получено в работе [2], и имеет следующий вид:

$$\vec{n} = \pm \frac{\left[ \vec{H}, \dot{\vec{H}} \right]}{\left[ \vec{H}, \dot{\vec{H}} \right]}, \quad (1)$$

$$r = c \frac{\left( \vec{n}, \left[ \vec{C}, \vec{A} \right] \right)}{\left( \vec{n}, \left[ \vec{A}, \vec{B} \right] \right)} = c \frac{\left( \vec{n}, \left[ \vec{B}, \vec{C} \right] \right)}{\left( \vec{n}, \left[ \vec{C}, \vec{A} \right] \right)}, \quad (2)$$

$$\vec{p}(t') = e^{-\tau} \left\{ \vec{p}_0 + r^3 \int \left[ \vec{n}, \vec{H}_1 \right] + \frac{1}{2} \vec{n}, (\vec{n}, \vec{E}) \right\} e^{\tau} d\tau, \quad (3)$$

где  $\tau = \frac{ct}{r}$  – безразмерное время;  $\vec{p}_0 = \vec{p}_{0\perp} + \vec{n}p_{0x}$  – произвольный постоянный вектор,  $\vec{A} = \ddot{\vec{H}} - \left[ \vec{n}, \ddot{\vec{E}} \right]$ ,  $\vec{B} = \dot{\vec{H}} - \left[ \vec{n}, \dot{\vec{E}} \right]$ ,  $\vec{C} = \vec{H}$  – известные векторы;  $\vec{H}_1 = \int \vec{H}(t) dt$ .

Для практических приложений может быть полезным такое решения задачи, когда известны Фурье-компоненты электрического и магнитного поля диполя. В настоящей работе получено решение обратной задачи для случая, когда известна Фурье-составляющая магнитного поля в двух близких точках пространства на произвольном расстоянии от источника поля.

### **Обратная задача для Фурье-компонент поля диполя**

Разложение Фурье для магнитного поля точечного диполя (в том смысле, что размеры источника много меньше длины рассматриваемой волны) имеет вид [1]:

$$\vec{H}_{\omega} = \frac{ik}{r^2} \left[ \vec{d}_{\omega} \vec{n} \right] (ikr - 1) e^{ikr}, \quad (4)$$

где  $k = \omega/c$  – модуль волнового вектора. Поскольку  $\vec{H}_{\omega}$  ортогонален  $\vec{n}$ , выберем систему координат так, чтобы  $H_{\omega z} = 0$ . Тогда вектор магнитного поля  $\vec{H}_{\omega} e^{-i\omega t}$  на частоте  $\omega$  описывает эллипс в плоскости  $XY$ . Назовем его эллипсом поляризации

вектора  $\vec{H}_\omega$ . Источник поля находится на оси  $OZ$ , но пока не ясно, в положительном или отрицательном направлении этой оси. Вектор дипольного момента  $\vec{d}_\omega$  представим в виде проекции на оси координат:

$$\vec{d}_\omega = (d_{\omega x} e^{i\alpha_x}, d_{\omega y} e^{i\alpha_y}, d_{\omega z} e^{i\alpha_z}),$$

где  $\alpha_j$  начальные фазы, а  $\vec{d}_{\omega j}$  – вещественные амплитуды Фурье-компонент дипольного момента.

Проекция  $\vec{H}_\omega$  на координатные оси равны:

$$H_{\omega x} = \frac{ik}{r^2} \varepsilon d_{\omega y} (ikr - 1) e^{i(kr + \alpha_y)}, \quad H_{\omega y} = -\frac{ik}{r^2} \varepsilon d_{\omega x} (ikr - 1) e^{i(kr + \alpha_x)}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon = n_z = \pm 1$ . Представляется очевидным, что разность фаз между проекциями  $\vec{H}_\omega$  на оси  $OX$  и  $OY$  совпадает с разностью фаз между соответствующими проекциями вектора  $\vec{d}_\omega$ . Тогда систему координат можно повернуть вокруг оси  $OZ$  так, чтобы оси эллипсов поляризации векторов  $\vec{d}_\omega$  и  $\vec{H}_\omega$  совпали с осями  $OX$  и  $OY$ . В этом случае можно положить  $\alpha_x = 0$  и  $\alpha_y = \pi/2$ .

Представим компоненты вектора  $\vec{H}_\omega$  в виде:

$$H_{\omega j} = |H_{\omega j}| e^{i\varphi_j}, \quad j = x, y. \quad (6)$$

Из формул (5) можно найти выражения для амплитуд Фурье-компонент:

$$|H_{\omega x}| = \frac{k}{r^2} d_{\omega y} \sqrt{1 + k^2 r^2}, \quad (7)$$

$$|H_{\omega y}| = \frac{k}{r^2} d_{\omega x} \sqrt{1 + k^2 r^2}.$$

И для соответствующих фаз:

$$\begin{aligned} \sin \varphi_x &= -\varepsilon \frac{(kr \cos kr - \sin kr)}{\sqrt{1 + k^2 r^2}}, \\ \cos \varphi_x &= \varepsilon \frac{(kr \sin kr + \cos kr)}{\sqrt{1 + k^2 r^2}}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\sin \varphi_y = \varepsilon \frac{(kr \sin kr + \cos kr)}{\sqrt{1 + k^2 r^2}}, \quad \cos \varphi_y = \varepsilon \frac{(kr \cos kr - \sin kr)}{\sqrt{1 + k^2 r^2}}.$$

Формулы (7) и (8) позволяют получить некоторое представление об источнике поля. Измеряемыми величинами являются амплитуды  $|H_{\omega x}|$  и  $|H_{\omega y}|$ . Из выражений (7) следует, что эллипс поляризации вектора напряженности магнитного поля подобен проекции эллипса поляризации дипольного момента на плоскость  $XU$ , т.е. на плоскость, ортогональную линии, соединяющей наблюдателя с источником поля. Но эти эллипсы повернуты друг относительно друга на угол  $\pi/2$ . Поскольку фазы Фурье-компонент определены с точностью до аддитивной константы, физический смысл имеет только разность фаз. Из формул (8) нетрудно найти:

$$\Phi_x - \Phi_y = -\frac{\pi}{2}. \quad (9)$$

Отсюда следует, что вектор напряженности магнитного поля вращается в том же направлении, что и вектор дипольного момента.

Полученные формулы не позволяют выбрать одно из двух направлений на источник поля и не дают возможности найти расстояние до него. Для получения дополнительной информации можно, например, измерить Фурье-компоненты магнитного поля в некоторой другой точке. В частности, если эта точка лежит на оси  $OZ$ , то по увеличению или уменьшению амплитуды поля, нетрудно определить в каком направлении находится источник, т.е. определить знак  $\epsilon$ .

Найдем скорость изменения Фурье-компонент магнитного поля при смещении по линии наблюдатель-источник (по оси  $OZ$ ). Для этого продифференцируем выражения (5) по  $r$ . В результате для скорости изменения  $V_H$  амплитуды поля, получим:

$$V_H = \frac{1}{|H_{\omega x}|} \frac{d|H_{\omega x}|}{dr} = \frac{1}{|H_{\omega y}|} \frac{d|H_{\omega y}|}{dr} = -\frac{2 + k^2 r^2}{r(1 + k^2 r^2)}. \quad (10)$$

Как и следовало ожидать, эта производная отрицательна. В ближней зоне, на расстояниях много меньше длины волны ( $r \ll k^{-1}$ ) амплитуда поля спадает с расстоянием как  $-2/r$ , а в дальней, волновой зоне относительная скорость спада в 2 раза меньше. Формула (10) позволяет найти расстояние  $r$  – оно удовлетворяет кубическому уравнению:

$$V_H r (1 + k^2 r^2) + k^2 r^2 + 2 = 0. \quad (11)$$

Аналогично можно найти скорость изменения фазы с расстоянием:

$$V_\phi = \frac{d\phi_x}{dr} = \frac{d\phi_y}{dr} = \frac{k^3 r^2}{1 + k^2 r^2}. \quad (12)$$

Сравним выражения (10) и (11) видим, что на малых расстояниях ( $r \ll k^{-1}$ ) скорость изменения фазы значительно ниже скорости изменения амплитуды. На

больших расстояниях скорость изменения фазы равна  $k$  и не зависит от  $r$ , что и следовало ожидать, поскольку в волновой зоне мы имеем сферическую волну излучения, фаза которой изменяется на  $2\pi$  на расстоянии длины волны.

Последнее уравнение также позволяет найти расстояние до источника, если измерена скорость изменения фазы, но в отличие от уравнения (11) это уравнение квадратично и его решение имеет вид:

$$r = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{V_{\phi}}{k - V_{\phi}}}. \quad (13)$$

Таким образом, получено решение обратной задачи для случая, когда известна Фурье-составляющая магнитного поля в двух близких точках пространства на произвольном расстоянии от источника поля. Уравнения (7) и (8) представляют собой выражения для амплитуд и фаз Фурье-компонент, так же найдены скорость изменения амплитуды поля уравнение (10) и скорость изменения фазы с расстоянием уравнение (12). Последнее уравнение представляет собой выражение для нахождения расстояния до источника поля.

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. Я. Энн.*

#### **Литература**

1. Ландау, Л. Д. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М. : Наука, 1988. Т. 2. 231 с.
2. Epp, V. The inverse problem for the dipole field / V. Epp, J. Janz // Nucl. Instr. and Meth. B. 2008.
3. Терлецкий, Я. П. Электродинамика / Я. П. Терлецкий, Ю. П. Рыбаков. М. : Высшая школа, 1990. 129 с.
4. Ласуков, В. В. Зависимость амплитуды электрического сигнала от пространственного расположения наполнителя при механическом возбуждении бетона / В. В. Ласуков, Т. В. Фурса // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, вып. 6. С. 36.
5. Матов, Ш. Р. Теоретическая модель генерации электромагнитного сигнала в процессе хрупкого разрушения / Ш. Р. Матов, В. В. Ласуков // Физика земли. 1989. № 6. С. 38.

## **РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ЧАСТОТНОГО СЛУЧАЯ ПОЛЯ ДИПОЛЯ**

**Ю. Г. Янц**

*Томский государственный педагогический университет*

#### ***Введение***

Поле, создаваемое зависящим от времени дипольным электрическим моментом изучено довольно хорошо. Известны выражения для напряженностей электрического и магнитного поля (см. например, [1]). Практически в любом учебнике электродинамики можно найти выражения для мощности и спектра излучения диполя. Тем не менее, ряд вопросов в этой области остается не изученными, например, задача восстановления динамики диполя по создаваемому полю – обратная задача.

Условия обратной задачи предполагают, что электромагнитное поле создается дипольным электрическим моментом. Напряженности электрического  $\vec{E}$  и магнитного  $\vec{H}$  полей известны как функции времени, и представляют собой следующие уравнения:

$$\vec{E} = \frac{1}{r^3} \left\{ 3\vec{n}(\vec{n}, \vec{p}) - \vec{p} + \frac{r}{c} [3\vec{n}(\vec{n}, \dot{\vec{p}}) - \dot{\vec{p}}] + \frac{r^2}{c^2} [\vec{n}[\vec{n}, \ddot{\vec{p}}]] \right\}, \quad (1)$$

$$\vec{H} = -\frac{1}{r^2 c} [\vec{n} \dot{\vec{p}}] - \frac{1}{rc^2} [\vec{n} \ddot{\vec{p}}]. \quad (2)$$

Требуется найти источник этого электромагнитного поля, т.е. величину дипольного момента  $\vec{p}$ , как она зависит от времени, и положение этого момента в пространстве.

Решение обратной задачи для общего случая было получено в работе [2], и имеет следующий вид:

$$\vec{n} = \pm \frac{[\vec{H}, \dot{\vec{H}}]}{[\vec{H}, \dot{\vec{H}}]}], \quad (3)$$

$$r = c \frac{(\vec{n}, [\vec{C}, \vec{A}])}{(\vec{n}, [\vec{A}, \vec{B}])} = c \frac{(\vec{n}, [\vec{B}, \vec{C}])}{(\vec{n}, [\vec{C}, \vec{A}])}, \quad (4)$$

$$\vec{p}(t') = e^{-\tau} \left\{ \vec{p}_0 + r^3 \int [\vec{n}, \vec{H}_1] + \frac{1}{2} \vec{n}, (\vec{n}, \vec{E}) \right\} e^{\tau} d\tau, \quad (5)$$

где  $\tau = \frac{ct}{r}$  – безразмерное время;  $\vec{p}_0 = \vec{p}_{0\perp} + \vec{n}p_{0x}$  – произвольный постоянный вектор;  $\vec{A} = \ddot{\vec{H}} - [\vec{n}, \ddot{\vec{E}}]$ ,  $\vec{B} = \dot{\vec{H}} - [\vec{n}, \dot{\vec{E}}]$ ,  $\vec{C} = \vec{H}$  – известные векторы;  $\vec{H}_1 = \int \vec{H}(t) dt$ .

Как видно из формулы (3), полученное решение обладает особенностью при  $[\vec{H}, \dot{\vec{H}}] = 0$ . Частное решение обратной задачи, можно искать отдельно для  $\vec{H} = 0$ ,  $\dot{\vec{H}} = 0$  и  $[\vec{H}, \dot{\vec{H}}] = 0$ , но  $\vec{H} \neq 0$ ,  $\dot{\vec{H}} \neq 0$ .

Случай когда  $\vec{H} = 0$ , а  $\dot{\vec{H}} \neq 0$  и случай когда  $\vec{H} \neq 0$ , а  $\dot{\vec{H}} = 0$  были рассмотрены в работе [3], где был получен вектор дипольного момента  $\vec{p}$  в виде:

$$\vec{p} = \vec{C}_1 + \vec{C}_2 e^{-\tau} + \vec{C}_3 \tau. \quad (6)$$

В работе [3] не были найдены все компоненты постоянных  $\vec{C}_1, \vec{C}_2, \vec{C}_3$ , вектор  $\vec{r}$ , и компоненты  $n_x, n_y$ , так же не был рассмотрен случай, когда  $\vec{H} \neq 0$  и  $\dot{\vec{H}} \neq 0$ .

В данной работе из начальных условий  $\vec{p}(0) = \vec{C}_1 + \vec{C}_2$  и  $\dot{\vec{p}}(0) = \frac{r}{c}\vec{C}_2 + \vec{C}_3$ , и уравнений для компонент векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  найдены все постоянные интегрирования, а также рассмотрен последний случай частного решения обратной задачи.

**Решение обратной задачи при условии что  $\vec{H} \neq 0$ , а  $\dot{\vec{H}} = 0$**

В работе [4] для условия  $\vec{H} \neq 0$ , а  $\dot{\vec{H}} = 0$  были найдены компоненты векторов напряженностей  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  из уравнений (1) и (2):

$$H_x = \frac{1}{r^3} (C_{3y}n_z - C_{3z}n_y), \quad (7)$$

$$H_y = \frac{1}{r^3} (C_{3z}n_x - C_{3x}n_z), \quad (8)$$

$$H_z = \frac{1}{r^3} (C_{3x}n_y - C_{3y}n_x), \quad (9)$$

$$E_x = \frac{1}{r^3} \left( (n_x^2 - 1)C_{2x} + n_x n_y C_{2y} \right) e^{-\tau} + \frac{1}{r^3} \left( (3n_x^2 - 1)C_{3x} + 3n_x n_y C_{3y} \right) \tau + \frac{1}{r^3} \left( (3n_x^2 - 1)(C_{3x} + C_{1x}) + 3n_x n_y (C_{3y} + C_{1y}) \right), \quad (10)$$

$$E_y = \frac{1}{r^3} \left( (n_y^2 - 1)C_{2y} + n_x n_y C_{2x} \right) e^{-\tau} + \frac{1}{r^3} \left( (3n_x^2 - 1)C_{3y} + 3n_x n_y C_{3x} \right) \tau + \frac{1}{r^3} \left( (3n_x^2 - 1)(C_{3y} + C_{1y}) + 3n_x n_y (C_{3x} + C_{1x}) \right), \quad (11)$$

$$E_z = -\frac{1}{r^3} C_{1x} + \frac{1}{r^3} C_{2x} e^{-\tau}. \quad (12)$$

Выберем систему координат так, чтобы ось  $OZ$  была направлена вдоль  $\vec{H}$ . Так как  $H_x = 0, H_y = 0$ , и из формулы (2) видно, что  $\vec{n} \perp \vec{H}$ , т.е.  $\vec{n}$  лежит в плоскости  $XY$ , то  $n_z = 0$ . Тогда:

$$C_{3z} = 0.$$

Чтобы найти вектор  $\vec{r}$ , запишем выражение для первой и второй производной уравнения (10) по времени  $t$ :



$$\dot{E}_z = -\frac{c}{r^4} C_{2z} e^{-\frac{c}{r}},$$

$$\ddot{E}_z = -\frac{c}{r^5} C_{2z} e^{-\frac{c}{r}}.$$

Полагаем, что константа  $C_{2z} \neq 0$ .

Тогда радиус-вектор можно представить в виде:

$$r = -c \frac{\dot{E}_z}{\ddot{E}_z}. \quad (13)$$

Для того чтобы определить константу  $C_{1z}$ , запишем уравнение (10) при условии что  $\tau = \infty$ :

$$E_z(\infty) = -\frac{1}{r^3} C_{1z}.$$

Отсюда  $C_{1z}$  равно:

$$C_{1z} = c^3 \frac{\dot{E}_z}{\ddot{E}_z} E_z(\infty).$$

Константу  $C_{2z}$  можно выразить следующим образом:

$$C_{2z} = c^3 \frac{\dot{E}_z}{\ddot{E}_z} E_z(\infty) + E_{0z},$$

где  $E_{0z}$  – компонента вектора напряженности электрического поля (10) в момент времени  $\tau = 0$ .

Далее, для удобства, обозначим коэффициенты при  $e^{-\frac{c}{r}}$ ,  $\tau$  и постоянную составляющую в уравнениях для  $H_x$ ,  $H_y$ , через  $\eta$ ,  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $\mu$ ,  $\zeta$ ,  $\sigma$ , считая их известными величинами:

$$\eta = (n_x^2 - 1) C_{2x} + n_x n_y C_{2y}, \quad (12)$$

$$\lambda = (n_y^2 - 1) C_{2y} + n_x n_y C_{2x}, \quad (13)$$

$$\kappa = (3n_x^2 - 1) C_{3x} + 3n_x n_y C_{3y}, \quad (14)$$

$$\mu = (3n_y^2 - 1) C_{3y} + 3n_x n_y C_{3x}, \quad (15)$$

$$\zeta = (3n_x^2 - 1)(C_{3x} + C_{1x}) + 3n_x n_y (C_{3y} + C_{1y}), \quad (16)$$

$$\sigma = (3n_x^2 - 1)(C_{3y} + C_{1y}) + 3n_x n_y (C_{3x} + C_{1x}). \quad (17)$$

Используя равенства (12) и (13), а также, учитывая, что  $n_x = \cos \alpha$  и  $n_y = \sin \alpha$ , можно найти выражение для  $\alpha$ , и константы  $C_{2x}$ ,  $C_{2y}$ :

$$\alpha = \arctan g \left( \frac{\eta}{\lambda} \right), \quad (18)$$

$$C_{2x} = \frac{\lambda \sin \alpha - \eta}{\sin 2\alpha \cos \alpha}, \quad (19)$$

$$C_{2y} = \frac{\lambda \sin \alpha + \eta \cos \alpha}{\sin 2\alpha \cos \alpha}, \quad (20)$$

где  $\alpha$  – угол проекции вектора дипольного момента на ось  $OX$  и  $OY$ .

Константы  $C_{3x}$ ,  $C_{3y}$ ,  $C_{1x}$ ,  $C_{1y}$  можно выразить через коэффициенты  $\kappa$ ,  $\mu$ ,  $\zeta$ ,  $\sigma$ :

$$C_{3y} = \frac{(3\kappa \tan g \alpha - \mu(2 - \tan^2 \alpha))(1 + \tan g \alpha)}{2 \tan^2 g^2 \alpha}, \quad (21)$$

$$C_{3x} = \frac{H_z \ddot{E}_z}{c \dot{E}_z \sin \alpha} + \frac{C_{3y}}{\tan g \alpha}, \quad (22)$$

$$C_{1x} = \frac{\zeta(1 + \tan^2 g^2 \alpha) - 3 \tan g \alpha (C_{3y} - C_{1x})}{\tan^2 g^2 \alpha + 2} - C_{3x}, \quad (23)$$

$$C_{1y} = \frac{3(C_{1x} + C_{3x}) \tan g \alpha - \sigma(1 + \tan^2 g^2 \alpha)}{2 - \tan^2 g^2 \alpha} + C_{3y}. \quad (24)$$

Таким образом, для условия  $\vec{H} \neq 0$ , а  $\dot{\vec{H}} = 0$ , вектор дипольного момента задается уравнением (6), радиус-вектор задается в виде (13), также удалось найти все компоненты постоянных  $\vec{C}_1$ ,  $\vec{C}_2$ ,  $\vec{C}_3$ .

**Решение обратной задачи при условии что  $\vec{H} \neq 0$ , а  $\dot{\vec{H}} \neq 0$**

Рассмотрим случай, когда  $\vec{H} \neq 0$  и  $\dot{\vec{H}} \neq 0$ , потребуем выполнения условия  $[\vec{H}, \dot{\vec{H}}] = 0$ . Тогда векторы  $\vec{H}$  и  $\dot{\vec{H}}$  сонаправлены. Вектор напряженности

магнитного поля и его первую производную можно представить как  $\vec{H} = \vec{k}H(t)$  и  $\dot{\vec{H}} = \vec{k}\dot{H}(t)$ , где вектор  $\vec{k}$  направлен вдоль оси  $OZ$ , а  $H(t)$  – известная функция.

Найдем компоненты вектора  $\vec{H}$ , используя формулу (2):

$$n_x P'_y - n_y P'_x = H(t), \quad (25)$$

$$n_y P'_z - n_z P'_y = 0, \quad (26)$$

$$n_z P'_x - n_x P'_z = 0, \quad (27)$$

где  $P'_x = p'_x + p''_x$ ,  $P'_y = p'_y + p''_y$ ,  $P'_z = p'_z + p''_z$ .

Решая уравнения (26) и (27), найдем что:

$$p'_z + p''_z = 0. \quad (29)$$

Решение дифференциального уравнения (29) выглядит следующим образом:

$$p_z = C_1 + C_2 e^{-\tau}. \quad (30)$$

Найдем компоненты вектора напряженности электрического поля из уравнения (1):

$$E_z = -\frac{1}{r^3} C_{1z} + \frac{1}{r^3} C_{2z} e^{-\tau}, \quad (31)$$

$$E_x = \frac{1}{r^3} (3n_x^2 p_x + 3n_x n_y p_y - p_x + 3n_x^2 \dot{p}_x + n_x n_y \dot{p}_y - \dot{p}_x + n_x^2 \ddot{p}_x + n_x n_y \ddot{p}_y - \ddot{p}_x), \quad (32)$$

$$E_y = \frac{1}{r^3} (3n_y^2 p_y + 3n_x n_y p_x - p_y + 3n_y^2 \dot{p}_y + n_x n_y \dot{p}_x - \dot{p}_y + n_y^2 \ddot{p}_y + n_x n_y \ddot{p}_x - \ddot{p}_y). \quad (33)$$

Далее, проведя те же рассуждения, что и в предыдущем пункте, найдем что:

$$C_{1z} = c^3 \frac{\dot{E}_z}{\ddot{E}_z} E_z(\infty), \quad (34)$$

$$C_{2z} = c^3 \frac{\dot{E}_z}{\ddot{E}_z} E_z(\infty) + E_{0z}, \quad (35)$$

$$r = -c \frac{\dot{E}_z}{\ddot{E}_z}. \quad (36)$$

В уравнениях (32), (33) для компонент напряженности электрического поля  $E_x$  и  $E_y$  избавимся от вторых производных  $\ddot{p}_x$ ,  $\ddot{p}_y$ . Для этого, первое выражение (32) умножим на  $n_x n_y$ , а второе (33) на  $n_y^2$ , и вычтем из первого уравнения второе, получим:

$$r^3 (n_x n_y E_x - n_y^2 E_y) = 2n_x n_y (n_x^2 - 2n_y^2) p_x + 2n_y^2 (2n_x^2 - n_y^2) p_y + 2(n_x^2 - n_y^2) (n_x n_y \dot{p}_x + n_y^2 \dot{p}_y).$$

В этом уравнение невозможно объединить  $p_x$  и  $p_y$ ,  $\dot{p}_x$  и  $\dot{p}_y$  в переменные  $z$  и  $\dot{z}$ , так как коэффициенты при этих слагаемых разные.

Таким образом, рассмотрено решение обратной задачи при условии, что  $\vec{H} \neq 0$ , а  $\dot{\vec{H}} = 0$ , и при условии, что  $\vec{H} \neq 0$ , а  $\dot{\vec{H}} \neq 0$ . В первом случае найдены вектор дипольного момента (6), радиус-вектор (13), также удалось найти все компоненты постоянных  $\vec{C}_1$ ,  $\vec{C}_2$ ,  $\vec{C}_3$ . Во втором случае найден вектор дипольного момента (30), и радиус-вектор (36), из компонент постоянных  $\vec{C}_1$ ,  $\vec{C}_2$ ,  $\vec{C}_3$  удалось найти только компоненты  $C_{1z}$ ,  $C_{2z}$  и  $C_{3z}$ .

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. Я. Энн.*

#### Литература

1. Терлецкий, Я. П. Электродинамика / Я. П. Терлецкий, Ю. П. Рыбаков. М. : Высшая школа, 1990. 129 с.
2. Epp, V. The inverse problem for the dipole field / V. Epp, J. Janz // Nucl. Instr. and Meth. B. 2008.
3. Янц, Ю. Г. Частный случай решения обратной задачи для дипольного момента / Ю. Г. Янц // Наука и образование: Всероссийская конференция аспирантов и молодых ученых. Томск, 11–25 апреля 2009 г. Томск, 2009. С. 254–299.
4. Ландау, Л. Д. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М. : Наука, 1988. Т. 2. 231 с.
5. Ласуков, В. В., Фурса, Т. В. Зависимость амплитуды электрического сигнала от пространственного расположения наполнителя при механическом возбуждении бетона / В. В. Ласуков, Т. В. Фурса // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, вып. 6. С. 36.
6. Матов, Ш. Р. Теоретическая модель генерации электромагнитного сигнала в процессе хрупкого разрушения / Ш. Р. Матов, В. В. Ласуков // Физика земли. 1989. № 6. С. 38.

**СЕКЦИЯ  
ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА  
ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ**



## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ К СДАЧЕ ГИА ПО ФИЗИКЕ**

У.Б. Галеева, О.Л. Новикова

*Томский государственный педагогический университет*

С 2008 г. в регионах Российской Федерации в рамках создания Общероссийской системы оценки качества образования, производится государственная итоговая аттестация выпускников 9 классов (в новой форме). Несмотря на то, что экзамен в новой форме пока проводится в режиме эксперимента, число регионов, реализующих эту форму итогового контроля, неуклонно растет. Введение в практику новой модели экзамена для выпускников основной школы продиктовано необходимостью совершенствования форм итогового контроля с учетом принципа вариативности.

С 2009 г. государственная (итоговая) аттестация выпускников 9 классов по физике в Томской области проводилась, как в традиционной, так и в новой форме. Контрольные измерительные материалы для проведения экзамена в новой форме представляли собой письменную работу, которая оценивала общеобразовательную подготовку учащихся по физике за курс основной школы и обеспечивала необходимую дифференциацию выпускников при отборе в профильные классы.

Практика проведения экзамена показывает, что наиболее сложным моментов оказывается организации проверки экспериментальных умений. Перечень комплектов оборудования для проведения экспериментальных заданий составлен на основе типовых наборов для фронтальных работ по физике (наборы лабораторные «Механика», «Электричество» и «Оптика», торговая марка «L-микро»), которые поставляются в образовательные учреждения в рамках приоритетного национального проекта «Образование».

Каждый комплект сформирован для выполнения задания одним экзаменуемым. В аудитории при проведении экзамена используется 4 экзаменационных варианта и при этом предлагается 4 экспериментальных задания (два по механике и два по электричеству или по оптике). Например, в аудитории на 16 экзаменуемых могут использоваться одновременно 4 комплекта № 1 (измерение плотности вещества), 4 комплекта № 4 (измерение коэффициента трения) и 8 комплектов № 5 (измерение сопротивления резистора, измерение мощности электрического тока).

Стоимость одного комплекта порядка 8 000 руб., и не каждая школа может позволить себе приобрести необходимое количество оборудования. Поэтому одним из решений этой проблемы является комплектация оборудования из нескольких школ или замена каких-либо элементов оборудования самодельными с аналогичными или близкими характеристиками. Для этого необходимо внести соответствующие изменения в перечень комплектов перед проведением экзамена и в образцы выполнения экспериментальных заданий каждого варианта.

В случае отсутствия в школе необходимого стандартного оборудования мы предлагаем использовать аналогичное самодельное.

**Пример 1.** Измерение плотности цилиндров (рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Стандартное оборудование	Предлагаемое оборудование	Примечания
Весы рычажные с набором гирь	—	—
Стакан с водой	—	—
Измерительный цилиндр (мензурка)	Медицинский шприц с пределом измерения 120 мл, $c = 1$ мл	Цена деления медицинского шприца совпадает с ценой деления мензурки. Стоимость медицинского шприца значительно меньше стоимости мензурки. В отличие от мензурки медицинский шприц изготовлен из пластика, поэтому безопасен в использовании, не бьется и более компактен
Два цилиндра одинакового объема	Баночки от «Киндер сюрприз», наполненные разным веществом	Баночки от «Киндер сюрприз» имеют одинаковый объем, легко помещаются в 120 мл шприц. Для того чтобы масса была разной, баночки можно наполнить разным веществом

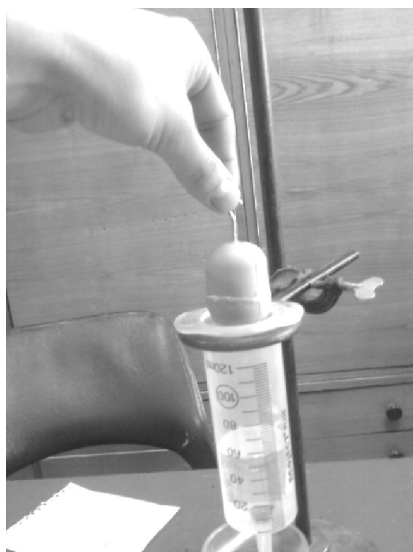


Рис. 1

**Пример 2.** Измерение коэффициента жесткости (рис. 2).

Т а б л и ц а 2

Стандартное оборудование	Предлагаемое оборудование	Примечания
1	2	3
Штатив лабораторный с муфтой и лапкой	—	—
Пружина	резинка	Один из наиболее доступных упругих материалов с большим диапазоном линейным расширением



1	2	3
3 груза массой 100 г	3 пластмассовых стаканчиков с водой массой 100 г	
Динамометр школьный с пределом измерения 4 Н ( $c = 0,1$ Н)	—	—

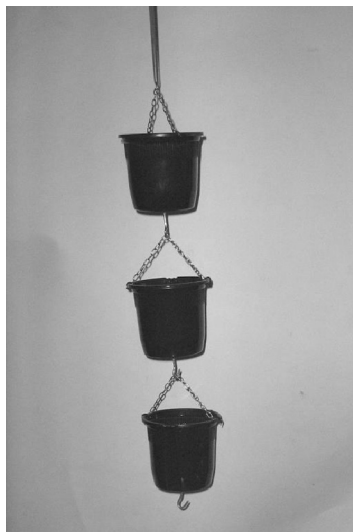


Рис. 2

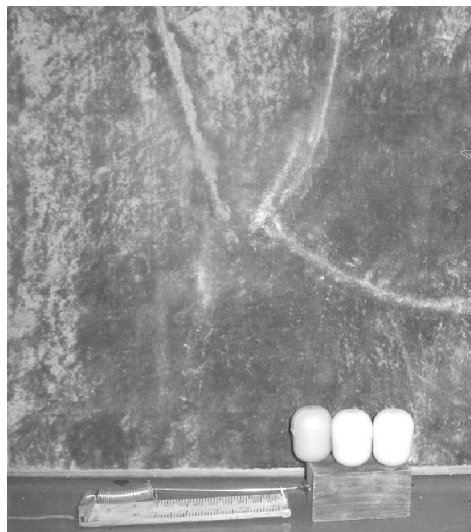


Рис. 3

**Пример 3.** Измерение коэффициента трения скольжения (рис. 3).

Таблица 3

Стандартное оборудование	Предлагаемое оборудование	Примечания
Брусок с крючком на нити	—	—
3 груза массой по $(100 \pm 2)$ г	3 баночки от «Киндер сюрприз»	Баночки от «Киндер сюрприз» можно наполнить веществом, например, свинцовой дробью
Динамометр школьный с пределом измерения 4 Н ( $c = 0,1$ Н)	—	—

Разработанное нами экспериментальное оборудование позволяет подготовить выпускника школ к сдаче экспериментальной части ГИА по физике.

*Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент О. Л. Новикова.*

# **ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ В ПРЕПОДАВАНИИ КУРСА ФИЗИКИ В ВЕЧЕРНЕЙ (СМЕННОЙ) ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ № 4 ГОРОДА ТОМСКА**

А. А. Ефименко

*Томский государственный педагогический университет*

Многие предприятия страны в настоящее время испытывают нехватку рабочих кадров, приток которых возможен в случае ориентации учащихся, особенно вечерней школы на рабочие профессии, освоение которых невозможно без наличия у выпускников основной и общеобразовательной школы базовых физических знаний, сформированности практических умений и навыков, умений совместно делать одну работу. Особенно актуально это для выпускников вечерней школы. Поэтому преподавание физики в вечерней школе должно учитывать особенности обучающихся, их потребности при реализации целей обучения [1].

Учащиеся вечерней школы – молодые люди, имеющие существенные недостатки в развитии, особенно высших познавательных процессов (активного восприятия, произвольной памяти словесно-логического мышления). Наблюдения показали, что ученики преимущественно руководствуются мотивом достижения; другие – мотивом избегания неудач. У части учеников нет и этого мотива. Мотив достижения связан с продуктивным выполнением деятельности. Мотив избегания неудач – с защитным поведением и тревожностью.

У большинства обучающихся снижен уровень притязаний в учебной деятельности. Для таких учеников характерно наличие повышенной возбудимости или, наоборот, инертности; трудностей формирования интересов и социальной мотивации деятельности. Большие трудности возникают у них при решении задач, требующих наглядно-образного мышления, т.е. действовать в уме, оперируя образами представлений; сложности возникают при анализе простых текстов, содержащих причинные или временные зависимости, требующие словесно-логического мышления. Осуществляя обобщение предметов или явлений, учащиеся чаще всего основываются на несущественных, случайных признаках [2].

В связи с этим была разработана специальная профориентационная методика по физике: «Профессиональная направленность в преподавании курса физики в вечерней (сменной) общеобразовательной школе», направленное на решение ряда важных проблем, связанного с преподаванием физики на основе учёта личностных, возрастных особенностей учащихся вечерней школы. Разработанные материалы, позволяют организовать учебный процесс по физике так, чтобы обучение было интересным для учащихся, давало им предметные знания, необходимые для освоения конкретных профессий, формировало навыки совместной работы, пользования компьютером. Все эти знания, умения и навыки необходимы современному человеку, чтобы уверенно входить в социум, быть успешным в нём.

В разработанной методике даны рекомендации по планированию физического материала на начальном этапе изучения физики 7 класса с учётом профориентации на ряд конкретных профессий, показаны образцы уроков профориентационной направленности. Это уроки, на которых изучаются физические основы

профессиональной подготовки автослесаря, сварщика, плотника, каменщика, электрика, станочника деревообрабатывающих станков посредством усиления принципа наглядности через презентационный материал. Приведён банк задач по разным темам курса 7 класса, в котором имеются задачи технического содержания, показывающие роль физики в производственных процессах (см. табл.).

<b>Ориентация на профессию</b>	<b>Базисная тема</b>	<b>Необходимые физические понятия (явления, законы) в освоении материала</b>	<b>Технологические знания и производственные умения в освоении профессии</b>
1	2	3	4
Автослесарь	Движение и взаимодействие тел	Механическое движение. Материальная точка. Равномерное движение. Векторные величины. Скорость, путь и время	Скоростные ограничения на местности; подъём, спуск
Слесарь механосборочных работ		Траектория, путь, инерция. Движение по инерции. Взаимодействие тел, масса	Невозможность мгновенной остановки станка, движущейся детали или инструмента
Столяр-плотник		Инерция, движение по инерции. Взаимодействие тел	Забивание тяжёлым молотком гвоздей, штырей; работа с древесиной
Каменщик		Инерция, движение по инерции. Взаимодействие тел	Технологические особенности рабочего инструмента
Электрик: электроизоляционная и кабельная техника		Плотность вещества. Молекулы и атомы	Изоляция проводов от влаги
Слесарь механосборочных работ	Давление и сила давления	Площадь опоры или подвеса; отбойный молоток: применение сжатого воздуха; пневматический тормоз	Давление инструмента на обрабатываемую поверхность
Станочник деревообрабатывающих станков		Давление на материалы, изготовленные из разного материала	Резец, фреза, ролики наката
Электрик		Масса, плотность и объём	Опоры ЛЭП, электроустановок
Каменщик		Давление твёрдых тел, жидкостей и газов	Фундаменты зданий и сооружений
Сварщик	Строение вещества	Плотность, масса и объём. Диффузия, причины диффузии. Взаимодействие молекул разных веществ: их притяжение и отталкивание	Цементация металлов, диффузное хромирование, азотирование; пайка и холодная сварка
Слесарь механосборочных работ		Агрегатные состояния вещества, их строение: форма, объём. Кристаллизация, испарение, парообразование, конденсация	Отжиг, закаливание металлов. Отлив деталей. Воздушное и жидкостное охлаждение двигателей. Системы отопления

1	2	3	4
Сварщик		Строение металлов, плавление и отвердевание	Испарение металла при сварке
Станочник по металлу		Диффузия, взаимодействие молекул твёрдых веществ	Диффузное изнашивание режущих инструментов
Маляр-штукатур		Агрегатные состояния веществ, испарение, парообразование. Смачивание, капиллярность	Смешивание красителей, окраска поверхностей, сушка помещений, замерзание водных растворов, высыхание окрашенных поверхностей, разбрызг краски со щётки и кисти
Автослесарь		Диффузия, взаимодействие молекул, давление твёрдых тел, жидкостей и газов	Шлифование поверхности перед покраской корпуса
Машинист подъёмных машин	Работа и мощность	Механическая работа. Мощность. Рычаг, правило моментов	Выигрыш в силе. Поднятие груза

Анализ 2009–2010 учебного года показал, что проводимая профориентация учащихся на уроках физики заметно улучшила успеваемость: количество учащихся успевающих на «4» и «5» возросло с 2 до 6%, количество неуспевающих снизилось с 7 до 3%. Заинтересованность в предмете заметно увеличилась, учащиеся охотно идут на занятия, ведут дискуссии на уроках, задают вопросы, касающиеся техники и производства, помогают объяснять учебный материал отстающим, что увеличивает взаимопонимание в классе.

Таким образом, по проведённым исследованиям удалось выявить, что усиление наглядности, опора на практический опыт, организация обучения на основе манипулирования с реальными или виртуальными объектами, решение практических и производственных задач облегчает работу преподавателя и усиливает мотивацию учащихся.

*Научный руководитель: доктор пед. наук, профессор Е. А. Румбешта.*

### Литература

1. Ефименко, А. А. Профессиональная ориентация обучающихся на рабочие профессии в ВСОШ № 4 города Томска / А. А. Ефименко // Развитие мышления в процессе обучения физике : сборник научных трудов / под ред. С. А. Суровикиной. Омск : Изд-во Полиграфический центр КАН, 2009. Вып. 5. С. 109–112.

2. Ефименко, А. А., Румбешта, Е. А. Профессиональная направленность в преподавании курса физики в вечерней (сменной) общеобразовательной школе : учеб.-методич. пособие для преподавателей физики / А. А. Ефименко, Е. А. Румбешта. Томск : ТОИКРО, 2010. 64 с.

# **ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ**

О. В. Куроленко

*Томский государственный педагогический университет*

Новая гуманистическая образовательная парадигма ставит перед образовательной системой важную задачу: подготовить образованного, творческого человека, умеющего адаптироваться к быстро меняющейся социально-экономической среде, рационально организующего самостоятельную деятельность. Изменения в образовательной системе нацелены на то, чтобы сделать ее более приспособленной к изменениям, происходящим в экономике, социальной жизни страны, интегрированной в мировую систему образования. К таким инновационным образовательным технологиям относятся информационные и коммуникационные технологии [1]. Таким образом, выбранная тема является актуальной в современной педагогической науке.

Формирование компетенций происходит средствами содержания образования. В итоге у ученика развиваются способности и появляются возможности решать в повседневной жизни реальные проблемы: от бытовых до производственных и социальных.

Таким образом, ключевые образовательные компетенции конкретизируются на уровне образовательных областей и учебных предметов для каждой ступени обучения.

Перечень ключевых образовательных компетенций определяется нами на основе главных целей общего образования, структурного представления социального опыта и опыта личности, а также основных видов деятельности ученика, позволяющих ему овладевать социальным опытом, получать навыки жизни и практической деятельности в современном обществе.

Компетентность – владение, обладание человеком соответствующей компетенцией, включающей его личностное отношение к ней и предмету деятельности.

Компетенция – включает совокупность взаимосвязанных качеств личности (знаний, умений, навыков, способов деятельности), задаваемых по отношению к определенному кругу предметов и процессов, и необходимых для качественной продуктивной деятельности по отношению к ним.

Цель исследования: на основе анализа современной психолого-педагогической и методической литературы, наблюдения и проведения анкетирования, выявить влияние возрастных особенностей учащихся на формирование ключевых компетенций в процессе обучения физики.

Так же необходимо изучить и проанализировать влияние компетентностного подхода в обучение и формирование ключевых компетенций у школьников разных возрастов.

Обучение физике выполняет три главные функции: образовательную, развивающую и воспитывающую.

Методика обучения физике – педагогическая наука, являющаяся приложением принципов дидактики к преподаванию учебного предмета физики. Методика обучения тесно связана с другими науками, и прежде всего с физикой, психологией

и педагогикой. Развитие педагогической психологии, создание новых психологических компетенций и теорий, теории развивающего обучения, концепций теоретических обобщений, привело к разработке основанных на них технологий обучения физике и развития компетенций [3].

Также, одной из центральных задач школьного образования является развитие мышления учащихся. Приобретение знаний, умений и навыков понимается как средство этого развития. Социальный заказ общества, заключающийся, прежде всего в требовании формирования в условиях школы активной, самостоятельной, культурной личности, изменил отношение педагогической общественности, как к содержанию образования, так и к системе методов и средств обучения. Развитие личности учащегося, прежде всего, предполагает развитие его мышления, основной задачей, которого является развитие творческих способностей учащихся. Физика как учебный предмет обладает особенностями, которые раскрывают широкие возможности для развития творческих способностей учащихся в процессе обучения.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Определение основных компетенций учащихся; их выявление; особенности.
2. Выявление и обоснование педагогических условий, способствующих эффективному формированию компетенции учащихся в образовательном процессе.

Самыми важными компетенциями учащихся являются:

- инструментальная – способность анализировать и решать проблемы;
- информационная компетенция (работа с информацией);
- коммуникативная – умение жить и работать с людьми, с близкими, в трудовом коллективе, в команде.

Для достижения цели исследования были решены следующие задачи:

- выявление компетенций развивающихся в процессе обучения физике;
- определение знаний и умений влияющих на коммуникативные, информационные и инструментальные компетенции школьников;
- разработка экспериментальных анкет, позволяющих оценить знания и умения, являющиеся индикаторами компетенций;
- анализ результатов анкетирования, оценка развития выбранных ключевых компетенций школьников;
- сравнение уровня сформированности коммуникативных, информационных и инструментальных ключевых компетенций у учащихся гуманитарных и естественнонаучных классов.

Коммуникативные компетенции формируем не только во время защиты работ, проектов, но и при опросе на уроках, оценивании заданий, участии во внеклассных мероприятиях.

Коммуникативная компетенция, включающая в себя:

- 1) умение общаться с одноклассниками;
- 2) умение использовать средства общения (вербальные и невербальные);
- 3) умение предотвращать и разрешать конфликтные ситуации и т.д.

Информационная компетенция – совокупность знаний, умений и навыков по поиску, анализу и использованию информации (работа с научными текстами, популярной литературой по предмету), обладание компьютерной грамотностью, использование современных аудиовизуальных, информационных и коммуникационных технологий (видеоматериалы, компьютер и сопряженная с ним

аппаратура), знание и умение в использовании программных продуктов по физике (обучающие программы, демонстрационные программы) и т.д.

Инструментальная компетенция предполагает умение проводить как исследовательские, так и иллюстративные лабораторные работы, отражает способность обрабатывать и объяснять результаты экспериментальных работ, организовывать демонстрацию какого-либо явления. Эта компетенция включает в себя также умение использовать методы научного познания мира, решать поставленные цели и задачи [5].

Проектируемое на данной основе образование будет обеспечивать не только разрозненное предметное, но и целостное компетентностное образование. Образовательные компетенции ученика будут играть многофункциональную метапредметную роль, проявляющуюся не только в школе, но и в семье, в кругу друзей, в будущих производственных отношениях.

Анализируя деятельность ученика можно отметить, что ведущая роль на уроке в обучении принадлежит ученику, задача учителя – обеспечить условия, в частности, предоставить учащимся выбор средств обучения, способов действия и форм работы.

Основным средством реализации компетентностного подхода является для меня изучение и использование современных образовательных технологий проблемного, дифференцированного обучения, информационно-коммуникационные технологии, технологии проектного обучения, потому что заложенная в технологиях структура деятельности совпадает со структурой деятельности компетентностного подхода и позволяет включать каждого ученика в самостоятельные культуросообразные виды деятельности.

При этом в своей практической деятельности руководствуюсь принципами:

1. В любом действии, где только возможно, предоставлять ученику право выбора. Но всегда уравнивать его осознанной ответственностью за свой выбор.

2. Работая по реализации компетентностного подхода, я утвердилась в понимании не только особой методической структуры урока, но и пришла к необходимости проработки содержания школьного курса физики, направленного на формирование компетентности ученика. Углубление знаний в предметной области, формирование научного мышления и мировоззрения, расширение кругозора.

Компетентностный подход, как и другие инновационные подходы в обучении, требует поэтапного внедрения. На первом этапе внедрения, можно, например, формировать такие элементарные общеучебные компетенции школьников, как:

- извлечение основного содержания прочитанного или услышанного;
- точная формулировка мыслей, построение оригинальных высказываний по заданному вопросу или теме;
- исследование различных вариантов решения задач, выбор наилучшего, принимая во внимание различные критерии;
- сотрудничество с другими (учениками и учителем) при выполнении общего задания;
- планирование действий и времени;
- оценка результатов своей деятельности и т.д.

Анализ особенностей содержания преподаваемого предмета (физика) и возможностей учеников, уровня их развития, позволяет нам выделить в качестве

наиболее актуальных следующие компетенции: учебно-познавательная, информационная, коммуникативная и компетенция личностного самосовершенствования.

Если при традиционном подходе уровень обученности (успеваемости) учащихся по отдельным темам составлял в различных классах от 66 до 72%, то при реализации компетентностного подхода показатели выросли от 75 до 83%, качество знаний поднялось с отметок 30–33% до 43–45%.

Практика показала, что наиболее сложны в оценивании мыслительные навыки, они требуют конкретизации и оценивания по следующим мыслительным операциям: анализ, синтез, сравнение, обобщение, логичность (умение устанавливать причинно-следственные связи). Для их диагностики необходима база знаний по теме, что позволит избежать оценивания уровня знаний, а оценит уровень мыслительных навыков. Именно отработка мыслительных навыков позволит перейти школе от школы «памяти» к школе мышления. Возрастные особенности учеников огромным образом влияют на развитие компетенций. Применение компетентностного подхода различным образом влияет на учащихся младших и старших классов. Проанализировать это возможно при разработки анкет, в которые включены различного рода индикаторы, которые присущи ключевым компетенциям. С их помощью можно сделать более глубокий и точный анализ развития и формирования компетенций у школьников.

*Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент Ю. О. Лобода.*

#### **Литература**

1. Азбукина, Е. Ю. Рефлексивная контрольно-самооценочная деятельность будущего учителя как ресурс качества педагогической подготовки : дис. ... канд. пед. наук / Е. Ю. Азбукина. Томск, 2005. 185 с.
2. Альникова, Т. В. Формирование проектно-исследовательской компетенции учащихся на элективных курсах по физике : дис. ... канд. пед. наук / Т. В. Альникова. Томск, 2007. 174 с.
3. Вох, Е. П. Формирование графических компетенций у будущих инженеров в самостоятельной познавательной деятельности : автореф дис. ... канд. пед. наук / Е. П. Вох. Екатеринбург, 2008. 18 с.
4. Болотов, В. А., Сериков, В. В. Компетентностная модель: от идеи к образовательной программе / В. А. Болотов, В. В. Сериков // Педагогика. 2003. № 10.
5. Гетманская, А. А. Формирование ключевых компетентностей у учащихся [Электронный ресурс] / А. А. Гетманская. Режим доступа: <http://festival.1september.ru/articles/213541/>
6. Лебедев, О. Е. Компетентностный подход в образовании / О. Е. Лебедев // Школьные технологии. 2004. № 5. С. 3.

## **КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ БИНАРНЫХ НИТРИДОВ**

**М. Ю. Пермякова, С. В. Обухов**

*Томский государственный педагогический университет*

Исследования свойств нитридов элементов группы III (AlN, GaN, InN) и их сплавов, представляющих собой широкозонные полупроводники (ШЗП) с прямыми оптическими переходами, позволили заключить, что они являются наиболее перспективными материалами для изготовления светодиодов, излучающих во всей видимой и ультрафиолетовой (240–620 нм) областях спектра. Эти



материалы отличается уникальное сочетание электрофизических свойств, обещающих качественное улучшение параметров приборов на их основе. Почти по всем основным параметрам ШЗП в несколько раз превосходят традиционные материалы.

Цель моей работы – выявить псевдопотенциалы, которые ближе всего соглашаются с экспериментальными значениями, и, применяя эти вычисленные параметры, построить колебательные спектры и сравнить их с другими данными.

Для расчета энергетических характеристик полупроводников AlN и GaN использовался пакет программ Espresso 3.2 [1]. Мы составляем скрипты к данной программе, в которых задаем определенные параметры для расчета энергетических характеристик кристалла.

Для каждой характеристики используется свой скрипт.

Расчет производился методом функционала электронной плотности и методом псевдопотенциала.

В качестве псевдопотенциалов применялся широкий набор псевдопотенциалов, представленных на официальном сайте Espresso (<http://www.pwscf.org>).

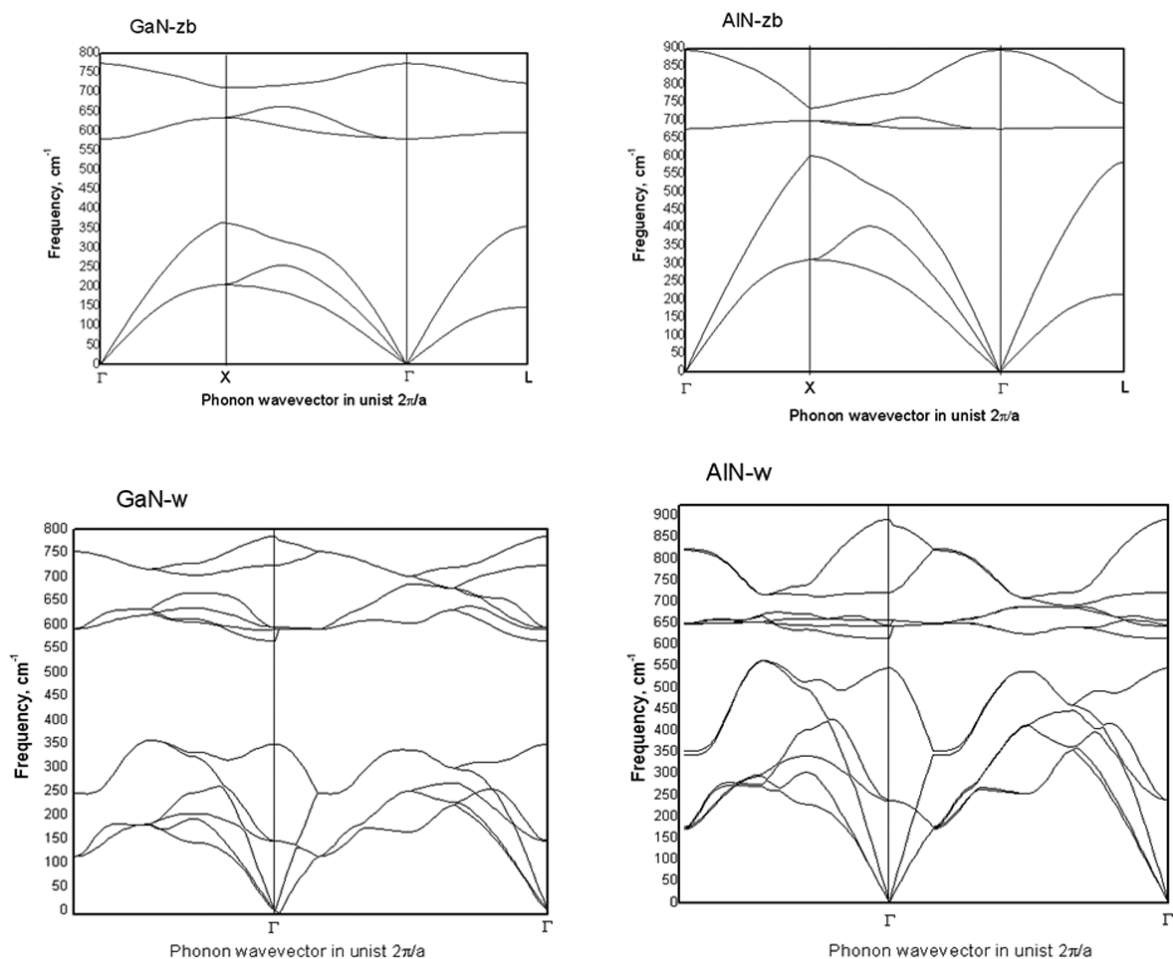


Рис. 1. Колебательные спектры бинарных нитридов AlN и GaN

На первом этапе была исследована сходимость полной энергии в зависимости от числа плоских волн в разложении волновой функции, которое регулируется значением параметра обреза кинетической энергии.

Параметр обрезания кинетической энергии, контролирующей сходимость процесса самосогласования в методе функционала электронной плотности, имеет разные значения: для сфалерита – 45 Ry, для вюрцита – 80 Ry обоих полупроводников.

Был проведен расчет полной энергии кристаллов. Для каждого соединения в обеих модификациях была вычислена постоянная решетки.

В структуре сфалерита кристаллов AlN и GaN значения постоянной решетки  $a = 8,285$  а.е. и  $a = 8,357$  а.е. (соответственно) находятся в согласии с экспериментальными данными  $a = 8,506$  а.е. [2]. Для w-GaN и w-AlN вычисленные постоянные решетки близки к вычисленным в работе [3].

Для построения фононного спектра использовались найденные нами постоянные решетки. В ходе работы выяснилось, что колебательные спектры для сфалеритов GaN и AlN и для вюрцита AlN хорошо согласуются с данными из другой литературы, а спектр вюрцита GaN дает некоторые сбои. Так в точке  $\Gamma$  сходятся не все линии. Причина возникновения данной проблемы пока не обнаружена, но ведутся исследования для ее устранения.

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. Г. Тютерев.*

#### Литература

1. Baroni, S. et al. Access mode: <http://www.pwscf.org>
2. Landolt-Bornstein. Numerical data and Functional Relationships in Science and Technology, New Series / Landolt-Bornstein // Springer-Verlag. 1987. Vol. 22a. 451 s.
3. Karch, K., Wagner, J.-M., Bechstedt F. // Phys. Rev. 1998. B. 57, 7043.

## **РАСЧЕТЫ СВОЙСТВ ZnO МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ**

**И.Р. Сороковенко**

*Томский государственный педагогический университет*

ZnO встречаются в двух кристаллических модификациях: цинковая обманка, или сфалерит, и вюрцит [4. С. 174]. В структуре вюрцита ZnO обладает важным практическим значением – является катализатором в фотокаталитических реакциях. Цель данной работы – расчет зонного и фононного спектров ZnO в более простой структуре сфалерита (цинковой обманки).

Расположение и форма зон зависит от химического состава кристалла, его симметрии и свойств и образующих кристалл атомов [2. С. 40].

Структура сфалерита относится к гексатетраэдрическому классу кубической сингонии. Это гранецентрированная кубическая решетка, в которой заселена половина тетраэдрических пустот. В сфалерите атомы одного сорта (цинка) занимают узлы гранецентрированной кубической ячейки, а атомы другого сорта (кислорода) – центры четырех октантов. Структуру сфалерита можно описать как две взаимопроникающих гранецентрированных кубических решеток, смещенных друг относительно друга на четверть диагонали кубической ячейки [4. С. 180].

Элементарной ячейкой кристалла ZnO является куб, состоящий из двух типов атомов – цинка и кислорода.

Зона Бриллюэна кубической решетки – усеченный октаэдр с 14 гранями, семь из которых – правильные шестиугольники, остальные шесть – квадраты. В зоне Бриллюэна существует несколько симметричных точек и направлений [5. С. 80]. Для цинковой обманки наибольший интерес, среди симметричных точек зоны Бриллюэна представляют точки  $\Gamma$ ,  $X$ ,  $L$ .

Расчет зонной структуры ZnO основан на методе функционала плотности (DFT). Метод функционала электронной плотности является основой для расчета свойств основного состояния твердых тел.

Для расчета мною выбраны псевдопотенциалы в форме BHS (Bachelet, Hamann, Schluter): для цинка – Zn.pw91-n-van.UPF, для кислорода – O.pw91-van\_ak.UPF, приведенные в [6].

С выбранными потенциалами рассчитывались самосогласованным образом значения полной энергии кристалла в зависимости от постоянной кристаллической решетки. Для расчета использовался пакет программ Espresso 3.2.

При расчете использовался набор из 15 специальных точек, количество плоских волн, учитываемых в разложении волновых функций, регулируется фактором обрезания кинетической энергии  $E_{cut}$ . Характер зависимости полной энергии от фактора обрезания приведен на рис. 1.

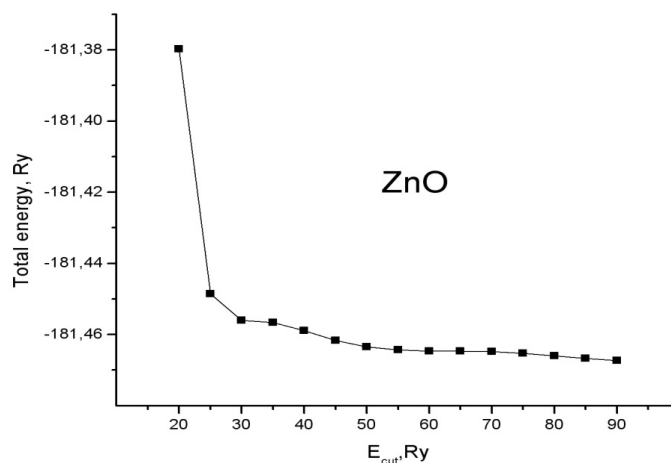


Рис. 1. Сходимость полной энергии кристалла ZnO в зависимости от максимального значения кинетической энергии плоских волн, учитываемых в разложении волновых функций

Для соединения ZnO было принято значение  $E_{cut} = 60$  Ry. Равновесная структура находилась подгонкой расчетной кривой зависимости энергии от постоянной решетки к уравнению состояния в форме Мурнагана. График зависимости энергии от постоянной решетки приведен на рис. 2.

Зонный спектр кристалла ZnO вычислен с использованием Espresso 3.2 самосогласованным образом при расчетных значениях постоянных решетки и приведен на рис. 3.

На рис. 3 изображены несколько верхних валентных зон и несколько нижних зон проводимости ZnO в структуре цинковой обманки, вдоль двух направлений

зоны Бриллюэна. Цинк – элемент II группы таблицы Менделеева, кислород – VI, поэтому имеют 6 и 2 валентных электрона соответственно. На элементарную ячейку приходится 16 валентных электронов. Эти валентные электроны заполняют 8 валентных зон, следующие зоны – зоны проводимости.

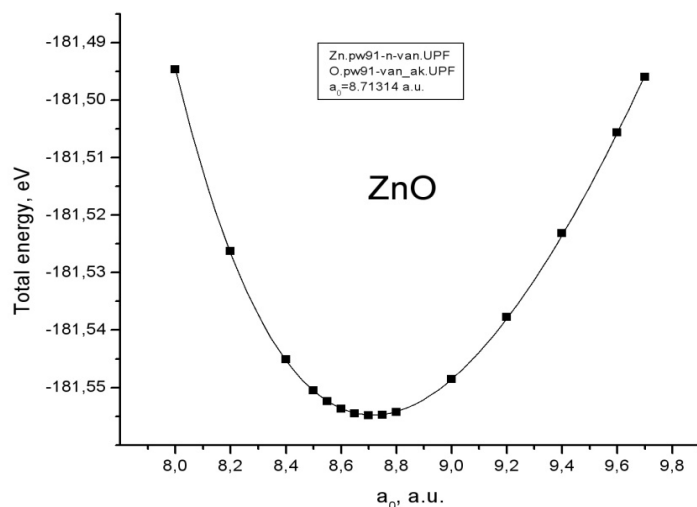


Рис. 2. Зависимость полной энергии кристалла ZnO от постоянной решетки

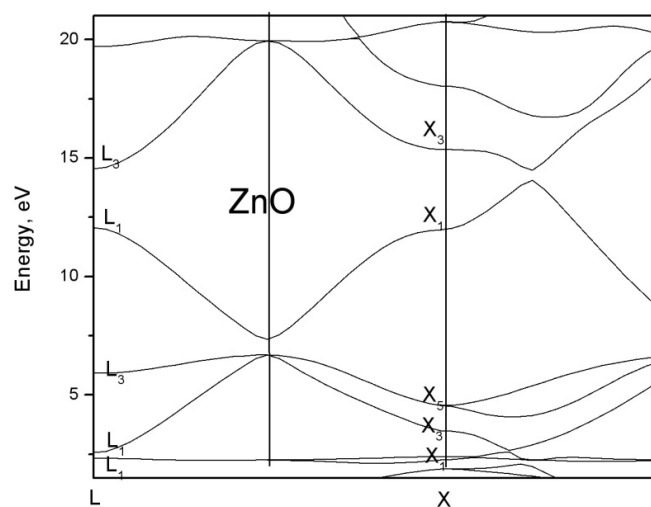


Рис. 3. Электронная зонная структура ZnO в решетке цинковой обманки

Ширина запрещенной зоны  $\sim 0,7 \text{ eV}$ , следовательно, кристалл ZnO с такой структурой, является полупроводником.

В окрестности точки  $\Gamma$  расположены край валентной зоны  $\Gamma_{15}$  и край зоны проводимости  $\Gamma_1$ .

Для зонного спектра цинковой обманки была также определена плотность состояний – число состояний в единичном интервале энергий для единичного объема кристалла.

Фононный спектр и плотность состояний для ZnO в структуре цинковой обманки рассчитаны с использованием программы Espresso 3.2. Фононный спектр приведен на рис. 4.

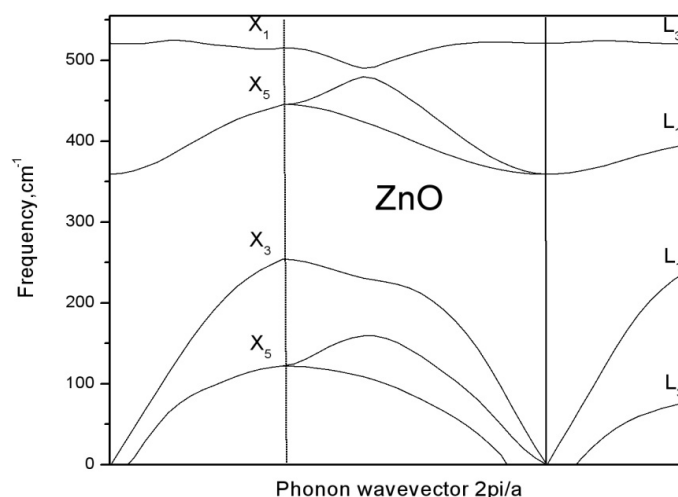


Рис. 4. Фононный спектр ZnO в структуре цинковой обманки

На рис. 4 три верхние кривые представляют собой оптические ветви дисперсионных кривых, три нижние – акустические ветви. Как видно из рис. 4, рассчитанное численно поведение частот поперечных акустических колебаний вблизи точки  $k = 0$  не соответствует строгой теории [1]. Причины такого расхождения нуждаются в дополнительном исследовании.

Приведенные результаты могут служить основой для анализа энергетических спектров и физических свойств ZnO в других кристаллических модификациях.

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор В. Г. Тютерев.*

#### Литература

1. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. М. : Наука ФМЛ, 1978. 792 с.
2. Цидильковский, И. М. Зонная структура полупроводников / И. М. Цидильковский. М. : Наука ФМЛ, 1978. 328 с.
3. Маделунг, О. Теория твердого тела / О. Маделунг. М. : Наука ФМЛ, 1980. 416 с.
4. Павлов, П. В., Хохлов, А. Ф. Физика твердого тела / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. М. : Высш. шк., 2000. 494 с.
5. Тютерев, В. Г., Чернышов, В. Н. Введение в теорию кристаллических твердых тел / В. Г. Тютерев, В. Н. Чернышов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1988. 117 с.
6. Электронный ресурс: <http://www.pwscf.org>

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ**

**А. Х. Хакимова**

*Томский государственный педагогический университет*

Цель образования сегодня – это создание условий для развития и саморазвития учащихся, воспитания у них способности принимать самостоятельные решения. Важнейшим компонентом новой модели школьного образования является ее ориентация на практические навыки, на способность применять знания, реализовывать собственные проекты. В практике деятельности инновационных

образовательных учреждений такой подход принято называть компетентностным. Речь идет об овладении обучающимися умениями коммуникации, анализа, понимания, принятия решений. При таком подходе существенно меняется роль и задачи изучения дисциплин социально-гуманитарного и естественнонаучного циклов, возрастает значимость учебных курсов с элементами освоения технологий. В них будут активно использоваться проектные методы, вовлекающие школьников в практическую деятельность.

Вопрос о том совместима ли проектная деятельность учащихся с классно-урочной системой по-прежнему остаётся дискуссионным. Современные ученые-педагоги различают проектную форму организации учебного процесса, альтернативную классно-урочной системе, и метод проектов [3. С. 28], который может быть использован на уроках наряду с другими методами обучения. Практика работы отечественных школ рубежа XX–XXI вв. показывает, что проект, действительно, не вписывается в урок продолжительностью 40–45 минут.

На современном этапе развития школьного образования возникает интерес педагогов к использованию метода проектов в преподавании учебных дисциплин в рамках одного урока. Такие проекты, которые укладываются в один урок или несколько занятий наиболее востребованы в школе и интересны с методической точки зрения. Они получили название мини проекты. Основной формой работы на уроке при выполнении мини-проектов является групповая работа, которая способствует взаимообучаемости школьников. Если каждая группа решает одну и ту же задачу, то целесообразно формирование разноуровневых групп. При дифференциации задач можно формировать группы, в которые войдут учащиеся одного образовательного уровня.

В ходе урока мини-проекта присутствуют все этапы, характерные для реализации любого исследовательского проекта. В отличие от проектов, требующих больших временных рамок, урок мини-проект может иметь место при изучении свойств объектов, определении взаимосвязей между объектами, доказательстве теорем и выводе формул, отработке навыков решения различных задач и т.д. При выборе тем для проектов необходимо учитывать возрастные и индивидуальные особенности обучающихся.

Важно помнить, интерес к работе и посильность во многом определяют успех. Период начала изучения физики совпадает со средним школьным возрастом – это 10–15 лет. Он совпадает с обучением в школе второй ступени (5–9-й классы). Неумение связывать восприятие окружающей жизни с учебным материалом – характерная особенность учеников среднего школьного возраста. В данном возрасте внимание избирательное: интересные уроки или интересные дела очень увлекают подростков, и они могут долго сосредотачиваться на одном явлении или материале [1. С. 97–98]. В подростковом возрасте мышление становится более систематизированным, последовательным, зрелым и приобретает новую черту – критичность. Подросток склонен к спорам и возражениям. Нужно постоянно предлагать ученикам решать проблемные задачи, сравнивать, выделять главное, находить сходные и отличительные черты, причинно-следственные связи. В подростковом возрасте идет интенсивное нравственное и социальное формирование личности.

В 5–7-х классах учащиеся ещё коллективно решают учебные задачи и вместе с тем осваивают различные знаковые модели фиксации их условий и ориентации

в них, чтобы впоследствии использовать эти модели самостоятельно, для индивидуального решения задач. В 8–9-х классах учащиеся постепенно приступают к самостоятельной постановке учебных задач и к самостоятельной оценке своих решений. Так в 7-м классе учащимся можно предлагать информационно-практические проекты, ориентированные на изучение явлений природы, потому что именно в этом возрасте доминирует познавательная потребность. При ее удовлетворении, у ученика формируются устойчивые познавательные интересы, которые определяют его положительное отношение к учебным предметам. Например, урок с выполнением мини-проектов «Экскурсия в зимний лес», в ходе которого ученикам предстоит выполнить два мини-проекта, направленных на изучение физических явлений, встречающихся в природе зимой. Проведение урока в такой форме позволяет формировать умения обосновать ход эксперимента и умения планировать ход реализации цели.

На начальном этапе изучения физики можно проводить уроки с выполнением мини-проектов на таком уровне, когда учащиеся совместно с учителем планируют свою деятельность в работе над проектом. Учитель является координатором действий учеников. Для развития проектных умений учащихся первые проекты должны быть с открытой четкой координацией. Задача учителя проконтролировать соблюдение временных рамок выполнения проекта, обсудить процесс работы, по возможности, сохранить самостоятельность в работе своих учеников, тем самым формируя побудительный мотив учебной деятельности. Перед выполнением первого проекта учитель подробно объясняет учащимся, что такое проект, каковы его основные этапы, и делает акцент на получение осязаемого результата как цели всей работы.

В 8-м классе можно предложить иной уровень выполнения мини-проектов, где учащиеся знакомятся с постановкой проблемы, принимают цель исследования, знакомятся с гипотезой, сами интерпретируют полученные результаты, сами планируют работу, а учителю необходимо лишь корректировать действия обучающихся. В этом возрасте ученикам можно предложить выполнение практико-исследовательских проектов, ориентированных на изучение явлений природы и быта, например урок с выполнением мини-проектов «Особенности видов теплопередачи», в ходе которого ученики исследуют проявления видов теплопередачи в природе, быту и технике. При выполнении мини-проектов на данном этапе обучения роль учителя ослабевает, при выполнении работ появляется самостоятельность учеников.

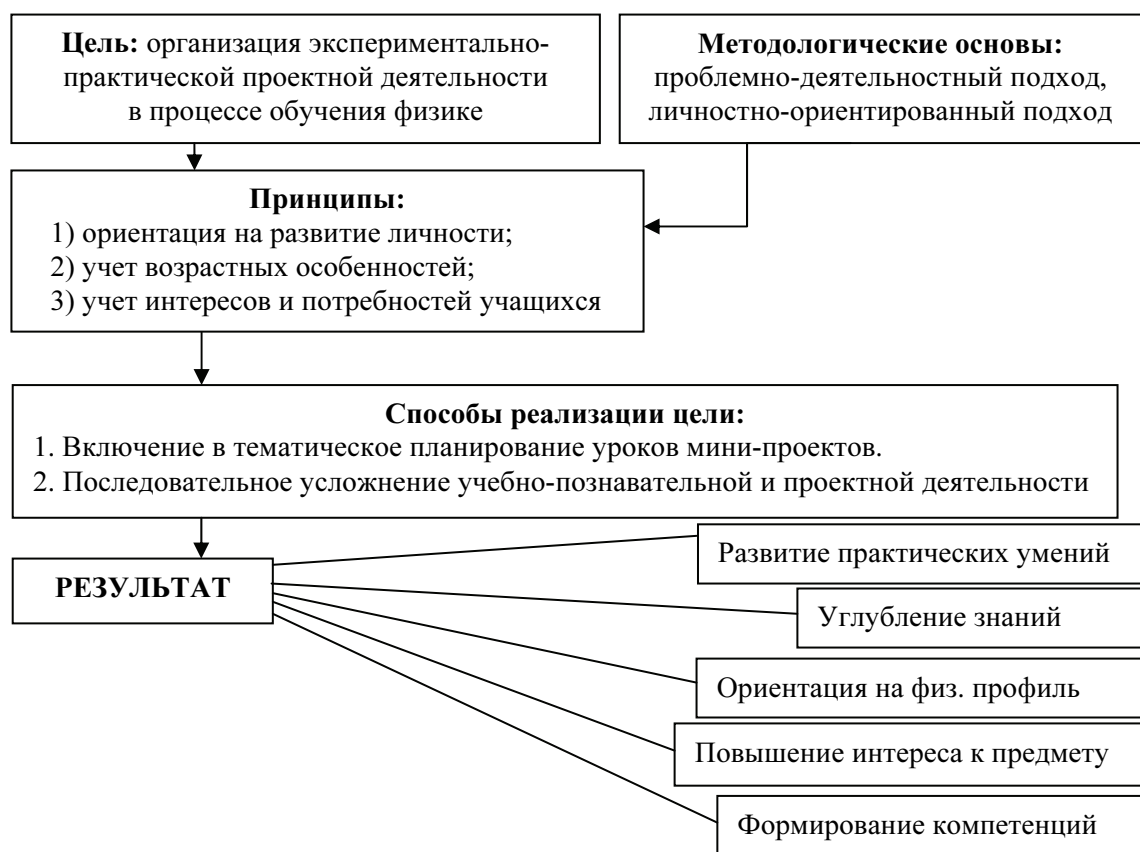
К концу подросткового периода перед школьниками реально встает проблема выбора профессии. Поэтому в 9-м классе обучающимся можно предлагать проекты практического направления, которые ориентируют учащихся на дальнейший выбор профессии. Работа по выполнению мини-проектов в 9-м классе уже отличается тем, что степень самостоятельности возрастает, роль учителя еще более ослабляется, учитель выступает как консультант. Появляется возможность проводить уроки с выполнением мини-проектов на более высоком уровне, где учащиеся знакомятся с проблемой, сами формулируют цель и выдвигают гипотезу, планируют и осуществляют эксперимент, интерпретируют полученные результаты, или учащиеся сами обнаруживают проблему, формулируют цель исследования, предполагают возможные результаты (выдвигают гипотезу), планируют, осуществляют эксперимент и интерпретируют полученные результаты.

В 9-м классе учащиеся постепенно приступают к самостоятельной постановке учебных задач и к самостоятельной оценке своих результатов.

Анализ результатов процесса обучения учащихся основной школы на основе метода проектов на примере учеников 8 класса можно отразить в таблице:

	Повышение интереса (опрос учеников)	Активизация учащихся (на уроке и во внеурочное время)	Углубление знаний (результаты качественной успеваемости)	Формирование практических умений (планировать деятельность, собирать установку, снимать показания приборов и т.п.)
Начало учебного года	40%	30%	58%	40%
Конец учебного года	65%	70%	67%	60%

Построение обучения физике учащихся основной школы с использованием мини-проектов можно выразить схемой:



### Литература

1. *Возрастная и педагогическая психология* : учебник студентов пед. институтов / В.В. Давыдов, Т.В. Драгунова, Л.Б. Ительсон и др. ; под ред. А.В. Петровского. 2-е изд., испр. и доп. М. : Просвещение, 1979. 288 с.
2. *Организация проектной деятельности в образовательном учреждении* / сост. С.Г. Щербакова. Волгоград : ИТД «Корифей». 96 с.
3. *Сергеев, И. С.* Как организовать проектную деятельность учащихся : практическое пособие для работников общеобразовательных учреждений / И. С. Сергеев. 4-е изд., испр. и доп. М. : АРКТИ, 2007. 80 с.



**СЕКЦИЯ  
АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ**



## О ВНУТРЕННИХ АВТОМОРФИЗМАХ ГРУППЫ $D_{2n}$

Н. Н. Авдеева

Томский государственный педагогический университет

Исторически теория групп возникла из изучения автоморфизмов поля разложения многочлена. Свойства группы автоморфизмов – группы Галуа многочлена  $f(x)$ , позволили решить вопрос о разрешимости уравнения  $f(x) = 0$  в радикалах [1].

В современной алгебре группы автоморфизмов рассматриваются для различных классов алгебраических систем, в частности детально изучены группы автоморфизмов некоторых групп. [3]

Группа автоморфизмов группы  $G$  служит источником важных сведений о самой группе. Так, если  $|G| = n$  и существует хотя бы один её автоморфизм второго порядка без неподвижных (кроме  $e$ ) точек, то  $G$  – абелева группа нечетного порядка. [2] Отметим также тот факт, что каждая группа изоморфно вкладывается в группу автоморфизмов некоторой абелевой группы [3].

Таким образом, изучение групп автоморфизмов является важной задачей в теории групп.

В [5] было доказано, что группа автоморфизмов диэдральной группы порядка  $2n$  представима в виде  $C_n \lambda Z_n^*$ , где  $n > 2$ .

Обратимся теперь к рассмотрению внутренних автоморфизмов конечных диэдральных групп.

Известно [4], что для каждой группы  $\langle G, \rangle$  множество всех её внутренних автоморфизмов  $InnG$  образует нормальный делитель группы  $AutG$ , причем

$$InnG \cong G / Z(G). \quad (1)$$

Поэтому, для изучения  $InnD_{2n}$  обратимся к изучению  $Z(D_{2n})$  – центра диэдральной группы.

Так как группа  $D_4$  – абелева, то  $Z(D_4) = D_4$ , следовательно  $InnD_4 = \{e\}$ .

Пусть теперь  $n > 2$ .

Справедливо следующее:

**Предложение 1.**  $|Z(D_{2n})| \in \{1, 2\}$ .

**Доказательство.**

Согласно определению центра

$$a^k b^t \in Z(D_{2n}) \Leftrightarrow \forall i \in \overline{0, n-1}, j \in \overline{0, 1} \quad a^i b^j \cdot a^k b^t = a^k b^t \cdot a^i b^j, \quad (2)$$

пусть  $t = 1$ , тогда для  $j = 0$  из (2) получаем  $a^{i+k} b = a^k b a^i$ .

Следовательно,  $\forall i \quad (a^{i+k} b = a^{k-i} b)$ , откуда  $\forall i \quad (a^i = a^{-i})$ .

В частности при  $i = 1 \quad (a = a^{-1})$ , то есть  $O(a) = 2$ , что противоречит условию, следовательно,  $t = 0$ .

Таким образом, из (2) получаем:  $\forall i, j \quad (a^i b^j a^k = a^{k+i} b^j)$ , откуда  $a^{-k} b^j = a^{k+i} b^j$ , то есть  $a^{-k} = a^k$ .

Следовательно,  $a^k \in Z(D_{2n}) \Leftrightarrow a^k = e$  или  $O(a^k) = 2$ .

Заметим, что  $O(a^k) = \frac{n}{(n,k)} = 2$ , отсюда  $n = 2 \cdot (n,k)$ . Получаем: если  $n$  – нечетное, то

$$Z(D_{2n}) = \{e\}. \quad (2.1)$$

Пусть  $n$  – четное, тогда  $(n,k) = \frac{n}{2} \Rightarrow k = \frac{n}{2}$ . Таким образом, для  $n = 2k$

$$Z(D_{2n}) = \{e, a^k\}. \quad (2.2)$$

Из (2.1) и (2.2) вытекает, что  $\forall n > 2 \quad |Z(D_{2n})| \in \{1, 2\}$ .

**Следствие 2.** Пусть  $n > 2 \wedge n \equiv 1 \pmod{2}$ . Тогда  $\text{Inn}D_{2n} \simeq D_{2n}$ .

Справедливость утверждения вытекает непосредственно из (1) и (2.1).

**Теорема 3.**

Пусть  $n > 2 \wedge n \equiv 0 \pmod{2}$ , тогда  $\text{Inn}D_{2n} \simeq D_n$ .

**Доказательство.**

Имеем:  $D_{2n} = \{e, \dots, a^k, a^{k+1}, \dots, a^{2k-1}, b, \dots, a^k b, \dots, a^{2k-1} b\}$ ,  $Z(D_{2n}) = \{e, a^k\}$ .

Тогда  $\forall i \in \overline{0, k-1} \quad (a^i Z = a^{k+i} Z \wedge a^i b Z = a^{k+i} b Z)$ .

Отсюда,  $D_{2n} / Z = \{Z, aZ, a^2 Z, \dots, a^{k-1} Z, bZ, abZ, a^2 bZ, \dots, a^{k-1} bZ\}$ , где все элементы попарно различны.

Покажем, что группа  $\langle D_{2n} / Z, \cdot \rangle$  изоморфна  $\langle D_n, \cdot \rangle$ . Для этого согласно теореме 2.5 [4], достаточно показать:

1)  $D_{2n} / Z = \langle x, y \rangle$ ;

2)  $O(x) = n / 2$ ;

3)  $O(y) = 2$ ;

4)  $x \neq y$ ;

5)  $y^{-1}xy = x^{n-1}$ .

Пусть  $x = aZ$ ,  $y = bZ$ .

Выполнение условий (1)–(4) очевидно.

Проверим условие (5). Имеем:

$$y^{-1}xy = bZ \cdot aZ \cdot bZ = babZ,$$

$$x^{n-1} = (aZ)^{n-1} = a^{n-1}Z.$$

Так как  $bab = bba^{n-1} = a^{n-1}$ , то  $y^{-1}xy = x^{n-1}$ .

Таким образом, все упомянутые условия выполнены и при  $n > 2 \wedge n \equiv 0 \pmod{2}$   $\text{Inn}D_{2n} \simeq D_n$ .

В частности:

1.  $\text{Inn}D_6 \simeq D_6$ , то есть  $\text{Inn}D_6 = \{\varphi_e, \varphi_a, \varphi_{a^2}, \varphi_b, \varphi_{ab}, \varphi_{a^2b}\}$ , где  $\forall_{D_6} x \quad \varphi_g(x) = gxg^{-1}$ .

В частности,  $\varphi_a(x) = axa^2$ ,  $\varphi_{a^2b}(x) = a^2bx(ba)$ .

2.  $\text{Inn}D_8 \simeq D_4$ ,  $\text{Inn}D_8 = \{\varphi_e, \varphi_a, \varphi_b, \varphi_{ab}\}$ .

### Литература

1. Каргаполов, М. И., Мерзляков, Ю. И. Основы теории групп / М. И. Каргаполов, Ю. И. Мерзляков. М. : Наука, 1977. 240 с.
2. Кострикин, А. И. Введение в алгебру / А. И. Кострикин. М. : Наука, 1977. 496 с.
3. Курош, А. Г. Теория групп / А. Г. Курош. М. : Наука, 1967. 648 с.
4. Авдеева, Н. Н. // XIII всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (20–24 апреля 2009 г.). Томск : Изд-во ТГПУ, 2009. Т. 1. 218 с.
5. Авдеева, Н. Н. // XIV всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (19–23 апреля 2010 г.). Томск : Изд-во ТГПУ, 2010. Т. 1. 268 с.

## О СИЛОВСКИХ $p$ -ПОДГРУППАХ ГРУПП $GL(2, Z_p)$ И $SL(2, Z_p)$

З. И. Балицкая

*Томский государственный педагогический университет*

Теория конечных групп является одной из старейших и интенсивно развивающихся ветвей теории групп. Многие глубокие свойства этих групп выводятся из арифметических свойств их порядков. Краеугольным камнем теории конечных групп являются теоремы норвежского математика Л. Силова.

Пусть  $\langle G, \cdot \rangle$  – произвольная группа порядка  $p^n m$ , где  $p$  – простое и  $(p, m) = 1$ . Тогда подгруппа  $P$  группы  $G$  называется силовской  $p$ -подгруппой, если  $|P| = p^n$  [1]. Имеют место следующие теоремы:

**Первая теорема Силова.** Силовские  $p$ -подгруппы существуют.

**Вторая теорема Силова.** Любые две силовские  $p$ -подгруппы сопряжены, то есть, пусть  $P$  и  $P_1$  – силовские  $p$ -подгруппы, тогда существует элемент  $a \in G$  ( $P_1 = aPa^{-1}$ ).

**Третья теорема Силова.** Для числа  $N_p$  силовских  $p$ -подгрупп группы  $G$  имеет место следующее сравнение:  $N_p \equiv 1 \pmod{p}$  [1].

**Постановка задачи:** определить количество всех силовских  $p$ -подгрупп в полной и специальной линейных группах квадратных матриц над полем  $Z_p$  [3].

Рассмотрим полную и специальную линейные группы квадратных матриц второго порядка над полем  $Z_p$ :

$$GL(2, Z_p) = \left\{ A = (a_{ij})_{2 \times 2} \mid a_{ij} \in Z_p, \det A \neq 0 \right\},$$

$$SL(2, Z_p) = \left\{ A = (a_{ij})_{2 \times 2} \mid a_{ij} \in Z_p, \det A = 0 \right\},$$

и их подгруппу  $P = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & a \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \mid a \in Z_p \right\}$ .

Сначала докажем, что подгруппа  $P$  является силовской  $p$ -подгруппой указанных групп.

*Доказательство.* Так как  $|P| = p$ , то достаточно доказать, что порядки обеих групп не делятся на  $p^\alpha$ , где  $\alpha > 1$ .

Покажем, что  $P$  – силовская  $p$ -подгруппа  $GL(2, Z_p)$ .

Для определения порядка группы  $GL(2, Z_p)$  обратимся к группе  $GL(n, Z_p)$ .

Пусть  $A \in GL(n, Z_p)$ , т.е.  $A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$ . Обозначим первую строку через  $\overline{a_1}$ ,

вторую строку через  $\overline{a_2}$  и т.д., последнюю  $\overline{a_n}$ . Напомним, что  $\det A \neq 0$  тогда и только тогда, когда строки линейно независимы. Следовательно, строка  $\overline{a_1}$  может быть выбрана  $p^n - 1$  способом. После ее выбора для строки  $\overline{a_2}$  остается  $p^n - p$  способов ( $p$  – количество строк пропорциональных  $\overline{a_1}$ ) и т.д. Так как  $\forall i (a_i \neq k_1 a_1 + k_2 a_2 + \dots + k_{i-1} a_{i-1})$ , то для выбора строки  $\overline{a_i}$  существует  $p^n - p^{i-1}$  способов.

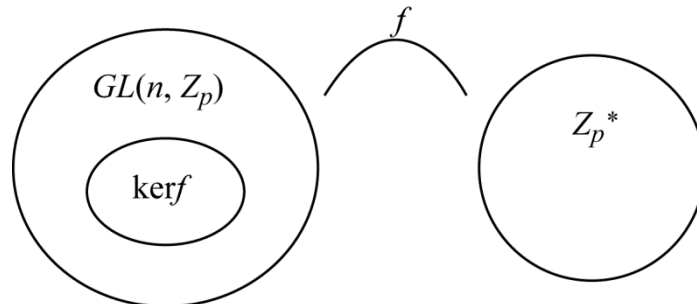
Таким образом,  $|GL(n, Z_p)| = (p^n - 1)(p^n - p) \dots (p^n - p^{n-1})$ . В частности, при  $n = 2$  получаем:

$$|GL(2, Z_p)| = (p^2 - 1)(p^2 - p) = (p - 1)(p + 1)p(p - 1) = p(p - 1)^2(p + 1).$$

То есть,  $|GL(2, Z_p)| = p(p - 1)^2(p + 1)$ , откуда видим, что  $|GL(2, Z_p)| \nmid p^\alpha$ , где  $\alpha > 1$ . Таким образом, подгруппа  $P$  является силовской  $p$ -подгруппой группы  $GL(2, Z_p)$ .

Подгруппа  $P$  – силовская  $p$ -подгруппа  $SL(2, Z_p)$ .

Для доказательства зададим отображение  $f : GL(n, Z_p) \rightarrow Z_p^*, f(A) = \det A$ . Нетрудно заметить, что  $f$  – сюръективный гомоморфизм первой группы на вторую. Тогда воспользуемся теоремой о гомоморфизме для групп.



Имеем:  $Z_p^* \cong GL(n, Z_p) / \ker f$  и  $|Z_p^*| = p - 1$ . Так как  $\ker f = SL(n, Z_p)$ , то

$$Z_p^* \cong \frac{GL(n, Z_p)}{SL(n, Z_p)}.$$

Тогда получаем:  $|Z_p^*| = \left| \frac{GL(n, Z_p)}{SL(n, Z_p)} \right|$ , откуда следует:  $|SL(n, Z_p)| = \frac{|GL(n, Z_p)|}{|Z_p^*|}$ .

Получаем:  $|SL(n, Z_p)| = \frac{(p^n - 1)(p^n - p) \dots (p^n - p^{n-1})}{(p - 1)}$ . В частности, при  $n = 2$

получаем:  $|SL(2, Z_p)| = \frac{(p^2 - 1)(p^2 - p)}{p - 1} = \frac{(p - 1)^2 p(p + 1)}{p - 1} = p(p - 1)(p + 1)$ .

То есть, доказали,  $|SL(2, Z_p)| \nmid p^\alpha$ , где  $\alpha > 1$ . Таким образом, подгруппа  $P$  является силовой  $p$ -подгруппой группы  $SL(2, Z_p)$ .

Перейдем теперь к определению количества силовских  $p$ -подгрупп.

Для этого приведем необходимые определения. Пусть дана произвольная конечная группа  $G$  и  $H$  её подгруппа.

*Определение 1.* Мощность множества смежных классов группы  $G$  по  $H$  называется индексом подгруппы  $H$  и обозначается  $|G:H|$  [2].

*Определение 2.* Нормализатор подгруппы  $H$  называется максимальной подгруппа, в которой данная является нормальным делителем. Обозначение  $N_G(H)$  [2].

Так, например, обратимся к группе  $S_3$  и рассмотрим в ней подгруппу  $H = \langle (12) \rangle$ ,  $|H| = 2$ , тогда  $|S_3 : H| = 3$  и  $N_{S_3}(H) = H$ .

Возьмем теперь подгруппу  $P = \langle (123) \rangle = \{(1), (123), (132)\}$ . Имеем  $|P| = 3$  и  $P \triangleleft S_3$ , тогда  $N_{S_3}(P) = S_3$ .

Напомним, что количество подгрупп конечной группы  $G$ , сопряженных данной, равно индексу нормализатора этой подгруппы в группе  $G$  [2].

Так как  $P$  является силовой  $p$ -подгруппой указанных групп, то используя вторую теорему Силова, получим, что для решения задачи достаточно подсчитать индекс нормализатора силовой подгруппы  $P$ .

Найдем нормализатор  $P$  в группе  $GL(2, Z_p)$ .

Согласно определению нормализатора имеем:

$$N_{GL}(P) = \{g \in GL(2, Z_p) \mid g^{-1}Pg = P\}.$$

Так как  $g \in GL(2, Z_p)$ , то  $\det g \neq 0$ , следовательно,  $\exists g^{-1} \in GL(2, Z_p)$ . Пусть

$$g = \begin{pmatrix} x & y \\ z & u \end{pmatrix}, \quad \text{следовательно:} \quad g^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{u}{xu - yz} & \frac{-y}{xu - yz} \\ \frac{-z}{xu - yz} & \frac{x}{xu - yz} \end{pmatrix}. \quad \text{Тогда} \quad g \in N_{GL}(P) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow g^{-1}Pg = P, \quad \text{то есть} \quad \forall_{Z_p} a \left( g^{-1} \begin{pmatrix} 1 & a \\ 0 & 1 \end{pmatrix} g = \begin{pmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right). \quad \text{Проведя непосредственные}$$

$$\text{вычисления, находим, что} \quad g = \begin{pmatrix} x & y \\ z & u \end{pmatrix} \in N_{GL}(P) \Leftrightarrow g = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & u \end{pmatrix}.$$

Таким образом,  $N_{GL}(P) = \left\{ g = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & u \end{pmatrix} \mid x \neq 0, u \neq 0 \right\}$ .

Тогда  $|N_{GL}(P)| = p(p-1)^2$ . Следовательно, индекс нормализатора силовой  $p$ -подгруппы  $P$  равен:  $\frac{p(p-1)^2(p+1)}{p(p-1)^2} = p+1$ .

Итак, получили, что количество силовских  $p$ -подгрупп в группе  $GL(2, Z_p)$  равно  $p+1$ .

Найдем нормализатор  $P$  в группе  $SL(2, Z_p)$ .

Нормализатор имеет вид:  $N_{GL}(P) = \{g \in SL(2, Z_p) \mid g^{-1}Pg = P\}$ . Пусть  $g = \begin{pmatrix} x & y \\ z & u \end{pmatrix} \in SL(2, Z_p)$ ,  $\det g = 1$ , следовательно,  $g^{-1} = \begin{pmatrix} u & -y \\ -z & x \end{pmatrix} \in SL(2, Z_p)$ . Тогда  $g \in N_{SL}(P) \Leftrightarrow g^{-1}Pg = P$ , то есть  $\forall_{Z_p} ag^{-1} \begin{pmatrix} 1 & a \\ 0 & 1 \end{pmatrix} g = \begin{pmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ .

Аналогично рассуждая, получаем:  $g = \begin{pmatrix} x & y \\ z & u \end{pmatrix} \in N_{SL}(P) \Leftrightarrow g = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & u \end{pmatrix}$  и  $xu = 1$ , следовательно,  $u = x^{-1}$ . Получаем:  $g = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & x^{-1} \end{pmatrix}$  и  $N_{SL}(P) = \left\{ g = \begin{pmatrix} x & y \\ 0 & x^{-1} \end{pmatrix} \mid x \neq 0 \right\}$ .

Тогда  $|N_{SL}(P)| = p(p-1)$ , а следовательно, индекс нормализатора равен:

$$|SL(2, Z_p) : N_{SL}(P)| = \frac{p(p-1)(p+1)}{p(p-1)} = p+1.$$

В итоге получаем, что количество силовских  $p$ -подгрупп в группе  $SL(2, Z_p)$  также равно  $p+1$ .

*Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математики, теории и методики обучения математике А. И. Забарина.*

#### Литература

1. Кострикин, А. И. Введение в алгебру / А. И. Кострикин. М. : Наука, 1977. 496 с.
2. Курош, А. Г. Теория групп : учебник / А. Г. Курош. 4-е изд., стер. СПб. : Изд-во «Лань», 2005. 648 с.
3. Чехлов, А. Р. Упражнения по основам теории групп / А. Р. Чехлов. Томск, 2004.



# О ГИПЕРГЕОМЕТРИЧЕСКОМ РЕШЕНИИ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ПЯТОЙ СТЕПЕНИ

В. Б. Гребенюк

*Красноярский государственный педагогический университет  
им. В. П. Астафьева*

Рассмотрим алгебраическое уравнение степени пять

$$w^5 + a_1 w^4 + a_2 w^3 + a_3 w^2 + a_4 w + a_5 = 0. \quad (1)$$

В 1789 г. шведский математик Бринг [1] показал, что уравнение (1) можно свести к уравнению с одним параметром, т.е. к уравнению вида

$$y^5 + xy^m - 1 = 0, \quad (2)$$

где  $m = 1, 2, 3, 4$ .

Целью работы является представление решения уравнения пятой степени в виде обобщенного гипергеометрического ряда. В 2004 г. Переломов в своей статье [2] представил решение уравнения (2) в указанном виде для случая  $m = 1$ .

Напомним, что обобщенным гипергеометрическим рядом называется ряд

$${}_mF_n(a_1, \dots, a_m; b_1, \dots, b_n; z) = \frac{\Gamma(b_1) \dots \Gamma(b_n)}{\Gamma(a_1) \dots \Gamma(a_m)} \times \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(a_1 + k) \dots \Gamma(a_m + k)}{k! \Gamma(b_1 + k) \dots \Gamma(b_n + k)} z^k,$$

где  $\Gamma(z)$  – гамма функция Эйлера.

Настоящей работе посвящается уравнению (2) для случая  $m = 2$ , т.е. уравнению

$$y^5 + xy^2 - 1 = 0. \quad (3)$$

Его решением  $y(x)$  является пятизначная функция. Следуя Меллину ([3], [4]), главным решением  $y_0(x)$  уравнения (3) назовем ветвь с условием  $y_0(0) = 1$ .

В [3] решение  $y_0(x)$  уравнения (3) представлено в виде интеграла Меллина – Барнса

$$y_0(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\frac{1}{4} + iR}^{\frac{1}{5} - \frac{2}{5}z} \frac{\frac{1}{5} \Gamma\left(\frac{1}{5} - \frac{2}{5}z\right) \Gamma(z)}{\Gamma\left(\frac{6}{5} + \frac{3}{5}z\right)} x^{-z} dz.$$

Используя аппарат теории вычетов, а также свойства специальных функций и степенных рядов доказана **теорема:** *главное решение  $y_0(x)$  уравнения (3) допускает представление в виде линейной комбинации обобщенных гипергеометрических рядов*

$$y_0(x) = \frac{1}{2x^3} {}_4F_3\left(\frac{3}{5}, \frac{4}{5}, \frac{6}{5}, \frac{7}{5}, \frac{4}{3}, \frac{5}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5^5}{3^3 2^2 x^5}\right) + \frac{1}{\sqrt{x}} {}_4F_3\left(\frac{1}{10}, \frac{3}{10}, \frac{7}{10}, \frac{9}{10}, \frac{1}{2}, \frac{5}{6}, \frac{7}{6}, \frac{5^5}{3^3 2^2 x^5}\right).$$

Указанные ряды сходятся во внешности круга  $|x| > \frac{5}{3^{\frac{3}{5}} 2^{\frac{2}{5}}}$ .

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Е. Н. Михалкин.

### Литература

1. Bring, E. S. Meletamata quaedam mathematica circa transformationem aequationen algebraicarum / E. S. Bring. Uppsala, 1786. Vol. 107.
2. Переломов, А. М. Гипергеометрические решения некоторых алгебраических уравнений / А. М. Переломов // Теоретическая и математическая физика. 2004. Т. 140, № 1. С. 3–13.
3. Семушева, А. Ю., Цих, А. К. Продолжение исследований Меллина о решении алгебраических уравнений / А. Ю. Семушева, А. К. Цих // Комплексный анализ и дифференциальные операторы (к 150-летию С. В. Ковалевской). Красноярск : КрасГУ, 2000. С. 134–146.
4. Mellin, H. J. Resolution de l'equation algebrique grenrerale `a l'aide de la fonction gamma / H. J. Mellin // C. R. Acad. Sci. Paris Srer. I Math. 1921. Vol. 172. P. 658–661.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ДВУХФАЗНЫХ СРЕД В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ ПЕРЕМЕННОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Е. А. Нысанов, Г. С. Каратаев

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова  
Республика Казахстан, г. Шымкент*

Остановимся на параметрах твердых фаз. Как известно, коэффициент Шези зависит от гидравлического сопротивления. Полное сопротивление, оказываемое движению естественным руслом, складывается из трех частей: сопротивление зернистой шероховатости дна, сопротивление макрошероховатости, т.е. донных гряд и рифелей, и сопротивление формы русла. Под последним понимается сопротивление, вызванное изменением площади живых сечений потока, т.е. в конечном счете, потерями при переходе кинетической энергии в потенциальную. Практическое значение эти потери приобретают в местах резкого расширения русла. Ограничиваясь двумя первыми видами сопротивления, используем более общую формулу коэффициента Шези [1]:

$$\frac{1}{C^2} = \frac{1}{C_1^2} + \frac{1}{C_2^2},$$

где  $C_1 = \sqrt{2g} \left( \alpha_1 \ln \frac{R}{2d} + \alpha_2 \right)$ ;  $C_2 = \frac{\sqrt{2g}}{0,4343} e^{\alpha_3 + \frac{\alpha_4}{gd} \left( \frac{Q_{cm}}{\omega} \right)^2}$ ;  $d$  – средний диаметр твердых частиц;  $Q_{cm}$  – расход смеси;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  – экспериментальные коэффициенты.

Исследования ряда авторов показывают, что неравномерность распределения концентраций по глубине влияет на сопротивление движению. Поэтому при совместном движении воды и твердых частиц это распределение играет важную роль. Для распределения концентрации твердой фазы используем следующее выражение:

$$f_2 = f_{20} e^{-\frac{2m_1 C u_k}{g H U} y}, \quad (1)$$

где  $f_{20}$  – концентрация твердой фазы у дна ( $y = 0$ );  $H$  – глубина потока;  $U$  – средняя скорость потока;  $m_1$  – коэффициент, равный по Буссинеску 22,3; по Базену – 24;  $u_k$  – гидравлическая крупность.

Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлена связь между диаметрами частиц наносов и их гидравлической крупностью. Следует отметить работу В.Н. Гончарова, давшего эмпирические формулы гидравлической крупности, обобщающие экспериментальные материалы других исследований. Он выделил три характерных режима осаждения: ламинарный, переходной, турбулентный и для каждого дал особую формулу гидравлической крупности:

– для ламинарного режима

$$u_k = \frac{0,406 d^2}{\mu_1} \frac{\gamma_2 - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \quad (d = 0,00001 - 0,00015 \text{ м});$$

– для переходного

$$u_k = \left[ 0,677d + 0,0052 \left( \frac{T}{26} - 1 \right) \right] \frac{\gamma_2 - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \quad (d = 0,00015 - 0,0015 \text{ м});$$

– для турбулентного

$$u_k = 0,331 \sqrt{d} \sqrt{\frac{\gamma_2 - \gamma_{см}}{\gamma_{см}}} \quad (d > 0,001 \text{ м}).$$

Здесь  $\mu_1$  – коэффициент вязкости воды;  $\gamma_2$  – удельный вес твердой частицы;  $\gamma_{см} = f_1 \gamma_1 + f_2 \gamma_2$  – удельный вес смеси;  $T$  – температура жидкой фазы.

Расходы определяются по формулам:

$$Q_1 = \iint_{\omega} f_1 u_1 d\omega; \quad Q_2 = \iint_{\omega} f_2 u_2 d\omega, \quad (2)$$

$$Q_{см} = Q_1 + Q_2 = \iint_{\omega} u_{см} d\omega,$$

где  $Q_{см} = f_1 u_1 + f_2 u_2$  – продольная скорость смеси;  $f_1$  – концентрация жидкой фазы.

Удельный вес твердой частицы, связанный с ее минералогическим составом, и геометрический размер, который обычно выражают через ее средний диаметр, являются важными характеристиками наносов. Размеры зерен донных наносов в значительной степени характеризуют шероховатость русла. С другой стороны, от геометрических размеров частиц зависит способность их перемещения по дну при тех или иных скоростях течения. Удельный вес речных наносов обычно составляет от 2 000 до 2 800 кг/м<sup>3</sup>.

Поставленная задача решается исходя из «взаимопроникающей» модели двухфазных сред, согласно которой уравнений движения имеют вид [2, 3]:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_n \frac{\partial u_n}{\partial t} + \rho_n u_n \frac{\partial u_n}{\partial x} + \rho_n v_n \frac{\partial u_n}{\partial y} &= -f_n \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2f_n \mu_n \left( \frac{\partial u_n}{\partial x} - \frac{1}{3} \operatorname{div} V_n \right) \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[ f_n \mu_n \left( \frac{\partial v_n}{\partial x} + \frac{\partial u_n}{\partial y} \right) \right] + \sum_{i=1}^2 K(u_i - u_n) + \rho_{ni} X_n, \\ \rho_n \frac{\partial v_n}{\partial t} + \rho_n u_n \frac{\partial v_n}{\partial x} + \rho_n v_n \frac{\partial v_n}{\partial y} &= -f_n \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ f_n \mu_n \left( \frac{\partial u_n}{\partial y} + \frac{\partial v_n}{\partial x} \right) \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2f_n \mu_n \left( \frac{\partial v_n}{\partial y} - \frac{1}{3} \operatorname{div} V_n \right) \right] + \sum_{i=1}^2 K(v_i - v_n) + \rho_{ni} Y_n, \end{aligned} \right. \quad (3)$$

и уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho_n}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_n u_n) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_n v_n), \quad f_1 + f_2 = 1,$$

где  $\rho_n$ ,  $\rho_{ni}$  – приведенная и истинная плотности  $n$ -й фазы соответственно,  $u_n$  – продольная составляющая скорости  $n$ -й фазы;  $v_n$  – вертикальная составляющая скорости  $n$ -й фазы;  $f_n$  – концентрация (объемное содержание)  $n$ -й фазы;  $P$  – давление;  $\mu_n$  – коэффициент вязкости  $n$ -й фазы;  $K$  – коэффициент взаимодействия между фазами;  $X_n Y_n$  – компоненты массовой силы  $n$ -й фазы;  $\operatorname{div} V_n = \frac{\partial u_n}{\partial x} + \frac{\partial v_n}{\partial y}$ .

Рассмотрим случай установившегося одномерного течения идеальных двухфазных сред в открытых каналах. При этом считаем, что обе компоненты несжимаемы и массовой силой можно пренебречь. Тогда уравнений движения (3) для рассматриваемого случая имеют вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_1 u_1 \frac{du_1}{dx} &= -f_1 \frac{dp}{dx} + K(u_2 - u_1), \\ \rho_2 u_2 \frac{du_2}{dx} &= -f_2 \frac{dp}{dx} + K(u_1 - u_2), \end{aligned} \right. \quad (4)$$

а уравнение неразрывности в силу постоянства расхода и согласно формулам (2)

$$\begin{cases} \frac{d}{dx}(\rho_1 u_1 \omega) = 0, \\ \frac{d}{dx}(\rho_2 u_2 \omega) = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения, для различных каналов задаются различными формулами.

Систему (4), (5) можно написать в следующем виде:

$$\begin{cases} \rho_{1i} u_1 \frac{du_1}{dx} = -\frac{dP}{dx} + \frac{K}{f_1} (u_2 - u_1), \\ \rho_{2i} u_2 \frac{du_2}{dx} = -\frac{dP}{dx} + \frac{K}{f_2} (u_1 - u_2), \\ f_1 u_1 \omega = \frac{c_1}{\rho_{1i}}, \\ f_2 u_2 \omega = \frac{c_2}{\rho_{2i}}, \\ f_1 + f_2 = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где  $c_1, c_2$  – постоянные, произведения приведенных плотностей, скоростей соответственно первой и второй фазы и площади живого сечения канала во входном створе, т.е.  $c_1 = \rho_{10} u_{10} \omega(x_0)$ ,  $c_2 = \rho_{20} u_{20} \omega(x_0)$ . При этом во входном створе для концентрации твердой фазы используем формулу (1), вводя обозначения  $v_1 = u_1 \omega(x)$  и  $v_2 = u_2 \omega(x)$  и вычитая из первого уравнения системы (6) второе уравнение, имеем

$$\rho_{1i} \frac{v_1}{\omega(x)} \frac{dv_1}{dx} - \rho_{2i} \frac{v_2}{\omega(x)} \frac{dv_2}{dx} - \frac{\omega'(x)}{\omega^2(x)} (\rho_{1i} v_1^2 - \rho_{2i} v_2^2) = \frac{K}{f_1 f_2} (v_2 - v_1), \quad (7)$$

где  $\omega'(x)$  – производная  $\omega(x)$  по  $x$ .

Из последних трех уравнений системы (6) находим:

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{c_1}{\rho_{1i} v_1}, \\ v_2 &= \frac{c_2}{\rho_{2i}} \frac{\rho_{1i} v_1}{\rho_{1i} v_1 - c_1}, \\ f_2 &= \frac{\rho_{1i} v_1 - c_1}{\rho_{1i} v_1}. \end{aligned} \quad (8)$$

Решая совместно системы уравнений (7) и (8) можно найти выражения для скорости  $v_1, v_2$  и концентраций  $f_1, f_2$  первой и второй фазы.

### Литература

1. Абальянц, С.Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах / С. Х. Абальянц. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 238 с.
2. Шаюсупов, М. Движение многофазных потоков с переменным расходом в руслах / М. Шаюсупов; отв. ред. Х.А. Рахматулин. Ташкент : Фан, 1981. 163 с.
3. Умаров, А.И., Ахмедов, Ш.Х. Двумерные задачи гидродинамики многофазных сред / А. И. Умаров, Ш.Х. Ахмедов. Ташкент : Фан, 1989. 96 с.

## О ПОСТРОЕНИИ КОЛЬЦА ПО ЗАДАННОМУ МНОЖЕСТВУ ИДЕАЛОВ

В.О. Козлов

*Томский государственный педагогический университет*

Исторически понятие идеала возникло при рассмотрении некоторых числовых колец, в которых не выполняется свойство однозначности разложимости элементов на простые множители. Попытки, увенчавшиеся в дальнейшем полным успехом, восстановить потерянную однозначность в разложении на простые сомножители довольно естественно привели к тому, что мы сегодня называем идеалом кольца.

Много позже была выявлена аналогия между идеалом кольца и одним из центральных понятий в теории групп – нормальным делителем группы.

Глубокие результаты в теории идеалов получили такие выдающиеся математики как Дедекин, Куммер, Гильберт и Эмми Нётер.

**Определение 1** [1]. Непустое подмножество  $I$  коммутативного кольца  $A$  называется идеалом этого кольца, если оно удовлетворяет следующим условиям:

$$1) \forall x, y ((x - y) \in I);$$

$$2) \forall x \forall a (xa \in I).$$

Например,

$$1. \text{ В } \langle \mathbb{Z}, +, \cdot \rangle \quad I = n\mathbb{Z}.$$

$$2. \text{ В } \langle \mathbb{Z}[x], +, \cdot \rangle \quad I = \{f(x) | f(x) : x\}.$$

$$3) \text{ В кольце } \Phi \text{ всех фундаментальных последовательностей поля } Q \quad I = \{(x_n) \in \Phi | \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 0\}.$$

Обратимся теперь к задаче, в некотором смысле обратной: построить на множестве  $A = \{a, b, c, d\}$  коммутативное кольцо без единицы так, чтобы множество всех его идеалов  $\mathfrak{I}(A) = \{I_1, I_2, I_3, I_4\}$ , где  $I_1 = \{b\}$ ,  $I_2 = \{b, c\}$ ,  $I_3 = \{b, d\}$ ,  $I_4 = \{a, b, c, d\}$  [2].

Очевидно, решение задачи сводится к заданию бинарных алгебраических операций сложения и умножения, удовлетворяющих аксиоматике кольца, причем множество всех идеалов построенного кольца должно равняться  $\mathfrak{I}(A)$ .

Обратимся к операции сложения:

- 1) Так как  $I_1 = \{b\}$  и  $\langle \{b\}, + \rangle$  – группа, то  $b = 0$ .
- 2) Так как  $I_2 = \{0, c\}$  и  $\langle \{0, c\}, + \rangle$  группа, то для каждого элемента существует противоположный, т.е.  $c = -c$ , аналогично в  $I_3 = \{0, d\}$   $d = -d$ .
- 3) Отсюда,  $c + d = a$ . Тогда  $(c + c) + d = a + c$ , т.е.  $a + c = d$ . Аналогично,  $a + d = c$ . Поэтому  $(a + a) + d = d$ , т.е.  $a + a = 0$ ,  $a = -a$ .

Таким образом, получаем следующую таблицу, из которой непосредственно следует, что  $\langle A, + \rangle$  – абелева группа.

Т а б л и ц а 1

+	0	a	c	d
0	0	a	c	d
a	a	0	d	c
c	c	d	0	a
d	d	c	a	0

Определим теперь операцию умножения так чтобы подгруппа  $\{0, a\}$  не была идеалом:

- 1) Так как  $I_2 \triangleleft A$ ,  $I_3 \triangleleft A$  и умножение должно быть коммутативно и замкнуто относительно произведения на произвольный элемент из  $A$ , то  $cd \in \{0, c\} \cap \{0, d\}$ , т.е.  $cd = 0$ .

- 2) Из замкнутости идеалов  $I_2$  и  $I_3$  относительно умножения на элементы из  $A$ , получаем:

$$a \times c \in \{0, c\} \wedge a \times d \in \{0, d\} \wedge c^2 \in \{0, c\} \wedge d^2 \in \{0, d\}. \quad (1)$$

- 3) Так как  $\{0, a\}$  не является идеалом и  $\langle \{0, a\}, + \rangle$  – группа то

$$a^2 \notin \{0, a\} \vee ac \notin \{0, a\} \vee ad \notin \{0, a\}. \quad (2)$$

- 4) Должен выполняться закон дистрибутивности: с учетом таблицы сложения получаем:

$$a(c + d) = ac + ad, \text{ следовательно, } a^2 = ac + ad.$$

$$a(a + c) = a^2 + ac = ad, \text{ то есть, } a^2 = ac + ad.$$

$$a(a + d) = a^2 + ad = ac, \text{ отсюда } a^2 = ac + ad.$$

Проведя аналогичные вычисления для элементов  $c$  и  $d$ , получим  $c^2 = ac + dc$  и  $d^2 = ad + cd$ , так как  $dc = 0$ , то  $c^2 = ac$  и  $d^2 = ad$ .

Итак, выполнение закона дистрибутивности равносильно истинности конъюнкции:

$$a^2 = ac + ad \wedge c^2 = ac \wedge d^2 = ad. \quad (3)$$

Таким образом, определяемое умножение должно удовлетворять следующей конъюнкции:

$$\left\{ \begin{array}{l} a \cdot c \in \{0, c\}; \\ a \cdot d \in \{0, d\}; \end{array} \right. \wedge (a^2 \notin \{0, a\} \vee ac \notin \{0, a\} \vee ad \notin \{0, a\}) \wedge \left\{ \begin{array}{l} a^2 = ac + ad; \\ c^2 = ac; \\ d^2 = ad. \end{array} \right.$$

Для построения таблицы умножения достаточно рассмотреть следующие 4 случая:

I.  $ac = 0$  и  $ad = 0$ . Тогда из (2) следует:  $a^2 \notin \{0, a\}$ . С другой стороны из (3) получаем  $a^2 = 0$  – противоречие.

II.  $ac = 0$  и  $ad = d$ . Тогда  $a^2 = d, c^2 = 0, d^2 = d$ . В данном случае умножение имеет вид:

Т а б л и ц а 2

$\cdot$	$a$	$c$	$d$
$a$	$d$	$0$	$d$
$c$	$0$	$0$	$0$
$d$	$d$	$0$	$d$

III.  $ac = c$  и  $ad = 0$ . Следовательно,  $a^2 = c, c^2 = c, d^2 = 0$ . Получаем:

Т а б л и ц а 3

$\cdot$	$a$	$c$	$d$
$a$	$c$	$c$	$0$
$c$	$c$	$c$	$0$
$d$	$0$	$0$	$0$

IV.  $ac = c$  и  $ad = d$ . Тогда  $a^2 = a, c^2 = c, d^2 = d$ . Следовательно, в кольце  $\langle A, +, \cdot \rangle$   $a = e$ . Противоречие условию задачи.

Т а б л и ц а 4

$\cdot$	$a$	$c$	$d$
$a$	$a$	$c$	$d$
$c$	$c$	$c$	$0$
$d$	$d$	$0$	$d$

Таким образом, нашлось два способа задания операции умножения. Следовательно, если сложение на  $A$  определено табл. 1 и умножение табл. 2 или 3, то каждый раз мы получаем коммутативное кольцо  $\langle A, +, \cdot \rangle$  без единицы, такое что множество всех его идеалов есть  $\mathfrak{I}(A)$ .

Пусть теперь  $\mathfrak{I}(A)$  – множество всех идеалов произвольного коммутативного кольца. Пользуясь определением идеала, непосредственно проверяется, что операции  $\cap$  и сложения  $(I + J = \{i + j | i \in I, j \in J\})$  являются бинарными алгебраическими операциями на  $\mathfrak{I}(A)$ .



**Предложение 2.**  $\langle \mathfrak{I}(A), \subset \rangle$  является решеткой.

*Доказательство.* Согласно определению решетки покажем, что

$$\forall I, J \in \mathfrak{I}(A) (\exists \sup(I, J) \wedge \exists \inf(I, J)).$$

Докажем, что  $I + J = \sup(I, J)$  и  $I \cap J = \inf(I, J)$ .

С одной стороны, так как  $i = i + 0$  и  $j = 0 + j$ , то  $I \subset I + J$  и  $J \subset I + J$ . С другой стороны, рассмотрим идеал  $K$ , такой что  $I \subset K$  и  $J \subset K$ , тогда  $\forall i \in I \forall j \in J (i + j \in K)$ . Отсюда,  $I + J \subset K$ . Таким образом,  $I + J = \sup(I, J)$ .

Покажем теперь, что  $I \cap J = \inf(I, J)$ . Очевидно,  $I \cap J \subset I$  и  $I \cap J \subset J$ .

Возьмем произвольный идеал  $K$ , такой что  $K \subset I$  и  $K \subset J$ , следовательно,  $K \subset I \cap J$ .

Нетрудно, используя построенные кольца проверить, что решетка всех идеалов произвольного коммутативного кольца не обязана быть дистрибутивной. Однако, справедливо модулярное тождество.

**Предложение 3.** Пусть  $I, J, L \in \mathfrak{I}(A)$  и  $J \subset I$ , тогда  $I \cap (J + L) = J + (I \cap L)$  [2].

*Доказательство.* Пусть  $x \in I \cap (J + L)$ , тогда  $x \in I \wedge x \in J + L$ , следовательно,  $x = j + l$ , отсюда  $l = x - j$ , так как  $x \in I$  и  $j \in J \subset I$ , то  $l \in I$ . Получаем, что  $l \in I \cap L$ . Таким образом,  $x = j + l$ , где  $j \in J$ , а  $l \in I \cap L$ , значит  $x \in J + (I \cap L)$ .

Пусть теперь  $x \in J + (I \cap L)$ , тогда  $x = j + b$ , где  $b \in I \cap L$ , т.е.  $b \in I \wedge b \in L$ , следовательно,  $x \in I$ . Так как  $b \in L$ , то из того что  $x = j + b$ , получим  $x \in J + L$ . Отсюда,  $x \in I \cap (J + L)$ .

### Литература

1. Калужнин, Л. А. Введение в общую алгебру / Л. А. Калужнин. М. : Наука, 1973.
2. Крылов, П. А., Туганбаев, А. А., Чехлов, А. Р. Упражнение по группам, кольцам и полям : учеб. пособие / П. А. Крылов, А. А. Туганбаев, А. Р. Чехлов. Томск : ТГУ, 2008.

## КРИТЕРИЙ ДИСТРИБУТИВНОСТИ ПАРЫ ПОДГРУПП

И. И. Прокопчук

*Томский государственный педагогический университет*

Одним из основных разделов современной алгебры является всем хорошо известная теория групп. С другой стороны, развитие понятия порядка привело к созданию теории структур тоже одной из составных частей алгебры.

Напомним, что структурой (или решеткой) называется упорядоченное множество, в котором каждое двухэлементное подмножество имеет как точную верхнюю ( $\sup$ ), так и точную нижнюю ( $\inf$ ) грани.

Эти два раздела оказались тесно связаны друг с другом. В частности, для каждой группы можно рассмотреть структуру подгрупп.

Например, группа  $S_3 = \{(1), (12), (13), (23), (123), (213)\}$ .

$L(S_3) = \{\{(1)\}, \{(1)(12)\}, \{(1)(13)\}, \{(1)(23)\}, \{(1)(123)(132)\}, S_3\}$ .

Эта связь рассматривается в работах выдающихся математиков, в частности, в работах норвежского ученого Ойстина Оре (1899–1968) и Александра Геннадьевича Куроша (1908–1971). Так, теорема Оре утверждает:

Для того, чтобы группа  $\langle G, \cdot \rangle$  была локально циклической необходимо и достаточно, чтобы структура ее подгрупп  $L(G)$  была дистрибутивной.

Отметим, что свойство дистрибутивности структуры – аналог обычного закона дистрибутивности.

Мы воспользовались планом доказательства, предложенного в книге М. Холла, и привели полное доказательство теоремы Оре с использованием критерия дистрибутивности пары подгрупп, который предложен в качестве задачи в книге П. А. Крылова, А. А. Туганбаева, А. Р. Чехлова.

Я хочу рассказать именно об этом результате. Для его формулировки требуется следующее определение:

Пусть  $\langle G, \cdot \rangle$  – группа,  $A$  – подгруппа  $G$ ,  $c \in G$ . Порядком элемента  $c$  относительно подгруппы  $A$  называется наименьшее  $n \in \mathbb{N}$ , для которого  $c^n \in A$ . Если для каждого  $n$  из  $\mathbb{N}$   $c^n$  не принадлежит  $A$ , тогда  $O_A(c) = \infty$ .

Очевидно, если  $A = \{e\}$ , то  $O_A(c) = O(c)$ .

Приведем несколько примеров:

1. Рассмотрим группу  $\langle \mathbb{Z}, + \rangle$  и подгруппу  $H = 2\mathbb{Z}$ . Тогда  $O_H(2k+1) = 2$ , так как, если любое нечетное число сложить само с собой 2 раза, то мы получим число, которое принадлежит  $H$ .

2. Рассмотрим  $S_3 = \{(1), (12), (13), (23), (123), (213)\}$ ,  $H_1 = \{(1)\}$ ,  $H_5 = \{(1)(123)(132)\}$  и  $c = (13)$ , тогда  $O_{H_1}(c) = 2$ ,  $O_{H_5}(c) = 2$ .

3. Рассмотрим  $\langle C^*, \cdot \rangle$  и  $H_1 = C_4 = \{1, -1, i, -i\}$ ,  $H_2 = C_2 = \{1, -1\}$ ,  $H_3 = \{1\}$ , тогда  $O_{H_1}(i) = 1$ ,  $O_{H_3}(i) = 4$ ,  $O_{H_2}(i) = 2$ .

Итак, справедлив следующий критерий дистрибутивности пары подгрупп: для того, чтобы пара подгрупп  $(A, B)$  была дистрибутивной необходимо и достаточно, чтобы  $\forall c \in \langle A, B \rangle \setminus (A \cup B)$  выполнялось следующее равенство:  $(O_A(c), O_B(c)) = 1$ .

$$\forall_G c (c \in \langle A, B \rangle \setminus (A \cup B)) \Rightarrow (O_A(c), O_B(c) = 1). \quad (4)$$

Несколько слов о доказательстве.

*Необходимость.* Пусть пара подгрупп  $(A, B)$  группы  $G$  – дистрибутивна, а именно: если для всякой подгруппы  $C$  группы  $G$  справедлив дистрибутивный закон  $C \cap \langle A, B \rangle = \langle C \cap A, C \cap B \rangle$ .

Рассмотрим  $c \in \langle A, B \rangle \setminus (A \cap B)$ . Пусть  $C = \langle c \rangle$ , так как  $C \subset \langle A, B \rangle$ , следовательно,  $C \cap \langle A, B \rangle = C$ . По условию теоремы имеем равенство  $C = \langle C \cap A, C \cap B \rangle$ . Рассмотрим его правую часть.

Докажем, что:

–  $C \cap A \neq \{e\}$ , и как подгруппа циклической группы является циклической. Аналогичные рассуждения проводим с подгруппой  $C \cap B$ .

– Так как подгруппы перестановочны, то подгруппа ими порожденные равны произведению подгрупп.  $C = \langle c^A \rangle \langle c^B \rangle$ , таким образом,  $c = c^{n_A u} \cdot c^{n_B v}$ .

– Теперь уже нетрудно доказать, что  $(n_B, n_A) = 1$ .

*Достаточность.* Пусть теперь дано, что  $\forall c \in \langle A, B \rangle \setminus (A \cup B)$ , и выполнялось следующее равенство:  $(O_A(c), O_B(c)) = 1$ .

Докажем, что  $C \cap \langle A, B \rangle = \langle C \cap A, C \cap B \rangle$ . Обозначим  $C \cap \langle A, B \rangle = S$ ,  $\langle C \cap A, C \cap B \rangle = T$ . Очевидно, что  $T \subset S$ .

Покажем, что  $S \subset T$ . Пусть  $s \in S$ , тогда  $s \in C$  и  $s \in \langle A, B \rangle$ :

–  $s \in A$ , тогда  $s \in C \cap A \Rightarrow s \in T$ . Аналогичные рассуждения проводятся для  $s \in B$ ;

–  $s \in \langle A, B \rangle \setminus (A \cup B)$ , тогда  $(O_A(s), O_B(s)) = 1$ . Обозначим  $O_A(s) = n_A$ ,  $O_B(s) = n_B \Rightarrow (n_A, n_B) = 1$ , то есть имеет место следующее равенство  $n_A u + n_B v = 1$ , производя не сложные преобразования удастся доказать, что  $s \in T$ , следовательно,  $s^{n_A u} \cdot s^{n_B v} \Rightarrow s \in (C \cap A)(C \cap B) \subset \langle C \cap A, C \cap B \rangle \Rightarrow s \in T$ .

Приведем примеры дистрибутивной и недистрибутивной пар подгрупп.

1. Рассмотрим  $V_4 = \{(1), (12)(34), (13)(24), (14)(23)\}$  и подгруппы  $H_2$  и  $H_3$ , такие что  $H_2 = \{(1), (12)(34)\}$ ,  $H_3 = \{(1), (13)(24)\}$ . Проверим, является ли пара  $(H_2, H_3)$  дистрибутивной.

Воспользовавшись соответствующей таблицей, получаем  $\langle H_2, H_3 \rangle = H_5 = V_4$ .

$$H_2 \cup H_3 = \{(1), (12)(34), (13)(24)\}.$$

Согласно критерию рассмотрим  $c \in \langle H_2, H_3 \rangle \setminus (H_2 \cup H_3)$ , тогда  $c = (14)(32)$ . Заметим, что  $O_{H_2}(c) = 2$ ,  $O_{H_3}(c) = 2$ , то есть порядки не взаимно просты, следовательно,  $(H_2, H_3)$  – недистрибутивная пара.

Так как в  $L(V_4)$  нашлась недистрибутивная пара, то группа  $V_4$  не является локально циклической.

2. Рассмотрим  $G = \langle a \rangle$ , где  $O(a) = 8$  и  $A = \langle a^2 \rangle$ ,  $B = \langle a^4 \rangle$ . Проверим, является ли пара  $(A, B)$  – дистрибутивной.

$$A = \{a^2, a^4, a^6, e\}, B = \{a^4, e\}.$$

Согласно критерию рассмотрим  $c \in \langle A, B \rangle \setminus (A \cup B)$ , где  $\langle A, B \rangle = AB = \{a^6, a^2, e, a^4\} = A$ ,  $A \cup B = \{a^2, a^4, e, a^6\} = A$ , то есть  $c \in A \setminus A$ . Так как таких  $c$  не существует, то посылка импликации (4) ложна, а значит импликация истинна. Таким образом,  $(A, B)$  – дистрибутивная пара подгрупп.



**СЕКЦИЯ  
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ  
МАТЕМАТИКИ**



# ЭЛЕМЕНТЫ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

М. А. Воскобойникова

*Томский государственный педагогический университет*

Начертательная геометрия – инженерная дисциплина, которая представляет двумерный геометрический аппарат и набор алгоритмов для исследования свойств геометрических объектов.

Начертательная геометрия появилась давно, когда первый пещерный человек взял в руки кусок извести, чтобы начертить на скале план охоты на мамонта.

Условно выделим этапы развития решения начертательной геометрии:

1. Зачаточная форма геометрии (Древний Египет).
2. Создание науки в Древней Греции.
3. Геометрия Декарта.
4. Появляется начертательная геометрия (Монж. *Geometrie descriptive*, 1799), развитие решения разнообразных задач.
5. Инженерная графика и разделы решения задач спецчерчения: машиностроительное, строительное, приборостроительное и др.

Начертательную геометрию можно рассматривать как раздел прикладной математики, который закладывает фундамент конструкторского дела, развивает пространственное воображение. Этот предмет входит в основные инженерные науки.

## **Основные положения:**

*Принадлежность точки и прямой плоскости. Главные (особые) линии плоскости.*

Точка в плоскости выбирается из условия, что она находится на прямой линии этой плоскости.

Прямая линия принадлежит плоскости при условии, если она проходит:

- 1) через две точки плоскости;
- 2) через точку плоскости параллельно любой прямой этой плоскости.

К *главным линиям плоскости* относят линии уровня плоскости, параллельные плоскостям проекций, и линии наибольшего наклона плоскости к плоскостям проекций.

*Горизонталь плоскости* – прямая, принадлежащая плоскости и параллельная горизонтальной плоскости проекций П1.

*Фронталь плоскости* – прямая, принадлежащая плоскости и параллельная фронтальной плоскости проекции П2.

*Линия наибольшего наклона плоскости к горизонтальной плоскости проекций П1 (линия ската)* – прямая, принадлежащая плоскости и перпендикулярная горизонтали плоскости.

*Линия наибольшего наклона плоскости к фронтальной проекции П2* – прямая, принадлежащая плоскости и перпендикулярная фронтальной плоскости.

**Пример.** Построить проекции прямоугольного треугольника  $ABC$ , принадлежащего плоскости  $\alpha$ . Катет  $AB$  расположен на горизонтали плоскости и равен 20 мм, катет  $BC$  равен 30 мм (см. рис. 1).

Даны:  $\alpha (\alpha \text{ П1}, \alpha \text{ П2}) \wedge A (A1, A2) \in \alpha$ .

Проведем проекции горизонтали плоскости  $\alpha$  через одноименные проекции точки  $A$ :  $A212 \parallel OX$ ,  $A111 \parallel \alpha \text{ П1}$ . На горизонтали откладываем размер катета

$|AB| = A_1B_1 = 20$ ,  $A_2B_2$  – фронтальная проекция катета  $AB$ . Строим направление второго катета  $(B - 2) \perp LAB \wedge B_12\Gamma_1\Delta B_1$ . Определяем натуральную величину отрезка  $(B - 2)$  с помощью вспомогательного прямоугольного треугольника  $\Delta B_12_12^*$ ,  $(2_12^*) = \Delta ZB$ ,  $(B_1 - 2^*)$  – натуральная величина отрезка  $(B - 2)$ . Откладываем на отрезке  $(B_1 - 2^*)$  натуральную величину катета треугольника  $|BC| = 30$ . Отрезок  $B_1C^*$  – натуральная величина  $BC$ . Строим горизонтальную проекцию  $C_1$  точки  $C$  на прямой  $B_12_1$ . По линии проекционной связи получаем фронтальную проекцию точки  $C_2$ .  $A_1B_1C_1$  – горизонтальная проекция треугольника  $ABC$ , принадлежащего плоскости  $\alpha$ ,  $A_2B_2C_2$  – фронтальная проекция треугольника.

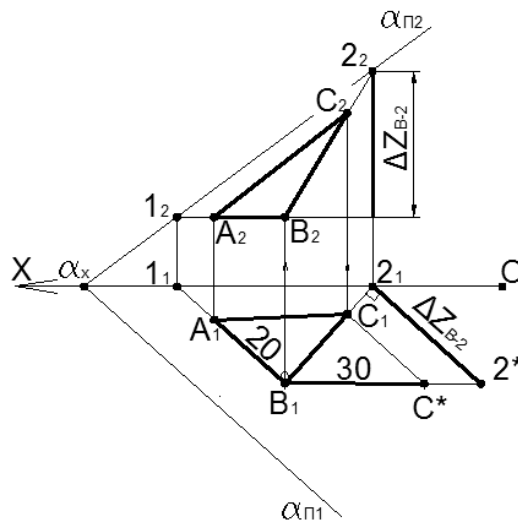


Рис. 1

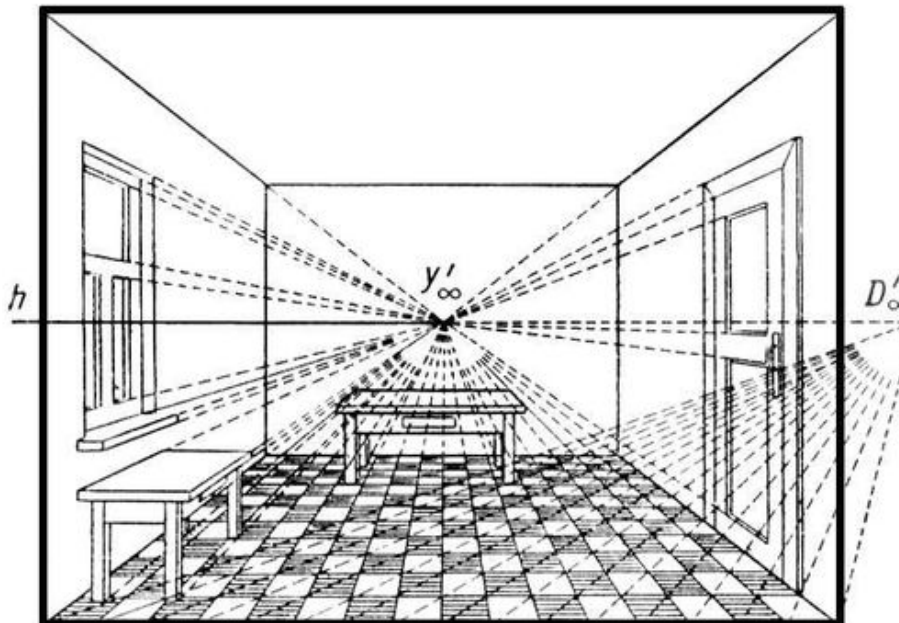


Рис. 2

На рис. 2 показано перспективное изображение комнаты. На нём видна главная точка, которая является точкой схода для всех прямых, перпендикулярных



(в натуре) картинной плоскости, и линия горизонта  $h$ . Точки схода других параллельных прямых, лежащих в предметной плоскости, располагаются на линии горизонта  $h$ .

Используя координатный метод, можно выполнить построение перспективного изображения по способу центральной аксонометрии, аналогично описанной выше параллельной аксонометрии.

Наряду с построениями перспективных изображений на плоскости (линейная перспектива) на практике употребляются и другие виды центрально-проекционных изображений.

### Приведем примеры заданий.

1. На рис. 3, а–г изображена центральная проекция куба. Объясните, как в каждом случае расположен куб относительно плоскости проектирования.

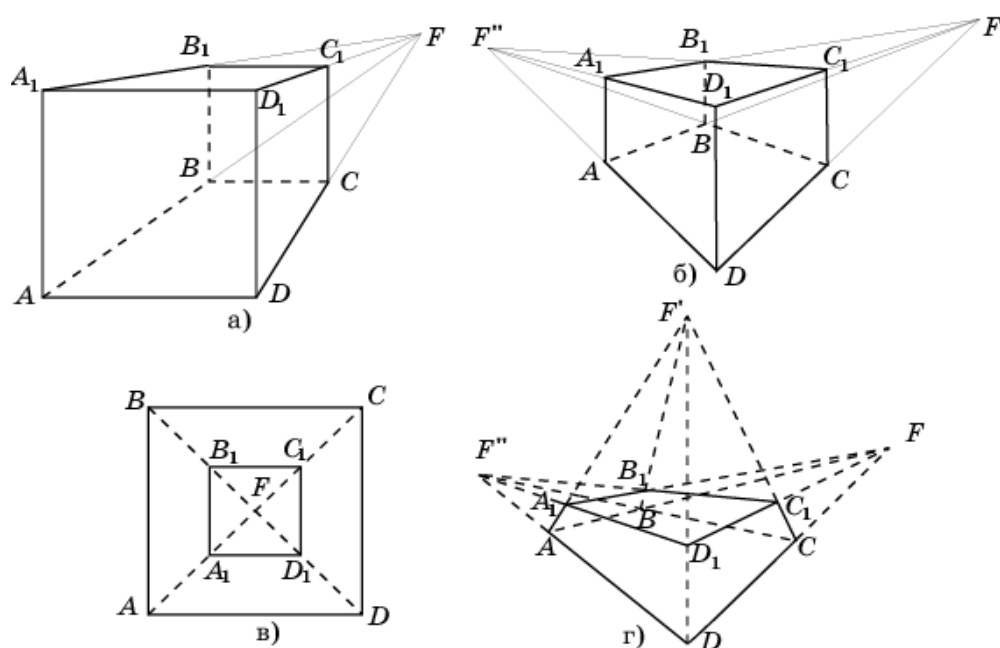


Рис. 3

2. На рис. 4 изображена центральная проекция правильной четырёхугольной пирамиды. Объясните, как она расположена относительно плоскости проектирования.

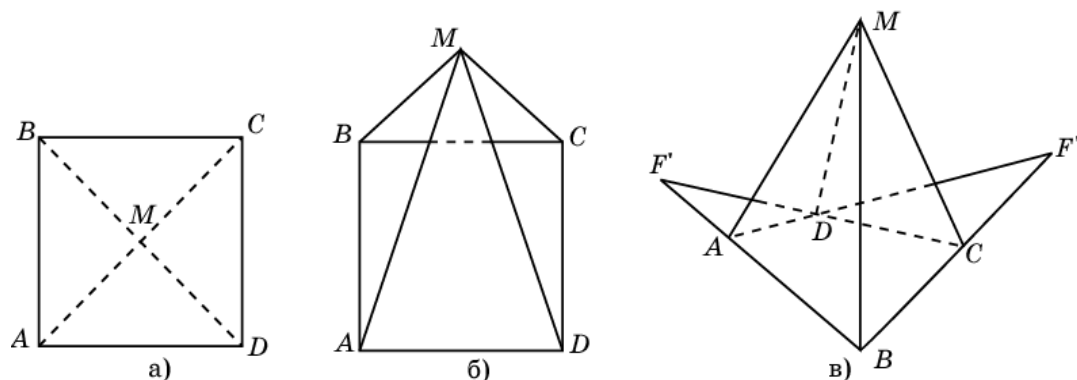


Рис. 4

3. Пусть на рис. 5 прямая  $a$  пересекает плоскость и не проходит через точку  $S$ . Покажите на рисунке, куда при центральном проектировании переходит часть прямой  $a$ , расположенная: а) «выше»; б) «ниже» плоскости.

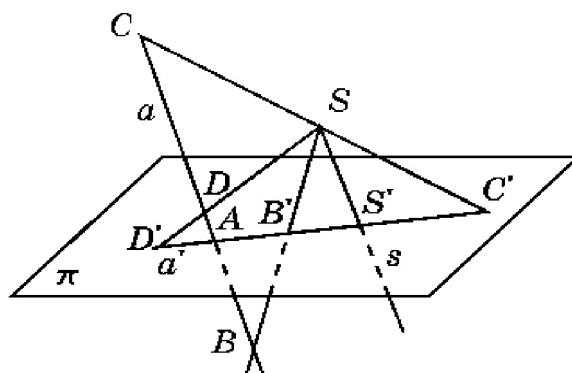


Рис. 5

Начертательная геометрия пользуется выводами двух дисциплин: элементарной и проективной геометрии, применяя их к своим собственным задачам, состоящим в изображении пространственных форм на плоскости и в решении с помощью этих плоских изображений различных задач в пространстве.

Пространственные задачи, рассматриваемые в начертательной геометрии, можно разделить на две большие группы:

1) задачи, в которых требуется найти положение в пространстве какого-либо геометрического элемента (точки, линии, плоскости). Такие задачи называются позиционными;

2) задачи метрические, в которых производятся измерения отрезков и углов, определяются размеры фигур. При решении таких задач надо помнить, что метрические свойства фигур лишь в особых случаях сохраняются в проекциях, по большей же части они искажаются.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Т. А. Сазанова.*

#### Литература

1. Гордон, В. О. Курс начертательной геометрии / В. О. Гордон. М. : Высшая школа, 2004.
2. Кузнецов, К. С. Начертательная геометрия / К. С. Кузнецов. М. : Высшая школа, 1981.
3. Потоцкий, М. В. Что изучает проективная геометрия? / М. В. Потоцкий. М. : Просвещение, 1982.
4. Фролов, С. А., Покровская, М. В. Начертательная геометрия: что это такое? / С. А. Фролов, М. В. Покровская. М. : Высшая школа, 1986.
5. Фролов, С. А. Начертательная геометрия / С. А. Фролов. М. : Машиностроение, 1983.
6. Четверухин, Н. Ф. Проективная геометрия / Н. Ф. Четверухин. М. : Просвещение, 1969.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОДОБИЯ ПЛОСКОСТИ И ПРОСТРАНСТВА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

Ю. А. Дёмина

*Томский государственный педагогический университет*

Обучение решению задач является одним из основных элементов математического образования. Эффективным методом решения геометрических задач является метод подобия. Преобразование плоскости называется подобием, если существует такое число  $k > 0$ , что для любых точек  $A$  и  $B$  и их образов  $A_1$  и  $B_1$  выполняется равенство  $A_1B_1 = k AB$ . Число  $k$  называется коэффициентом подобия.

Основные свойства: подобие переводит отрезки в отрезки, лучи в лучи, прямые в прямые. Подобие сохраняет величины углов.

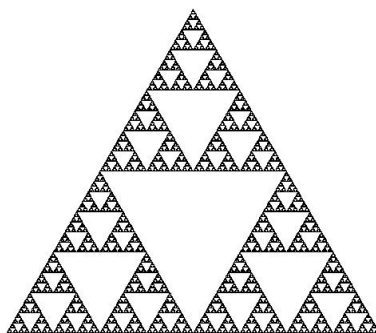
Слово гомотетия происходит от греческих слов «омос» – подобный и «тетос» – расположенный. Вместо термина «гомотетия» употребляют в том же смысле термины «перспективное подобие» или центральное подобие.

Преобразование плоскости называется гомотетией (от др.-греч. ὁμός – одинаковый, θέτος – расположенный) с центром  $O$  и коэффициентом  $k$ , если каждой точке  $A$  плоскости ставится в соответствие точка  $A_1$  так, что  $OA_1 = kOA$ .

При  $k > 0$  гомотетия называется положительной, а при  $k < 0$  – отрицательной в этом случае каждой точке  $A$  плоскости, отличной от  $O$  сопоставляется точка  $A_1$  на луче противоположном  $OA$  так, что

$$OA_1 = (-k)OA.$$

При решении задач чаще всего используется гомотетия. Отметим ее основные свойства. Гомотетия переводит прямую, не проходящую через центр гомотетии, в параллельную ей прямую, а прямую, проходящую через центр гомотетии, – в себя. Гомотетия переводит отрезок в отрезок, середину отрезка – в середину отрезка, луч – в луч, полуплоскость – в полуплоскость, угол – в равный ему угол, перпендикулярные прямые – в перпендикулярные прямые.



*Салфетка Серпинского* – это частный случай фрактала или самоподобная фигура, в которой каждый следующий треугольник получается из предыдущего большего треугольника с коэффициентом гомотетии  $\frac{1}{2}$ .

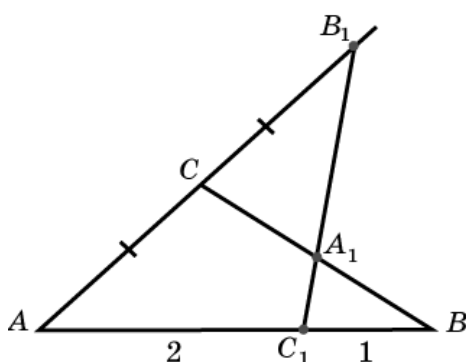
Рассмотрим теоремы, в доказательстве которых используется подобие и гомотетия.

**Теорема Менелая.** Пусть на сторонах  $AB$ ,  $BC$  и продолжении стороны  $AC$  треугольника  $ABC$  взяты соответственно точки  $C_1$ ,  $A_1$  и  $B_1$ . Точки  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  лежат на одной прямой тогда и только тогда, когда выполняется равенство

$$\frac{AC_1}{C_1B} \cdot \frac{BA_1}{A_1C} \cdot \frac{CB_1}{B_1A} = 1.$$

Эта теорема позволяет решать задачи следующего вида:

1. Точка  $C_1$  делит сторону  $AB$  треугольника  $ABC$  в отношении 2:1. Точка  $B_1$  лежит на продолжении стороны  $AC$  и  $AC = CB_1$ . В каком отношении делит прямая  $B_1C_1$  сторону  $BC$ ? Применяя теорему Менелая, задача решается в одно действие.



Еще одна замечательная теорема, теорема Чевы.

**Теорема Чевы.** Пусть на сторонах  $AB$ ,  $BC$  и  $AC$  треугольника  $ABC$  взяты соответственно точки  $C_1$ ,  $A_1$  и  $B_1$ . Прямые  $AA_1$ ,  $BB_1$ ,  $CC_1$  пересекаются в одной точке тогда и только тогда, когда выполняется следующее выражение, которое называется чевианом.

$$\frac{AC_1}{C_1B} \cdot \frac{BA_1}{A_1C} \cdot \frac{CB_1}{B_1A} = 1.$$

Эта теорема позволяет решать задачи следующего вида:

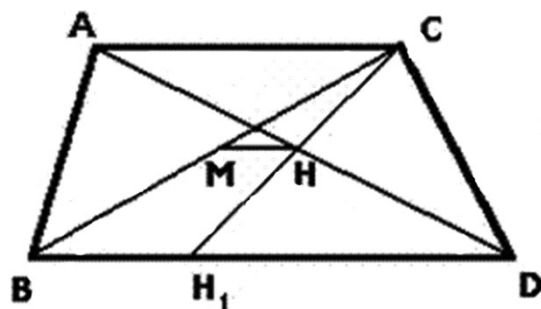
2. Точки  $C_1$  и  $A_1$  делят стороны  $AB$  и  $BC$  треугольника  $ABC$  в отношении 1:2. Прямые  $CC_1$  и  $AA_1$  пересекаются в точке  $O$ . Найдите отношение, в котором прямая  $BO$  делит сторону  $CA$ .

Покажем применение подобия и гомотетии при решении задач из ЕГЭ разных лет.

3. Доказать, что отрезок, соединяющий середины диагоналей трапеции, параллелен основаниям и его длина равна полуразности длин оснований. Задача решается с помощью гомотетии с центром в точке  $S$  и с коэффициентом 2.

*Решение.* Пусть дана трапеция  $ABCD$ , у которой  $AC \parallel BD$ ,  $BD > AC$ ;  $M$ ,  $N$  – середины диагоналей  $BC$  и  $AD$ .

Проведем прямую  $CH$  до пересечения с  $BD$  в точке  $H$ . Тогда  $\triangle ACH = \triangle DH_1H$  (равенство по стороне и двум прилежащим углам, так как  $AH = HD$ ,  $CHA = H_1HD$ ,  $CAH = H_1DH$ ).



Отсюда следует, что  $CH = HH_1$ ,  $H_1D = AC$ .

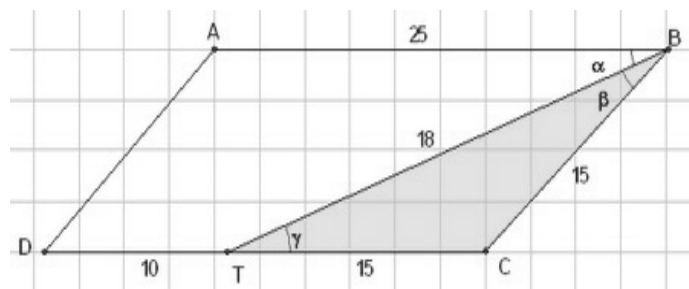
Рассмотрим гомотегию с центром в точке  $C$  и коэффициентом  $k = 2$ .

$H_c^2(M) = B$ ,  $H_c^2(H) = H_1$ . Значит:  $H_c^2(MH) = BH_1$ . Следовательно,  $MH \parallel BH_1$ . Тогда  $MH \parallel BD \parallel AC$  и  $MH = 1/2 BH_1 = 1/2(BD - H_1D) = 1/2(BD - AC)$ .

4. В параллелограмме  $ABCD$  биссектриса угла  $B$  пересекает сторону  $CD$  в точке  $T$  и прямую  $AD$  в точке  $M$ .

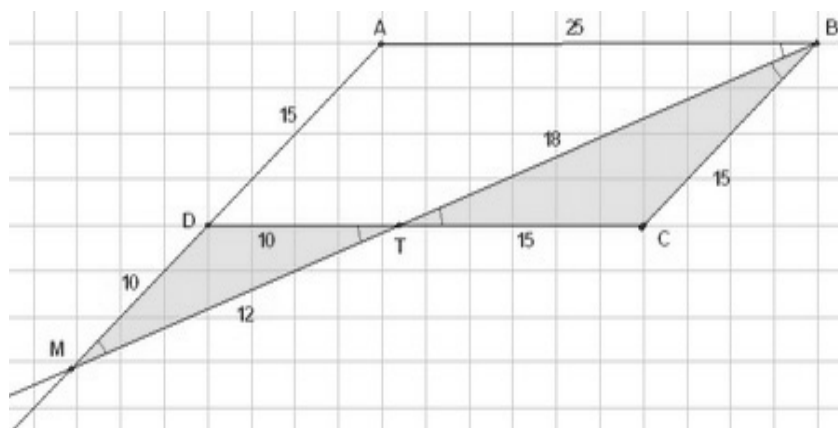
Найдите периметр треугольника  $ABM$ , если  $BC = 15$ ,  $BT = 18$ ,  $MT = 12$ .

Задача решается с применением подобия.



Решение. 1)  $\alpha = \beta$ , так как  $BT$  – биссектриса угла  $B$  по условию задачи.  $\alpha = \gamma$  как внутренние накрест лежащие углы при параллельных прямых  $AB$  и  $DC$  и секущей  $TB$ .

Следовательно,  $\beta = \gamma$ , значит,  $\triangle TBC$  равнобедренный и  $TC = BC = 15$ . Тогда  $DT = 25 - 15 = 10$ .



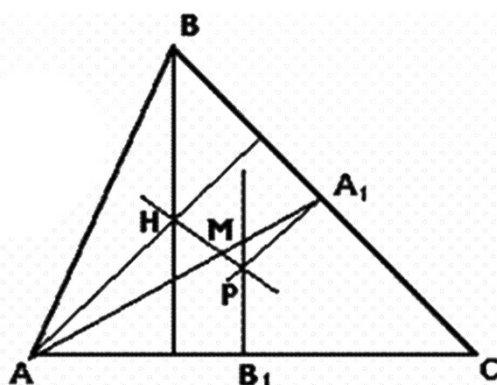
2) Треугольники  $MDT$  и  $BCT$  подобны по двум углам. Значит,  $\triangle MDT$  тоже равнобедренный и  $MD = 10$ .

Кроме того, из подобия найдём  $MT:MT:TB = MD:CB$ ;  $MT:18 = 10:15$ ;  $MT = 12$ .

3) Наконец, находим периметр треугольника  $ABM$ :  $AB + BM + AM = 25 + (12 + 18) + (10 + 15) = 80$ .

5. Доказать, что в треугольнике точка пересечения медиан, центр окружности, описанной около треугольника, и ортоцентр лежат на одной прямой. Эта прямая называется прямой Эйлера.

При решении необходимо выполнить дополнительные построения: провести медианы ( $M$  – точка пересечения медиан), высоты ( $H$  – ортоцентр), найти центр окружности описанной около треугольника (точка  $P$ ). Задача решается с применением гомотетии с центром в точке  $M$  и коэффициентом  $k = 1/2$ .



*Решение.* Пусть дан треугольник  $ABC$ , у которого  $M$  – точка пересечения медиан,  $P$  – центр окружности, описанной около треугольника,  $H$  – ортоцентр, т.е.  $H$  – точка пересечения высот треугольника (рис. 2).

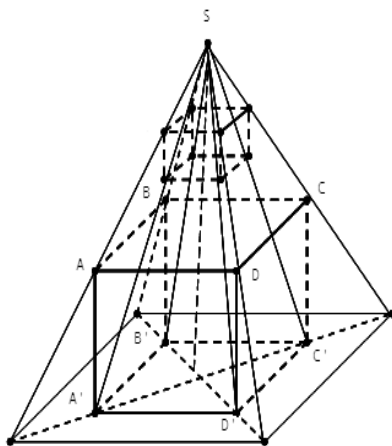
Надо доказать, что точка  $M$  принадлежит прямой  $HP$ .

Рассмотрим гомотетию с центром в точке  $M$  и коэффициентом  $k = -1/2$ . Так как точка  $M$  делит медианы в отношении  $1:2$ , считая от вершины, а  $P$  – точка пересечения серединных перпендикуляров, то  $HM^{1/2}:B - B_1$ , а  $A - A_1$ ,  $BH - B_1P$ ,  $AH - A_1P$ .

Значит  $HM^{1/2}(H) = (P)$ . Следовательно, точка  $M$  принадлежит прямой  $PH$ .

Рассмотрим одну из пространственных задач, которую можно решить при помощи гомотетии.

6. В данную правильную четырехугольную пирамиду впишите куб так, чтобы четыре его вершины лежали на ребрах, а четыре – на основании пирамиды.



*Решение.* Проведем любое сечение  $A_1B_1C_1D_1$  пирамиды, параллельное основанию пирамиды. На этом сечении (квадрате) строим куб  $A_1B_1C_1D_1A_2B_2C_2D_2$ . Взяв в качестве центра гомотетии вершину  $S$  пирамиды, проведем прямые  $SA_2$ ,  $SB_2$ ,  $SC_2$ ,  $SD_2$ .

Точки  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$  их пересечение с основанием пирамиды (точнее, диагоналями основания) будут вершинами одного из оснований искомого куба. Вершины  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  другого основания получим, если проведем прямые  $A'A$ ,  $B'B$ ,  $C'C$ ,  $D'D$ , параллельные соответственно отрезкам  $A_2A_1$ ,  $B_2B_1$ ,  $D_2D_1$ , до пересечения с ребрами куба.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Т. А. Сазанова.*

### **Литература**

1. Атанасян, Л. С., Базылев, В. Т. Геометрия / Л. С. Атанасян, В. Т. Базылев. М. : Просвещение, 1986. Ч. 1.
2. Атанасян, Л. С., Атанасян, В. А. Сборник задач по геометрии / Л. С. Атанасян, В. А. Атанасян. М. : Просвещение, 1973. Ч. 1.
3. Электронный ресурс: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Подобие>

## **ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА УРОКАХ ГЕОМЕТРИИ В СРЕДНЕМ ЗВЕНЕ**

**О. С. Жигарова**

*Томский государственный педагогический университет*

Успех в современном мире во многом определяется способностью человека организовать свою жизнь как проект: определить дальнюю и ближайшую перспективу, найти и привлечь необходимые ресурсы, наметить план действий и, осуществив его, оценить, удалось ли достичь поставленных целей. Многочисленные исследования, проведенные как в нашей стране, так и за рубежом, показали, что большинство современных лидеров в политике, бизнесе, искусстве, спорте – люди, обладающие проектным типом мышления. Сегодня в школе есть все возможности для развития проектного мышления с помощью особого вида деятельности учащихся – проектной деятельности. И поэтому все более актуальным в образовательном процессе становится использование приемов и методов обучения, которые формируют умения самостоятельно добывать новые знания, собирать необходимую информацию, выдвигать гипотезы, делать выводы и умозаключения. Общая дидактика и частные методики в рамках учебного предмета призывают решать проблемы, связанные с развитием у школьников умений и навыков самостоятельности и саморазвития. А это предполагает поиск новых форм и методов обучения, обновление содержания образования.

В последние годы эту проблему в школе пытаются решать, в частности, через организацию проектной деятельности. Метод проектов составляет основу проектного обучения, смысл которого заключается в создании условий для самостоятельного усвоения школьниками учебного материала в процессе выполнения проектов.

Актуальность метода проектов также подчеркивается своим преимуществом: совмещается с групповыми и индивидуальными формами работы, допускает дифференцируемый подход, хорошо совместим с ИКТ и с формированием компетентностей.

Можно заметить, что имеет место обоюдный процесс проектной деятельности, где, с одной стороны, проектная деятельность способствует повышению уровня знаний учащихся по геометрии, а с другой стороны, геометрия предполагает интересные темы и этапы реализации проектов. То есть два вида геометрическая и проектная деятельность взаимно обогащают ученика. Что и способствует формированию компетенций: коммуникационных, учебно-познавательных, информационных, системных, личностного самосовершенствования и т.д.

В современной педагогической литературе можно встретить как с термином «метод проектов», так и с термином «проектная деятельность». Метод проектов трактуется как своеобразный педагогический инструмент, с помощью которого решаются определенные дидактические задачи. Проектная деятельность – способ организации образовательного пространства обучающихся.

Достаточно широкое инструментальное определение проектной деятельности учащихся дали Н.В. Матяш и В.Д. Симоненко, трактуя последнюю как форму учебно-познавательной активности, заключающуюся в достижении сознательно поставленной цели по созданию творческого проекта, обеспечивающую единство и преемственность различных сторон процесса обучения и являющуюся средством развития личности.

Говоря о методе проектов, Е.С. Полат подчеркивает его суть «стимулировать интерес ребят к определенным проблемам, предполагающим владение некоторой суммой знаний, и через проектную деятельность, предусматривающую решение одной или целого ряда проблем, показать практическое применение полученных знаний».

В истории педагогики существует авторское понимание метода проектов. Джон Дьюи (Dewey) (1859–1952), американский педагог, психолог, один из ведущих представителей философии прагматизма, гуманистического направления в философии и образовании, создатель так называемой педоцентрической теории и методики обучения. Он организовал педагогическую систему по методу проектов, главным в котором является деятельность детей по созданию конкретных предметов и тем самым решение жизненных, практических задач, определяемых интересами детей с привлечением необходимых для работы сведений из естественных наук, географии, истории и т.д. В этом виде метод проектов использовался в зарубежной и отечественной педагогике еще в 20–30-е гг. XX в., где познание строилось лишь на выполнении комплексных проектов. Вопросы организации такого обучения рассмотрены в работах В. Килпатрика, Е. Коллинга, Л. Э. Левина, П.П. Блонского и др. При обучении геометрии можно практически для любых тем подобрать проекты.

В свою очередь, хотелось бы разработать темы проектов и образцы проектов по каждой главе из учебника геометрии в среднем звене. И путем внедрения на практике, показать, что с помощью проектной деятельности можно повысить качество образования по геометрии. Результатом проделанной работы является коллекция проектов.



Был проведен эксперимент по реализации проекта «Теорема Пифагора: различные способы доказательства» с учащимися 8-го класса школы «Эврика – развитие». Цель – показать, что проектная деятельность способствует:

- интеллектуальному развитию;
- развитию мышления;
- формированию навыков самостоятельной и исследовательской деятельности.

Проект был реализован и проходил в групповой форме.

**План эксперимента:**

1. *Подготовительный*: определение темы и цели проекта. Деятельность учеников: обсуждение и получение необходимой информации, установка целей. Деятельность учителя: знакомство с проектным подходом детей, мотивация, помощь в постановке цели проекта, определение количества участников проекта, формирование состава групп.

2. *Планирование*. Определение источников информации; сбора и анализа информации; способа предоставления результатов; критериев оценки результатов и процесса распределения обязанностей между членами команды. Деятельность учеников: выработка плана действий, формулировка задач. Деятельность учителя: предлагает идеи, высказывает предположения.

3. *Исследование*: сбор информации, решение промежуточных задач. Ученики: выполнение исследования, решение промежуточных задач. Учитель: наблюдение, советы, косвенное руководство деятельностью.

4. *Результаты и выводы*: анализ информации, формулирование выводов. Ученик: анализирует информацию. Учитель: наблюдает, советует.

5. *Предоставление итогов*.

6. *Оценка результатов*.

Оценивается:

- актуальность и оригинальность темы;
- глубина и самостоятельность исследований;
- мастерство докладчиков;
- практическое сопровождение доклада;
- соответствие содержания работы проекту заявленного типа.

Анализируя проведенный эксперимент, можно прийти к выводу: удачное сочетание групповой формы и проектной деятельности дает хороший результат. Также наряду с коллективным проектом могут возникнуть индивидуальные.

Аналогично, можно реализовать проекты по темам: признаки равенства треугольников, подобие треугольников, четырехугольники и т.д.

Проектная деятельность способствует установлению связей геометрии с опытом практической работы, реальной жизнью обучающихся; соединению математического мышления с математическими понятиями и навыками: того, ЧТО изучают, с тем, КАК они это изучают. Проектная деятельность, кроме того, поможет участнику проекта стать исследователем, компетентным специалистом, который умеет ставить перед собой серьезные вопросы и искать на них ответы, умеет догадываться, предполагать, изобретать и решать задачи.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Т.А. Сазанова.*

### Литература

1. Бусев, В. Что такое проект по математике? / В. Бусев // Математика. 2008. № 13. С. 15.
2. Гельфман, Э.Г. и др. Теория и методика обучения математике : учеб. пособие по курсу / Э.Г. Гельфман и др. Томск : Изд-во ТГПУ, 2009. 71 с.
3. Деревянко, И. От проекта к проекту – путем самостоятельного поиска знаний / И. Деревянко // Директор школы. 2007. № 5. С. 70.
4. Зимняя, И.А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования / И. А. Зимняя // Высшее образование сегодня. 2008. № 4.
5. Мансуров, Н.А. Новые подходы к организации и управлению проектной деятельностью в школе / Н.А. Мансуров, Т.Б. Герасимова // Образовательные технологии. 2005. С. 45–48.
6. Матяш, Н.В. Проектная деятельность младших школьников : книга для учителя начальных классов / Н.В. Матяш, В.Д. Симоненко. М., 2002. 112 с.
7. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования : учеб. пособие для студ. пед. вузов и системы повыш. квалиф. пед кадров / под ред. Е. С. Полат. М. : Академия, 2002. 272 с.
8. Обидина, Е.Ю. Проектное мышление как основа инновационно-экспериментальной деятельности в образовательном учреждении / Е.Ю. Обидина // PR в образовании. 2006. № 4. С. 64.
9. Полат, Е.С. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования / Е.С. Полат. М. : Издательский центр «Академия», 2001. 203 с.
10. Поливанова, К.Н. Проектная деятельность школьников / К.Н. Поливанова. М. : Просвещение, 2008.
11. Смирнова, И.М. Геометрия. 7–9 классы : учебник для общеобразовательных учреждений / И.М. Смирнова, В.А. Смирнов. М. : Просвещение, 2001. С. 270.
12. Смирнова, И.М. Экстремальные задачи по геометрии / И.М. Смирнова, В. Смирнов. М. : Чистые пруды, 2007. С. 31.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНВЕРСИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

Е. С. Захарова

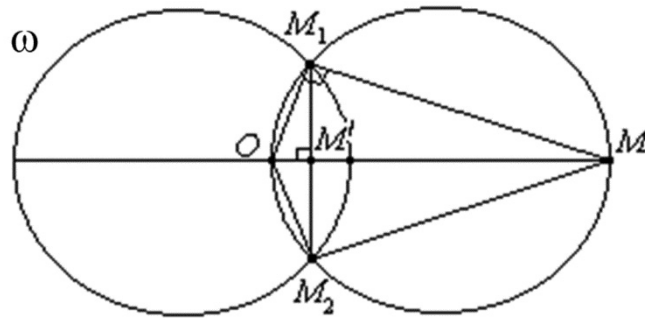
*Томский государственный педагогический университет*

В геометрии большую роль играют различные преобразования фигур. Важной особенностью этих преобразований является сохранение ими природы простейших геометрических образов: прямые преобразуются в прямые, а окружности – в окружности. В 1831 г. Л. Дж. Магнус впервые стал рассматривать преобразование плоскости, которое получило название инверсии. Инверсия – геометрическое преобразование, которое не является коллинеацией, т.е. при этом преобразовании образом прямой не всегда является прямая. Мы рассмотрим один тип инверсии. Инверсия относительно окружности.

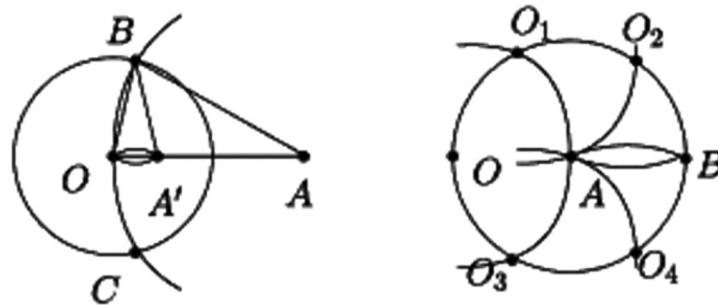
Рассмотрим на плоскости окружность  $\omega$  с центром  $O$  и радиусом  $R$  и произвольную точку  $A_1$ , отличную от центра  $O$ .

**Определение.** Точка  $A_2$  называется инверсной (симметричной) точке  $A_1$  относительно окружности  $\omega$  с центром  $O$  и радиусом  $R$ , если точка  $A_2$  лежит на луче  $OA_1$  и  $OA_1 \cdot OA_2 = R^2$ .

**Построение.** Пусть точка  $M$  лежит вне окружности  $\omega$  с центром  $O$ ,  $MM_1$  и  $MM_2$  – касательные к окружности  $\omega$ ; прямые  $OM$  и  $M_1M_2$  пересекаются в точке  $M$ . Тогда точки  $M$  и  $M'$  инверсно-симметричны относительно окружности  $\omega$ .



Построение образа только с помощью циркуля (в предположении, что  $OA > R/2$ ).



**Аналитическое представление инверсии.** Если  $O$  – центр инверсии и точка  $M$  отображается в точку  $M'$ , то, согласно определению,  $|OM'| = \frac{r^2}{|OM|}$ .

Тогда, инверсия с центром в начале координат прямоугольной декартовой системы:

$$x' = \frac{r^2 x}{x^2 + y^2},$$

$$y' = \frac{r^2 y}{x^2 + y^2}.$$

**Некоторые свойства инверсии.** Все точки окружности  $\omega(O, R)$  при инверсии  $\text{inv}OR$  остаются неподвижными. Внутренние точки круга с границей  $\omega(O, R)$  переходят во внешние, а внешние – во внутренние.

Инверсия сохраняет величину угла между прямыми, пересекающимися окружностями, пересекающимися прямой и окружностью.

Лемма о равных углах: рассмотрим любые две точки  $P$  и  $Q$  и применим к ним преобразование инверсии, получим точки  $P'$  и  $Q'$ . Тогда следующие углы равны:  $\angle POQ = \angle P'OQ'$ .

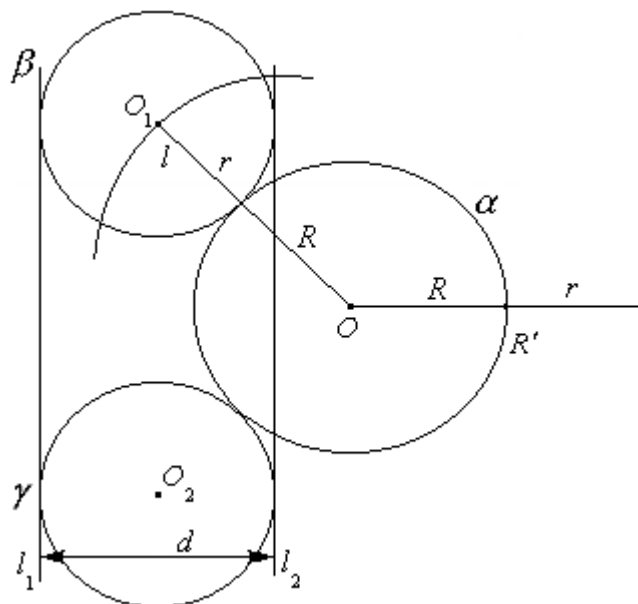
Пусть точки  $A_1$  и  $A_2$  симметричны относительно окружности  $\omega$ . Тогда любая окружность  $\alpha$ , проходящая через эти точки, ортогональна к окружности  $\omega$ .

**Задачи, решаемые методом инверсии.**

**Теорема Птолемея.** Произведение диагоналей вписанного в окружность четырехугольника равно сумме произведения его противоположных сторон.

Теорему можно доказать, используя определение инверсии и то, что при инверсии сохраняются углы.

*Задача Аполлония.* Построить с помощью циркуля и линейки окружность, касающуюся трех данных окружностей.



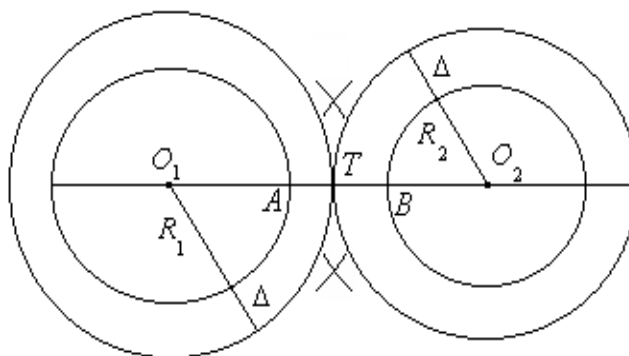
Выделим вспомогательные задачи:

а) построить окружность, касающуюся двух данных параллельных прямых и окружности

$$r = \frac{d}{2}; \quad r + R = R'; \quad \beta, \gamma - \text{искомые окружности};$$

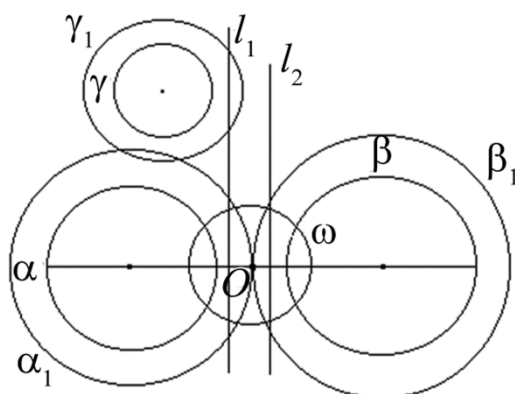
б) пусть даны две окружности, не касающиеся друг друга. Построить расширения окружностей до касания

$$\Delta = \frac{|AB|}{2}.$$



*Решение задачи Аполлония.* Даны три окружности произвольного радиуса. Проведем окружность инверсии  $\omega$ .

1.  $\alpha \rightarrow \alpha_1; \beta \rightarrow \beta_1; \gamma \rightarrow \gamma_1$  – расширение.
2.  $\omega$  – окружность инверсии.
3.  $\alpha_1 \rightarrow l_1; \beta_1 \rightarrow l_2; l_1 \parallel l_2; \gamma \rightarrow \gamma_1$ .



4. Решаем первую вспомогательную задачу, получим  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – окружность.
5.  $\delta_1 \rightarrow \delta'_1; \delta_2 \rightarrow \delta'_2$ .
6. Ответ – антирасширение.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Т. А. Сазанова.*

#### Литература

1. Атанасян, Л. С. Геометрия / Л. С. Атанасян, В. Т. Базылев. М. : Просвещение, 1987. Ч. 1.
2. Аргунов, Б. И. Элементарная геометрия / Б. И. Аргунов, М. Б. Балк. М. : Просвещение, 1966.
3. Смирнова, И. М. Геометрия. 7–9 классы / И. М. Смирнова. 2-е изд., стер. М. : Мнемозина, 2007.

## ВЫПУКЛЫЕ И НЕВЫПУКЛЫЕ МНОГОГРАННИКИ

А. А. Семёнова

*Томский государственный педагогический университет*

Среди всех геометрических фигур многогранники занимают значительное место. Многогранник – это часть пространства, ограниченная совокупностью конечного числа плоских многоугольников, соединенных таким образом, что каждая сторона любого многоугольника является стороной ровно одного другого многоугольника (называемого смежным), причем вокруг каждой вершины существует ровно один цикл многоугольников. Эти многоугольники называются гранями, их стороны – ребрами, а вершины – вершинами многогранника.

На рис. 1 представлены несколько известных многогранников. Первые два служат примерами  $p$ -угольных пирамид. На рис. 1, в–д приведены примеры некоторого класса многогранников, вершины которых можно разделить на два множества из одинакового числа точек; точки каждого из этих множеств являются вершинами  $p$ -угольника, причем плоскости обоих  $p$ -угольников параллельны. Если эти два  $p$ -угольника (основания) конгруэнтны и расположены так, что вершины одного  $p$ -угольника соединены с вершинами другого  $p$ -угольника параллельными прямолинейными отрезками, то такой многогранник называется

$p$ -угольной призмой. Примерами двух  $p$ -угольных призм могут служить треугольная призма ( $p = 3$ ) на рис. 1, а и пятиугольная призма ( $p = 5$ ) на рис. 1, г. Если же основания расположены так, что вершины одного  $p$ -угольника соединены с вершинами другого  $p$ -угольника зигзагообразной ломаной, состоящей из  $2p$  прямолинейных отрезков, как на рис. 1, д, то такой многогранник называется  $p$ -угольной антипризмой.

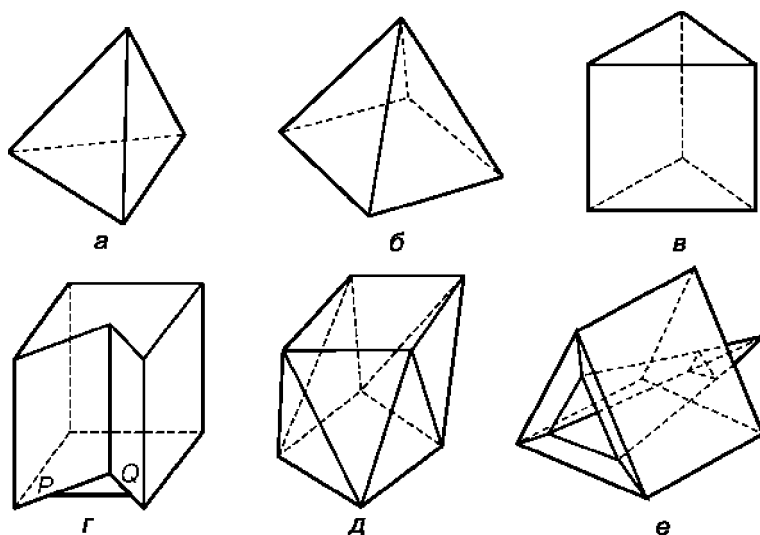


Рис. 1

Кроме двух оснований, у  $p$ -угольной призмы имеются  $p$  граней – параллелограммов. Если параллелограммы имеют форму прямоугольников, то призма называется прямой, а если к тому же основаниями служат правильные  $p$ -угольники, то призма называется прямой правильной  $p$ -угольной призмой.  $p$ -угольная антипризма имеет  $(2p + 2)$  граней:  $2p$  треугольных граней и два  $p$ -угольных основания. Если основаниями служат конгруэнтные правильные  $p$ -угольники, а прямая, соединяющая их центры, перпендикулярна их плоскостям, то антипризма называется прямой правильной  $p$ -угольной антипризмой.

Многогранник называется выпуклым, если ни один прямолинейный отрезок, соединяющий любые две его точки, не содержит точек, принадлежащих внешнему пространству. Многогранники на рис. 1, а–в, д выпуклые, а пятиугольная призма на рис. 1, г не выпуклая, так как, например, отрезок  $PQ$  содержит точки, лежащие во внешнем пространстве призмы.

Выпуклый многогранник называется правильным, если он удовлетворяет следующим двум условиям: все его грани – конгруэнтные правильные многоугольники; к каждой вершине примыкает одно и то же число граней. Если все грани – правильные  $p$ -угольники и  $q$  из них примыкают к каждой вершине, то такой правильный многогранник обозначается  $\{p, q\}$ . Это обозначение было предложено Л. Шлефли (1814–1895), швейцарским математиком. Существуют невыпуклые многогранники, у которых грани пересекаются и которые называются правильными звездчатыми многогранниками.

**Платоновы тела.** На рис. 2 изображены правильные многогранники. Простейшим из них является правильный тетраэдр, гранями которого служат четыре равносторонних треугольника и к каждой из вершин примыкают по три грани.

Тетраэдру соответствует запись  $\{3, 3\}$ . Это не что иное, как частный случай треугольной пирамиды. Наиболее известен из правильных многогранников куб (иногда называемый правильным гексаэдром) – прямая квадратная призма, все шесть граней которой – квадраты. Так как к каждой вершине примыкают по 3 квадрата, куб обозначается  $\{4, 3\}$ . Если две конгруэнтные квадратные пирамиды с гранями, имеющими форму равносторонних треугольников, совместить основаниями, то получится многогранник, называемый правильным октаэдром. Он ограничен восемью равносторонними треугольниками, к каждой из вершин примыкают по четыре треугольника, и следовательно, ему соответствует запись  $\{3, 4\}$ . Правильный октаэдр можно рассматривать и как частный случай прямой правильной треугольной антипризмы. Рассмотрим теперь прямую правильную пятиугольную антипризму, грани которой имеют форму равносторонних треугольников, и две правильные пятиугольные пирамиды, основания которых конгруэнтны основанию антипризмы, а грани имеют форму равносторонних треугольников. Если эти пирамиды присоединить к антипризме, совместив их основания, то получится еще один правильный многогранник. Двадцать его граней имеют форму равносторонних треугольников, к каждой вершине примыкают по пять граней. Такой многогранник называется правильным икосаэдром и обозначается  $\{3, 5\}$ . Помимо четырех названных выше правильных многогранников, существует еще один – правильный додекаэдр, ограниченный двенадцатью пятиугольными гранями; к каждой его вершине примыкают по три грани, поэтому додекаэдр обозначается как  $\{5, 3\}$ .

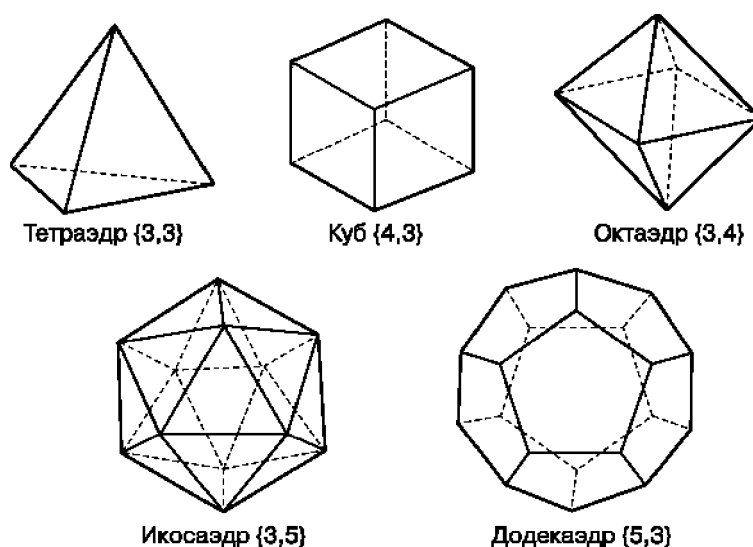


Рис. 2

Пять перечисленных выше правильных многогранников, часто называемых также телами Платона, захватили воображение математиков, мистиков и философов древности более двух тысяч лет назад. Древние греки даже установили соответствие между тетраэдром, кубом, октаэдром и икосаэдром и четырьмя природными началами – огнем, землей, воздухом и водой. Что касается пятого правильного многогранника, додекаэдра, то они рассматривали его как форму Вселенной. Эти идеи не являются одним лишь достоянием прошлого. И сейчас, спустя два тысячелетия, многих привлекает лежащее в их основе эстетическое

начало. О том, что они не утратили свою притягательность и поныне, весьма убедительно свидетельствует картина испанского художника Сальвадора Дали «Тайная вечеря».

Древними греками исследовались также и многие геометрические свойства платоновых тел; с плодами их изысканий можно ознакомиться по 13-й книге Начал Евклида. Изучение платоновых тел и связанных с ними фигур продолжается и поныне. И хотя основными мотивами современных исследований служат красота и симметрия, они имеют также и некоторое научное значение, особенно в кристаллографии. Кристаллы поваренной соли, тимоантимонида натрия и хромовых квасцов встречаются в природе в виде куба, тетраэдра и октаэдра соответственно. Икосаэдр и додекаэдр среди кристаллических форм не встречаются, но их можно наблюдать среди форм микроскопических морских организмов, известных под названием радиолярий.

**Свойства правильных многогранников.** Вершины любого правильного многогранника лежат на сфере. Помимо этой сферы, называемой «описанной сферой», имеются еще две важные сферы. Одна из них, «срединная сфера», проходит через середины всех ребер, а другая, «вписанная сфера», касается всех граней в их центрах. Все три сферы имеют общий центр, который называется центром многогранника.

**Двойственные многогранники.** Рассмотрим правильный многогранник  $\{p, q\}$  и его срединную сферу  $S$ . Средняя точка каждого ребра касается сферы. Заменяя каждое ребро отрезком перпендикулярной прямой, касательной к  $S$  в той же точке, мы получим  $N_1$  ребер многогранника, двойственного многограннику  $\{p, q\}$ . Нетрудно показать, что гранями двойственного многогранника служат правильные  $q$ -угольники и что к каждой вершине примыкают  $p$  граней. Следовательно, многограннику  $\{p, q\}$  двойствен правильный многогранник  $\{q, p\}$ . Многограннику  $\{3, 3\}$  двойствен другой многогранник  $\{3, 3\}$ , конгруэнтный исходному (поэтому  $\{3, 3\}$  называется самодвойственным многогранником), многограннику  $\{4, 3\}$  двойствен многогранник  $\{3, 4\}$ , а многограннику  $\{5, 3\}$  – многогранник  $\{3, 5\}$ . На рис. 3 многогранники  $\{4, 3\}$  и  $\{3, 4\}$  показаны в положении двойственности друг другу. Кроме того, каждой вершине, каждому ребру и каждой грани многогранника  $\{p, q\}$  соответствует единственная грань, единственное ребро и единственная вершина двойственного многогранника  $\{q, p\}$ . Следовательно, если  $\{p, q\}$  имеет  $N_0$  вершин,  $N_1$  ребер и  $N_2$  граней, то  $\{q, p\}$  имеет  $N_2$  вершин,  $N_1$  ребер и  $N_0$  граней.

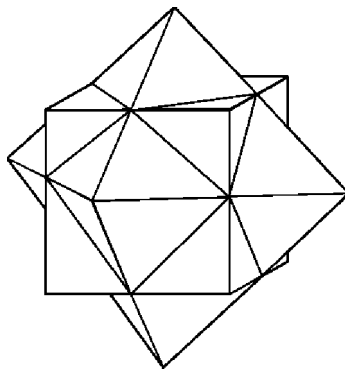


Рис. 3. Двойственные многогранники. Куб и октаэдр



Так как каждая из  $N_2$  граней правильного многогранника  $\{p, q\}$  ограничена  $p$  ребрами и каждое ребро является общим ровно для двух граней, то всего имеется  $pN_2/2$  ребер, поэтому  $N_1 = pN_2/2$ . У двойственного многогранника  $\{q, p\}$  ребер также  $N_1$  и  $N_0$  граней, поэтому  $N_1 = qN_0/2$ . Таким образом, числа  $N_0$ ,  $N_1$  и  $N_2$  для любого правильного многогранника  $\{p, q\}$  связаны соотношением

$$pN_2 = 2N_1 = qN_0.$$

Основной интерес к правильным многогранникам вызывает большое число симметрий, которыми они обладают. Под симметрией (или преобразованием симметрии) многогранника мы понимаем такое его движение как твердого тела в пространстве (например, поворот вокруг некоторой прямой, отражение относительно некоторой плоскости и т.д.), которое оставляет неизменными множества вершин, ребер и граней многогранника. Иначе говоря, под действием преобразования симметрии вершина, ребро или грань либо сохраняет свое исходное положение, либо переводится в исходное положение другой вершины, другого ребра или другой грани.

Существует одна симметрия, которая свойственна всем многогранникам. Речь идет о тождественном преобразовании, оставляющем любую точку в исходном положении. С менее тривиальным примером симметрии мы встречаемся в случае прямой правильной  $p$ -угольной призмы. Пусть  $l$  – прямая, соединяющая центры оснований. Поворот вокруг  $l$  на любое целое кратное угла  $360/p$  градусов является симметрией. Пусть, далее,  $p$  – плоскость, проходящая посередине между основаниями параллельно им. Отражение относительно плоскости  $p$  (движение, переводящее любую точку  $P$  в точку  $P'$ , такую, что  $p$  пересекает отрезок  $PP'$  под прямым углом и делит его пополам) – еще одна симметрия. Комбинируя отражение относительно плоскости  $p$  с поворотом вокруг прямой  $l$ , мы получим еще одну симметрию.

Любую симметрию многогранника можно представить в виде произведения отражений. Например, упоминавшийся выше поворот на угол  $360/p$  градусов вокруг прямой  $l$  есть произведение отражений относительно любых двух плоскостей, содержащих  $l$  и образующих относительно друг друга угол в  $180/p$  градусов. Симметрия, являющаяся произведением четного числа отражений, называется прямой, в противном случае – обратной. Таким образом, любой поворот вокруг прямой – прямая симметрия. Любое отражение есть обратная симметрия.

Рассмотрим подробнее симметрии тетраэдра, т.е. правильного многогранника  $\{3, 3\}$ . Любая прямая, проходящая через любую вершину и центр тетраэдра, проходит через центр противоположной грани. Поворот на 120 или 240 градусов вокруг этой прямой принадлежит к числу симметрий тетраэдра. Так как у тетраэдра 4 вершины (и 4 грани), то мы получим всего 8 прямых симметрий. Любая прямая, проходящая через центр и середину ребра тетраэдра проходит через середину противоположного ребра. Поворот на 180 градусов (полуоборот) вокруг такой прямой также является симметрией. Так как у тетраэдра 3 пары ребер, мы получаем еще 3 прямые симметрии. Следовательно, общее число прямых симметрий, включая тождественное преобразование, доходит до 12. Можно показать, что других прямых симметрий не существует и что имеется 12 обратных симметрий. Таким образом, тетраэдр допускает всего 24 симметрии.

Симметрии многогранника  $\{p, q\}$  образуют группу относительно определенного выше «умножения». В этой группе прямые симметрии образуют подгруппу индекса 2, а обратные симметрии группу не образуют, так как нарушают свойство замкнутости и не содержат тождественного преобразования (единичного элемента группы).

Обычно о группе прямых симметрий говорят как о группе многогранника, а полную группу симметрий называют его расширенной группой. Из рассмотренных выше свойств двойственных многогранников ясно, что любой правильный многогранник и двойственный ему многогранник имеют одну и ту же группу. Группа тетраэдра называется тетраэдрической группой, группа куба и октаэдра называется октаэдрической группой, а группа додекаэдра и икосаэдра – икосаэдрической группой. Они изоморфны знакопеременной группе  $A_4$  из четырех символов, симметрической группе  $S_4$  из четырех символов и знакопеременной группе  $A_5$  из пяти символов соответственно.

Рассматривая таблицу, можно заметить интересное соотношение между числом вершин  $N_0$ , числом ребер  $N_1$  и числом граней  $N_2$  любого выпуклого правильного многогранника  $\{p, q\}$ . Речь идет о соотношении

$$N_0 - N_1 + N_2 = 2,$$

которое называется формулой Эйлера в честь открывшего ее Л. Эйлера (1707–1783). Левая часть формулы (4) называется «эйлеровой характеристикой». Можно доказать, что если эйлерова характеристика многогранника равна 2, то многогранник гомеоморфен сфере.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Т. А. Сазанова.*

#### Литература

1. Атанасян, Л. С. Геометрия / Л. С. Атанасян, В. Т. Базылев. М. : Просвещение, 1987. Ч. 2. 352 с. : ил.
2. Атанасян, Л. С. Геометрия / Л. С. Атанасян. М. : Просвещение, 1973. Ч. 2. 480 с. : ил.
3. Смирнова, И. М. Геометрия. 10–11 классы / И. М. Смирнова. 2-е изд., стер. М. : Мнемозина, 2007. 223 с. : ил.

## ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ КРИВЫЕ НА ПЛОСКОСТИ

О. К. Сиухина

*Томский государственный педагогический университет*

Сами по себе кривые очень разнообразны и имеют богатую историю. Ещё с древних времён они представляют огромный интерес для учёных. В своё время кривые изучали Декарт, Архимед, Аристотель.

Данная работа посвящена кривым. Эта тема является очень занимательной и интересной. Изучая данную тему, учащиеся сталкиваются с изображением таких замечательных кривых как астроида (звездообразная кривая), кардиоида (сердцевидная кривая), улитка Паскаля, лемниската Бернулли, овалы Кассини,

конхоида Никомеда, Декартов лист, четырехлепестковая роза, спирали: Архимеда, гиперболическая и логарифмическая и др. Каждая из этих кривых имеет присущий только ей вид и свойства.

Наша цель составить справочник по замечательным кривым. Туда входит история вопроса, определение, способы задания и чертеж.

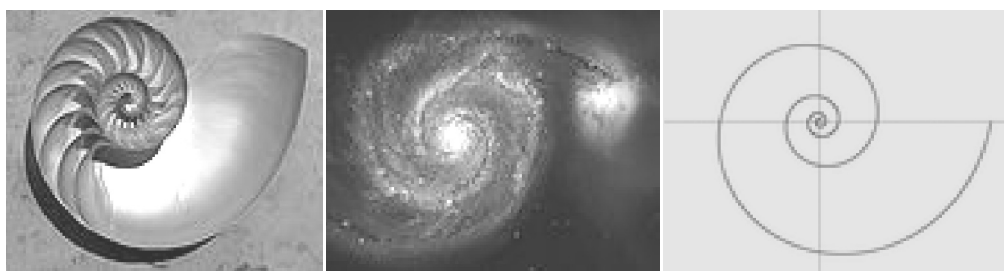
**Логарифмическая спираль** или изогональная спираль – особый вид спирали, часто встречающийся в природе.

Кривую эту можно было бы назвать по имени Декарта, так как впервые он пишет о ней в 1638 г. Однако подробное изучение ее свойств было проведено только полвека спустя Якобом Бернулли. На современных ему математиков эти свойства произвели сильное впечатление. На каменной плите, водруженной на могиле этого знаменитого математика, изображены витки логарифмической спирали.

Бернулли называл её *Spira mirabilis*, «удивительная спираль».

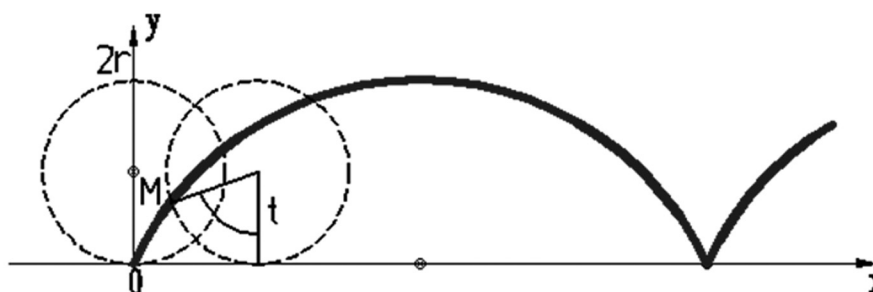
Уравнение в полярных координатах:  $r = ae^{b\theta}$  либо  $\theta = \frac{1}{b} \operatorname{Ln}\left(\frac{r}{a}\right)$ .

Параметрическое задание:  $x(t) = r \cos t = ae^{bt} \cos t$ ;  $y(t) = r \sin t = ae^{bt} \sin t$ , где  $a, b$  – действительные числа.



Размер витков логарифмической спирали постепенно увеличивается, но их форма остаётся неизменной. Возможно, в результате этого свойства, логарифмическая спираль появляется в определённых растущих формах, подобных раковинам моллюсков, шляпкам подсолнечников и завиткам галактик.

**Циклоида** – плоская кривая, траектория точки  $M$ , окружности радиуса  $r$ , катящейся без скольжения по прямой.



Первым изучал циклоиду Николай Кузанский в XV в., но серьёзное исследование началось только в XVII в. Название циклоида придумал Галилей (во Франции эту кривую сначала называли *рулеттой*).

Содержательное исследование циклоиды провёл современник Галилея Мерсенн. Среди трансцендентных кривых, т.е. кривых, уравнение которых не может быть записано в виде многочлена от  $x$ ,  $y$ , циклоида – первая из исследуемых.

Новая кривая быстро завоевала популярность и подверглась глубокому анализу, в котором участвовали Декарт, Ферма, Ньютон, Лейбниц, братья Бернулли и другие корифеи науки XVII–XVIII вв. На циклоиде активно оттачивались методы появившегося в те годы математического анализа.

Уравнение в прямоугольных координатах:  $x = r \arccos \frac{r-y}{r} - \sqrt{2ry - y^2}$ .

Параметрические уравнение:  $x = rt - r \sin t$ ;  $y = r - r \cos t$ .

Период циклоиды  $2\pi k$ .

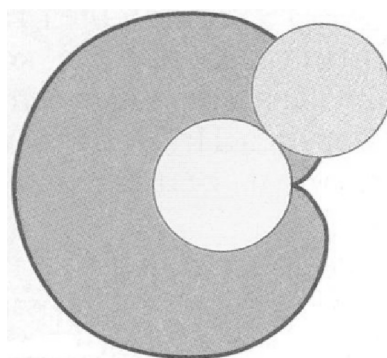
Длина арки циклоиды равна  $8r$ .

Площадь под каждой аркой циклоиды втрое больше, чем площадь порождающего круга.



«Перевернутая» циклоида является кривой кратчайшего спуска (*брахистохроной*). Более того, она имеет также свойство *таутохронности*: тяжёлое тело, помещённое в любую точку арки циклоиды, достигает горизонтали за одно и то же время.

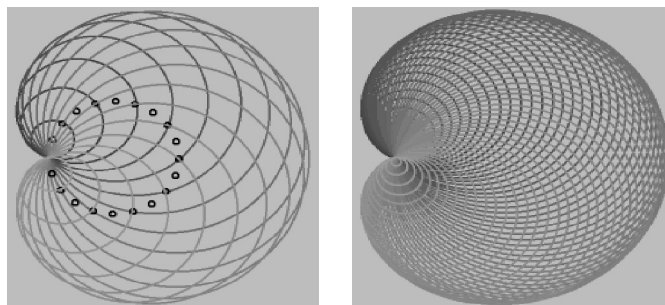
**Кардиоида** – плоская алгебраическая кривая 4-го порядка, которая описывается точкой  $M$  окружности радиуса  $r$ , катящейся по окружности с тем же радиусом  $r$ .



Открытие кривой приписывается голландскому математику Коерсма (в конце XVII в.). Название ввел итальянский ученый Кастильон в 1741 г. Буквальный смысл названия – «сердцевидная», «похожая на сердце».

Уравнение кардиоиды в полярных координатах:  $\rho = 2r(1 - \cos \varphi)$ ; в прямоугольных декартовых координатах:  $(x^2 + y^2 + 2rx)^2 = 4r^2(x^2 + y^2)$ .

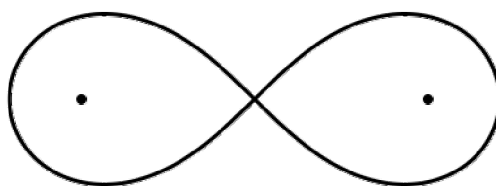
*Создание шедевров:* будем брать точки окружности, ставить в них иголку циркуля и рисовать новые окружности так, чтобы они все проходили через фиксированную точку на окружности. Общая огибающая к полученным окружностям будет кардиоидой.



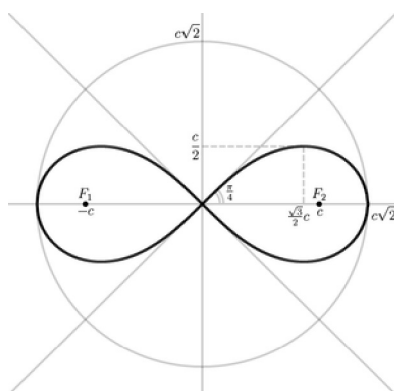
*Свойства:*

1. Длина дуги одного витка кардиоиды, заданной в полярных координатах, равна  $l = 8r$ .
2. Площадь фигуры, ограниченной кардиоидой, заданная в полярных координатах, равна  $S = \frac{3}{2} \pi r^2$ .

**Лемниската Бернулли** – геометрическое место точек, произведение расстояний от которых до двух заданных точек (фокусов) постоянно и равно квадрату половины расстояния между фокусами.



Такая кривая называется лемнискатой (лемниската по-гречески значит «ленточная»).



Лемниската по форме напоминает восьмерку. Ее название восходит к античному Риму, где лемнискатой называли бантик, с помощью которого прикрепляли венок к голове победителя на спортивных играх. Эта кривая названа в честь швейцарского математика Якоба Бернулли, положившего начало ее изучению.

Уравнение в прямоугольных координатах:  $(x^2 + y^2)^2 = 2c^2(x^2 - y^2)$ , где  $2c$  – расстояние между фокусами. В полярных координатах:  $\rho^2 = 2c^2 \cos 2\varphi$ .

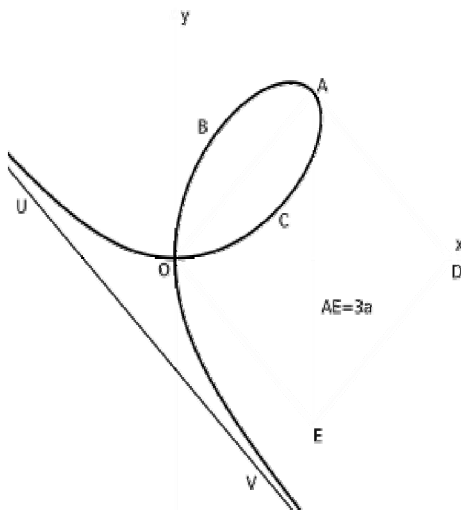
*Свойства:*

1. Лемниската имеет две оси симметрии: прямая, на которой лежат фокусы, и срединный перпендикуляр этого отрезка, в данном случае – ось  $OY$ .

2. Точка, где лемниската пересекает саму себя, называется *узловой* или *двойной* точкой.

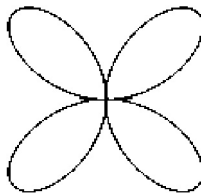
3. Площадь, ограниченная лемнискатой, равна:  $S = \frac{c^2}{2}$ .

**Декартов лист** – плоская кривая третьего порядка, удовлетворяющая уравнению в прямоугольной системе  $x^3 + y^3 = 3axy$ . Параметр  $3a$  определяется как диагональ квадрата, сторона которого равна наибольшей хорде петли.



Параметрические уравнения в прямоугольной системе: 
$$\begin{cases} x = \frac{3at}{1+t^3} \\ y = \frac{3at^2}{1+t^3} \end{cases}, \text{ где } t = \operatorname{tg} \varphi.$$

В полярной системе координат:  $\rho = \frac{3a \cos \varphi \sin \varphi}{\cos^3 \varphi + \sin^3 \varphi}$ .



Впервые уравнение кривой исследовал Р. Декарт в 1638 г., однако он построил только петлю в первом координатном угле, где  $x$  и  $y$  принимают положительные значения. Декарт полагал, что петля симметрично повторяется во всех четырёх координатных четвертях, в виде четырёх лепестков цветка. В то время эта кривая называлась *цветком жасмина*.

*Свойства:*

1. Прямая  $OA$  – ось симметрии, её уравнение:  $y = x$ .
2. Точка  $A$  называется *вершиной*, её координаты  $\left(\frac{3a}{2}, \frac{3a}{2}\right)$ .
3. Для обеих ветвей существует асимптота  $UV$ , её уравнение:  $x + y + a = 0$ .
4. Площадь области между асимптотой и кривой равна площади петли  $S_1 = S_2 = \frac{3}{2}a^2$ .

Всего собраны материалы по 30 кривым, их изучение связано с именами более 50 ученых.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Т. А. Сазанова.*

### **Литература**

1. Березин, В. Кардиоида / В. Березин // Квант. 1977. № 12.
2. Березин, В. Лемниската Бернулли / В. Березин // Квант. 1977. № 1.
3. Берман, Г. Н. Циклоида / Г. Н. Берман. М. : Наука, 1975.
4. Маркушевич, А. И. Замечательные кривые / А. И. Маркушевич. М., 1978. 48 с.
5. Савелов, А. А. Плоские кривые / А. А. Савелов. М. : Физматлит, 1960.
6. Смирнова, И. М., Смирнов, В. А. Кривые. Курс по выбору. 9 класс : учеб. пособие для общеобразоват. учреждений / И. М. Смирнова, В. А. Смирнов. М. : Мнемозина, 2007. 63 с.

## **ОБУЧЕНИЕ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ НА ПОСТРОЕНИЕ**

Н. А. Шах

*Томский государственный педагогический университет*

Вся история геометрии и некоторых других разделов математики тесно связана с развитием теории геометрических построений. Важнейшие аксиомы геометрии, сформулированные основоположником научной геометрической системы Евклидом около 300 г. до н.э., ясно показывают, какую роль сыграли геометрические построения в формировании геометрии. Постулаты Евклида явно указывают на основное положение конструктивных методов в геометрии древних.

Древнегреческие математики считали «истинно геометрическими» лишь построения, производимые только циркулем и линейкой, не признавая «законным» использование других средств для решения конструктивных задач. При этом, в соответствии с постулатами Евклида, они рассматривали линейку как неограниченную и одностороннюю, а циркулю приписывалось свойство чертить окружности любых размеров.

Задачи на построение циркулем и линейкой и сегодня считаются весьма интересными, и вот уже более 100 лет это традиционный материал школьного курса геометрии.

Цель современного обучения состоит не только в усвоении учащимися определенной суммы фактов, а в развитии их мышления и познавательной деятельности, что проявляется в способности эффективно организовать свою мыслительную

деятельность для решения задач, т.е. выдвигать гипотезы, организовывать поиск и стратегию решения.

Особую роль в развитии мышления, творческих способностей играет геометрия, которая глубоко сочетает логику и наглядность, общее и частное, абстрактное и конкретное.

При изучении курса геометрии особое значение, бесспорно, занимают задачи на построение.

Практика свидетельствует о том, что учащиеся, имея формальные знания по геометрии, испытывают значительные трудности при решении задач на построение. Они, в подавляющем большинстве, не владеют методами анализа, исследования геометрической ситуации, не способны сформулировать гипотезу решения, затрудняются в выборе эффективных средств для решения задачи, не умеют делать выводы и обобщать свои результаты. Поэтому можно сделать вывод, что богатые возможности, скрытые в задачах на построение, должным образом не реализованы.

Все решения в основном даются в «готовом виде», поверхностно рассматриваются приемы проведения анализа, введение дополнительных линий на чертеже и применение методов преобразования фигур часто никак не мотивируется.

Таким образом, хотя процессы обучения решению задач на построение и формирование мыслительной деятельности взаимосвязаны, в последнее время можно наблюдать следующую картину:

1) роль задач на построение резко снижена, очень мало задач используется в курсе геометрии;

2) решение этих задач совершается по трафарету, предписанному учителем алгоритму, нет творчества и целенаправленного формирования приемов мышления;

3) результаты ЕГЭ показывают низкий уровень знаний по геометрии.

Трудно переоценить роль задач на построение, так как:

1) задачи на построение могут служить в качестве метода (средства) изучения геометрических фактов;

2) при решении задач на построение используются сложные формы мышления. Эти задачи по своей постановке и методам решения объективно призваны развивать способность отчетливо представлять себе ту или иную геометрическую фигуру и, более того, уметь мысленно оперировать элементами этой фигуры;

3) задачи на построение могут способствовать пониманию происхождения различных геометрических фигур и возможности их преобразования – все это является важной предпосылкой становления пространственного мышления;

4) задачи на построение развивают поисковые навыки решения практических проблем, приобщают к самостоятельным исследованиям, что очень важно в формировании умений и навыков умственного труда;

5) при помощи задач на построение более глубоко осознаются теоретические сведения об основных геометрических фигурах и о геометрии в целом, формируются ключевые компетентности.

Таким образом, можно утверждать, что ни один из видов задач не дает столько в отношении формирования компетентностей, как задачи на построение.

В курсе изучения геометрии основной школы рассматриваются задачи, связанные с практическим применением изученных знаний: измерительные работы на местности, измерительные инструменты. Практические работы на местности



являются одной из наиболее активных форм связи обучения с жизнью, теории с практикой. Учащиеся учатся пользоваться справочниками, применять необходимые формулы, овладевают практическими приёмами геометрических измерений и построений.

Практические работы с использованием измерительных инструментов повышают интерес учащихся к геометрии, а решение задач на измерение ширины реки, высоты предмета и определение расстояния до недоступной точки позволяют применить их в практической деятельности, увидеть масштаб применения математики в жизни человека.

По мере изучения материала способы решения этих задач изменяются, одну и ту же задачу можно решить многими способами. При этом используются следующие вопросы геометрии: равенство и подобие треугольников, соотношения в прямоугольном треугольнике, теорема синусов и теорема косинусов, теорема Пифагора, свойства прямоугольных треугольников и т.д. Работа проводится как на местности, так и решение задач в классе различными способами на нахождение высоты предмета и определение расстояния до недоступной точки.

Наша цель показать возможности формирования компетентностей обучающихся при решении задач на построение в курсе основной школы, разработать методические рекомендации обучения решению задач на построение, способствующие формированию компетентностей обучающихся.

В процессе обучения геометрии решение задач на построение способствует формированию компетентностей обучающихся и повышает качество их геометрической подготовки.

*Задачи:*

- изучить формирование компетентностей;
- рассмотреть методы решения задач на построение;
- разработать методические рекомендации по обучению решению задач на построение.

*Методы исследования:*

- анализ учебной, учебно-методической, психолого-педагогической литературы;
- наблюдение;
- анкетирование;
- изучение опыта педагогов;
- подбор задач;
- разработка методики обучения решению задач на построение;
- проведение эксперимента.

В течение учебного года проводился эксперимент с группой учащихся кадетского корпуса по решению задач на построение.

Цель эксперимента: показать роль задач на построение в формировании компетентностей.

*Ход эксперимента:*

- подбор заданий ориентированных на будущую профессию;
- выбор темы;
- составление плана работы;
- реализация: выбор методов, подготовка инструментов, выбор объекта, проведение практической работы;
- описание работы;

– подготовка к конференции: паспорт проекта, текст доклада, презентация, выступление, дневник работы над проектом, отчет о работе.

Выполнив проектную работу, учащиеся кадетского корпуса выступили на конференции в своем учебном заведении и заняли второе место.

В результате эксперимент показал, что в действительности, при решении задач на построения на местности у учащихся формируются следующие компетентности:

– соотносить геометрические знания с кругом объектов реальной действительности, извлекать пользу из опыта, применять знания, организовывать свои собственные приемы изучения, решать проблемы, самостоятельно заниматься обучением;

– сотрудничать и работать в группе, вносить свой вклад, принимать решения, улаживать разногласия и конфликты, договариваться, разрабатывать и выполнять проекты, нести ответственность, доказывать солидарность, уметь организовывать свою работу, уметь пользоваться вычислительными и измерительными приборами;

– выбирать целевые и смысловые установки для своих действий и поступков, противостоять неуверенности и сложности, высказывать свое собственное мнение.

У школьников развиваются поисковые навыки решения практических проблем, самостоятельных исследований.

При решении задач на построение лучше усваиваются теоретические знания по геометрии в целом, формируются ключевые компетентности, повышается интерес к предмету.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Т. А. Сазанова.*

### **Литература**

1. Александров, И. И. Сборник геометрических задач на построение с решениями / И. И. Александров. М. : Учпедгиз, 1950. 175 с. : ил.
2. Аргунов, Б. И. Элементарная геометрия / Б. И. Аргунов, М. Б. Балк. М. : Просвещение, 1966. 366 с. : ил.
3. Белошистая, А. В. Задачи на построение в школьном курсе геометрии / А. В. Белошистая // Математика в школе. 2002. № 9. С. 47–50.
4. Епишева, О. Б. Учить школьников учиться математике: Формирование приемов учебной деятельности : книга для учителя / О. Б. Епишева, В. И. Крупич. М. : Просвещение, 1990. 128 с.
5. Саранцев, Г. И. Сборник задач на геометрические преобразования : пособие для учителей / Г. И. Саранцев. М. : Просвещение, 1975. 112 с. : ил.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИГРА КАК СПОСОБ РАЗВИТИЯ МЫШЛЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ**

**Е. В. Юсупова**

*Томский государственный педагогический университет*

В настоящее время, когда все сферы деятельности человека стали высокотехнологичными и наукоемкими, без развитого мышления невозможно быть успешным и повысить качество жизни. Поэтому вопрос о развитии мышления школьников в последние десятилетия стоит особенно остро.

«Развитие личности учащегося, его интеллекта, чувств, воли осуществляется лишь в активной деятельности, и вне деятельности она развиваться не может. В форме нейтрально-пассивного восприятия нельзя сформировать ни прочных знаний, ни глубоких убеждений, ни гибких умений» [1. С. 5].

Но «как поддержать у учащихся интерес к изучаемому материалу, их активность на протяжении всего урока? В связи с этим ведутся поиски новых эффективных методов обучения и таких методических приемов, которые активизировали бы мысль школьников. Одним из таких направлений в работе можно рассматривать *игровую технологию* на уроках, методы и формы организации которой стимулируют положительное отношение к предмету у учащихся.

Игра – это путь к познанию ребенком самого себя, своих возможностей, способностей. Ни в какой другой деятельности ребенок не проявляет столько настойчивости, целеустремленности, неустойчивости. Игра закрепляет у детей полезные умения и привычки.

Существуют различные виды игр, применяемых на уроках учителями: индивидуальные, парные, групповые, общеклассные. По образовательным задачам игры могут быть: изучающие новый материал, формирующие умения и навыки, игры обобщающего повторения и контроля знаний» [2. С. 205–206].

В связи с вышеизложенным позвольте и мне подключиться к этим поискам новых методических приемов. Хочу вынести на суд компетентной аудитории свои наработки, сделанные во время прохождения педагогической практики в 2009–2010 учебном году в МОУ СОШ № 8 г. Томска. Одним из заданий по практике было: провести внеклассные мероприятия по своим предметам (математика и физика). Я решила провести эти мероприятия в форме *игры-контроля знаний* по пройденным темам. По математике это были темы «Выражения» и «Преобразование выражений» [3. С. 3–24], а по физике – «Давление твердых тел, жидкостей и газов».

В последний учебный день первой четверти (30.10.2009 г.) я провела внеклассное мероприятие «Математические посиделки» в 7 «в» классе МОУ СОШ № 8. Полный сценарий мероприятия и краткий анализ его приведены ниже (сценарий и более подробный анализ находятся в отчете по практике). Мероприятие состояло из двух игр: «Викторина» (личное первенство, теоретическое) и «Соревнование» (командное первенство, практическое).

*Первая игра*, по сути, является *теоретическим опросом*. Вопросы викторины сформулированы по принципу «обратной задачи»: они представляют собой перевернутые определения математических терминов, когда определяемое слово или выражение стоит в конце предложения, т.е. определение звучит в непривычном виде. И вот этот самый термин и нужно назвать, т.е. «заполнить пропуски в предложениях». Этот прием («обратная задача») активизирует *мыслительный процесс*, поскольку определение необходимо узнать в перевернутом, т.е. непривычном виде, и к тому же – на слух. При этом развивается *гибкость мышления*, а именно гибкость, пластичность, т.е. мобильность мышления и поведения, является критерием развития интеллекта [4. С. 63]. «Гибкость мышления – способность при необходимости отказываться от сложившихся стереотипов и изменять способы своей деятельности в зависимости от требований ситуации» [5. С. 228].

*Вторая игра* представляет собой *индивидуально-групповую работу*: сначала каждый решает свое задание, а затем внутри команды помогают тем, кто не

справился с заданием. Такая форма деятельности способствует приобретению навыков работы в коллективе и *закреплению учебных умений*. Подтверждение этому мы читаем и в учебном пособии П.И. Пидкасистого: «При групповой форме работы учащихся на уроке в значительной степени возрастает и индивидуальная помощь каждому нуждающемуся в ней ученику... Это объясняется тем, что ...наряду с помощью учителя слабые ученики получают помощь и со стороны сильных учеников-консультантов в своей группе... Причем помогающий ученик получает при этом не меньшую помощь, чем ученик слабый, поскольку его знания актуализируются, конкретизируются, приобретают гибкость, закрепляются именно при объяснении своему однокласснику» [6. С. 321–322].

### ***Сценарий внеклассного мероприятия «Математические посиделки»***

Здравствуйте, ребята! Сегодня у нас с вами не совсем обычный урок, а как бы внеклассное мероприятие. Я предлагаю назвать его «Математические посиделки». Оно будет состоять из двух игр: «Викторины» (личное первенство, теоретическое) и «Соревнования» (командное первенство, практическое).

Итак, начнем первую игру.

#### *Викторина*

– Правила.

Ребята, я читаю вам начало предложения, а вы говорите его конец. Только не кричать, а поднимать руку! Например, я читаю: «Если в выражении встречается деление на нуль, то это выражение не имеет значения (т.е. смысла), так как на нуль...». А вы (когда я вас спрошу) говорите: «...делить нельзя».

Каждый вопрос я произнесу дважды, а правильный ответ зачитаю, когда выскажутся все желающие ответить на данный вопрос.

Еще раз повторяю: не говорите все разом, а поднимайте руку – я буду сама вас спрашивать и отмечать в списке [показываю список] «плюсиками» правильные ответы, а «минусами» – неверные ответы. Кто наберет больше «плюсиков», тот и победитель.

Победители получают маленькие призы и пятерки по алгебре. Победители «Викторины» станут судьями в «Соревновании».

Итак, убрали всё с парт, и начнем «Викторину».

– Задания:

1. Число, которое получается в результате выполнения действий в числовом выражении, называют... [значением выражения]

2. [Пишу на доске]:

$$\begin{aligned}a + b &= b + a, \\ ab &= ba.\end{aligned}$$

[Говорю]: Это свойство сложения и умножения называется... [переместительным].

3. Равенство, верное при любых значениях переменных, называется... [тождеством].

4. [Пишу на доске]:

$$(a + в) + c = a + (в + c), \\ (ав) c = a (вс).$$

[Говорю]: Это свойство сложения и умножения называется... [сочетательным].

5. Замену одного выражения другим, тождественно равным ему выражением, называют... [тождественным преобразованием (или просто преобразованием) выражения].

6. [Пишу на доске]:

$$a (в + c) = ав + ас.$$

[Говорю]: Это свойство называется... [распределительным].

Подводим итоги (награждаем победителей, ставим оценки).

А теперь – другая игра.

### *Соревнование*

– Правила.

Ребята, вы поделитесь на три равные команды, я дам каждой команде задания (примеры), их количество равно количеству участников игры (не участвуют судьи). На партах должны быть только ручки и листочки бумаги с заданиями, мною розданные. Сначала каждый решает свой пример, а затем помогаем друг другу внутри команды, но без шума и крика. Спокойно пересаживаемся, тихо зовем друг друга. Судьи следят за соблюдением правил игры.

Даю на решение примеров 10 минут.

– Задания [3. С. 34–39]:

1. Найдите значение выражения (вычислите):

- 1) (№ 180, а)  $42,5 \cdot 10 + 25,5 : 17;$
- 2) (№ 181, а)  $12,6 + 5 \cdot (3,251 - 1,171);$
- 3) (№ 182, б)  $14 : 4\frac{1}{5} + \frac{1}{12} \cdot 8;$
- 4) (№ 213, б)  $3,947 : (3,6 - 2,6 \cdot 4 \cdot 0,25).$

2. Преобразуйте выражение в тождественно равное (раскройте скобки, произведите действия, приведите подобные):

- 1) (№ 219, а)  $0,8 \cdot (11 x + 10 y - 2);$
- 2) (№ 221, б)  $4,6 a + 1,5 в - 3,2 в - 1,8 a;$
- 3) (№ 221, з)  $1,2 x + 3,4 x - 5 - 5,3 x;$
- 4) (№ 224, а)  $6,9 - 5,1 m + (6 m - 1,2);$
- 5) (№ 224, в)  $7,5 y + (6 - 7,3 y) - 5,8.$

### ***Краткий анализ внеклассного мероприятия***

Смею полагать, что мероприятие удалось, так как и детям, и мне оно понравилось. О том, что у нас будет внеклассное мероприятие по математике, я известила учащихся еще в начале учебной недели и дала задание повторить к пятнице определения, формулы и посмотреть упражнения по темам «Свойства действий над числами», «Тождества», «Тождественные преобразования выражений».

Примечательно, что почти все учащиеся класса подготовились к мероприятию, причем подготовились хорошо. На вопросы «Викторины» отвечали охотно, было много правильных ответов, задания «Соревнования» решали также охотно, весело, активно.

Что касается активности – она была очень высока, и под конец второй части мероприятия (Соревнование) достигла своего пика. Активность отличалась математическим характером: школьники не просто радовались «нестандартности» урока, а именно были заняты *математикой*.

*Целью* мероприятия было: в интересной, игровой форме повторить и закрепить пройденную тему, и, по-моему, цели удалось достичь. *Дополнительной целью* (нередко неосознанной, но всегда желанной для учителя) стояло вызвать у учащихся интерес к предмету. И, мне кажется, что интерес вызвать удалось. От учащихся не требовалось подготовки сверх школьной программы, каждый в меру сил мог участвовать в мероприятии и проявить свои знания и умения.

Всё мероприятие (включая награждение) заняло 35 минут.

Предполагаю, что представленные мною игры можно использовать для контроля знаний по различным предметам, не только по математике.

*Научный руководитель: доктор пед. наук, профессор Э. Г. Гельфман.*

### **Литература**

1. *Далингер, В. А.* Учебно-исследовательская деятельность учащихся в процессе изучения дробей и действий над ними: учеб. пособие / В. А. Далингер. Омск : Изд-во ОмГПУ, 2007. 191 с.
2. *Деревцова, Е. В.* Формы и методы некоторых технологий, используемых на уроке математики : В 5 т. / Е. В. Деревцова // Образование в условиях перехода на новые стандарты : материалы Всероссийской научно-практической конференции. Томск, 26–27 ноября 2010 г. / под ред. С. И. Ануфриева, С. М. Никулышина. Томск : ТОИПКРО, 2010. Т. 3. С. 204–207.
3. *Алгебра* : учебник для 7 класса общеобразоват. учреждений / Ю. Н. Макарычев и др. ; под ред. С. А. Теляковского. М. : Просвещение, 1997. 240 с.
4. *Гельфман, Э. Г.* Психодидактика школьного учебника. Интеллектуальное воспитание учащихся / Э. Г. Гельфман, М. А. Холодная. СПб. : Питер, 2006. 384 с.
5. *Математика* : учеб. пособие для 6 класса общеобразоват. учреждений : В 2 ч. / Э. Г. Гельфман и др. М. : Просвещение, 2005. Ч. 2. 240 с.
6. *Педагогика* : учеб. пособие для студентов педагогических вузов и педагогических колледжей / П. И. Пидкасистый и др. ; под ред. П. И. Пидкасистого. М. : Педагогическое общество России, 1998. 640 с.

**СЕКЦИЯ  
ИНФОРМАТИКА  
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ**





# МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УСТРОЙСТВА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В АППАРАТНО-ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ

Е. И. Гладышева

*Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники*

В ходе работы над проектом был разработан макет устройства для нагрева и стабилизации температуры в ограниченной области живой ткани и в настоящее время ведутся исследования совместно с НИИ онкологии ТНЦ СО РАМН на живых организмах (крысах) [1, 2].

В процессе проведения экспериментов возникла необходимость отслеживать процесс нагрева пораженной области в живом организме. Оператор должен иметь возможность немедленно прекратить процедуру или же изменить температуру нагревателя на более подходящую с его точки зрения [3].

Микропроцессорная система разрабатывается для того, чтобы врач-оператор имел возможность следить за процессом нагрева пораженной области в живом организме.

Выделим основные блоки, которые должны присутствовать в микропроцессорной системе. Для начала это блок индикации, а именно LCD-дисплей, и блок кнопок. После установки значения температуры стабилизации управление передается блоку управления матрицей сопротивлений. Для съема значений токов в каждом из каналов потребуется 6 аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Блок-схема программы, записанной в микроконтроллер, представлена на рис. 1.

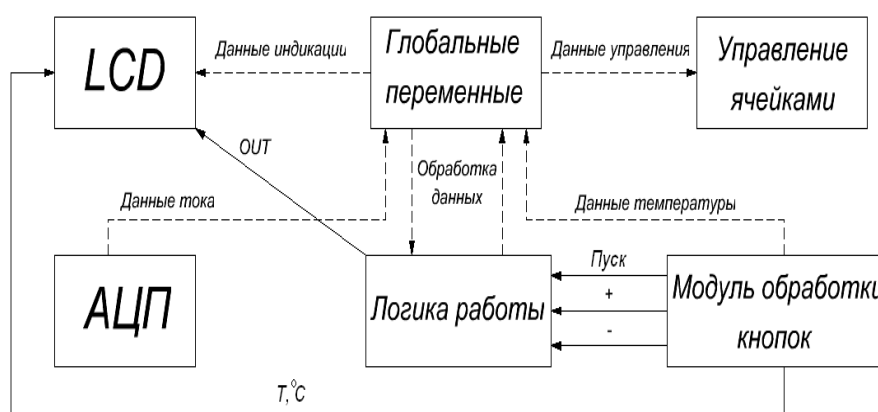


Рис. 1. Блок-схема программы работы микроконтроллера

Ниже приведен алгоритм программы работы микроконтроллера (рис. 2).

1. После нажатия на панели управления кнопки «ПУСК» происходит задание начальных значений температуры стабилизации и длительности сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Затем происходит формирование импульса ШИМ и подача напряжения на мост. Система переходит в режим стабилизации заданной температуры.

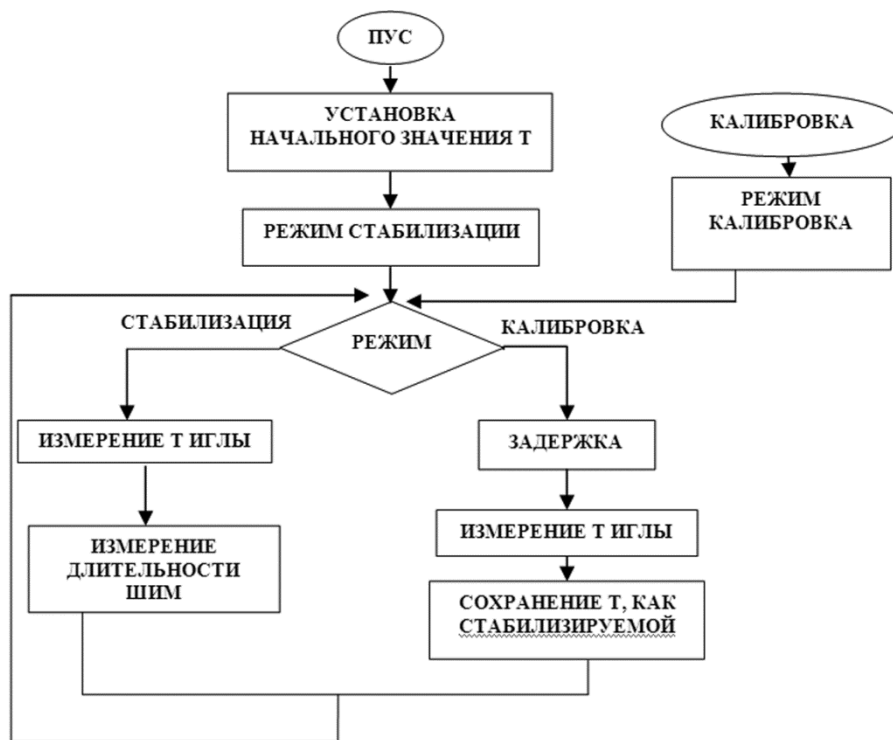


Рис. 2. Алгоритм программы работы микроконтроллера

2. При появлении потенциала на игле происходит прерывание на разрешение запуска АЦП. Задержка на 20 мкс необходима для того, чтобы все тепловые переходные процессы в нагревателе закончились, и система пришла в устойчивое положение. Запускаем АЦП для измерения температуры иглы.

3. При завершении оцифровки сигнала выполняется следующее прерывание. В режиме «Стабилизация» у нас происходит стабилизация температуры иглы относительно уровня, заданного в результате калибровки. В режиме «Калибровка» происходит запись текущего значения температуры на игле как стабилизируемой температуры.

4. После нажатия кнопки «Калибровка» автоматически задается режим калибровка. Выполняется задержка на установление температуры иглы внешней средой (например, водным термостатом). Запускается ШИМ для последующего измерения температуры иглы.

В настоящий момент написан алгоритм работы программы и ведется доработка программного кода. Микропроцессорная система для устройства стабилизации температуры аппаратно-программного комплекса (АПК) для реализации локальной гипертермии имеет ряд преимуществ перед АПК на аналоговых элементах:

1. Цифровая обработка входных и выходных сигналов.
2. Отображение необходимой информации о состоянии работы.
3. Настройка в on-line режиме параметров работы системы.
4. Возможность автоматической калибровки электродов.
5. Отображение информации об аварийных режимах работы.

*Научные руководители: канд. техн. наук, профессор кафедры ПрЭ ТУСУР В. Д. Семёнов, аспирант Д. О. Пахмурин.*

### Литература

1. Патент 78659 РФ, МПК А61В 18/04. Установка и устройство для лечения опухолевых заболеваний / А.В. Кобзев, Д.О. Пахмурин, В.Д. Семёнов, А.А. Свиридов. № 2008128639/22; заявл. 14.07.2008; опубл. 10.12.2008. Бюл. № 34. 4 с.
2. Патент 98116 РФ, МПК А61В 18/12. Установка локального нагрева биологической ткани / А.В. Кобзев, В.Д. Семёнов, Д.О. Пахмурин, А.А. Свиридов, В.А. Федотов, А.В. Литвинов, А.Ю. Хуторной, В.Н. Учаев. № 2010118885/14; заявл. 11.05.2010; опубл. 10.10.2010. Бюл. № 28. 4 с.
3. Карев, И.Д. Гипертермические методы в онкологии [Электронный ресурс] / И.Д. Карев. Режим доступа: <http://www.k-test.ru/index.php?rid=3&pid=6>

## **САЙТ ШКОЛЫ КАК СРЕДСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**В.М. Долганов**

*Томский государственный педагогический университет*

В настоящее время много говорят о дистанционном обучении (ДО) и его возможностях [1, 2, 3]. При этом ряд авторов [4] понимают под термином ДО совокупность технологий, обеспечивающих доставку изучаемого материала, интерактивное взаимодействие обучаемых и преподавателей в процессе обучения, предоставление обучаемым возможности самостоятельной работы по освоению изучаемого материала и др. В работе [3] понятие ДО рассматривается, как обучение с помощью средств телекоммуникаций, при котором субъекты образования (ученики, педагоги, тьюторы и др.), имея пространственную или временную удаленность, осуществляют общий учебный процесс. Будем считать недостаточно обоснованными утверждения авторов [5, 6], которые понятие ДО рассматривают, как новую форму обучения, наряду с очной, заочной и экстернатом.

Необходимо отметить, что какое бы из определений не было принято в дальнейшем, понятие ДО, по-видимому, должно: соответствовать и отражать общие закономерности науки педагогики, закономерности дидактики и частных методик; обеспечивать интерактивность в организации процесса обучения, т.е. взаимодействие учителя и ученика, а также учащихся между собой. Поэтому при разработке курсов дистанционного обучения, объективно возникает необходимость предусмотреть инвариантные компоненты [5]:

1. Общие сведения о курсе, его назначение, цели, задачи, содержание (структура), условия приема в группы обучения, итоговые документы. Эти сведения полностью открыты на сервере для ознакомления. Открыты и сами курсы, но лишь регистрация дает право получить собственный пароль и стать полноправным участником процесса обучения под руководством преподавателя.

2. Справочные материалы (в виде баз данных) по предметной области курса. Сюда же относятся (отдельным файлом) серии анкет, позволяющие получить необходимые сведения о пользователе.

3. Собственно обучающий курс, структурированный по автономным модулям.

4. Блок заданий, направленных на усвоение материала и проверку его понимания, осмысления.

5. Блок творческих заданий, направленных на самостоятельное применение усвоенных знаний, умений, навыков в решении конкретных проблем; выполнение проектов индивидуально, в группах сотрудничества; практические работы (индивидуальные, совместные).

6. Блок мониторинга успешности самостоятельной деятельности обучаемых, контроля результатов их работы (индивидуально или совместно, в группах сотрудничества).

Исходя из данного перечня обязательных составляющих видно, что создание дистанционного курса – это серьезная задача как с точки зрения наполнения содержанием, так и с точки зрения технологической составляющей.

В нашем понимании наполнение содержанием дистанционного курса несет большую методическую нагрузку. Под технологической же составляющей, говоря о школе, понимается школьный сайт как средство организации учебного процесса, позволяющее реализовывать дистанционное обучение. При этом видно, что первую составляющую вполне возможно реализовать практически любому учителю-предметнику при правильно организованной второй.

Следовательно, основная проблема заключается в создании такого сайта школы, благодаря которому возможно интерактивное взаимодействие участников образовательного процесса, самостоятельное освоение учебной среды (сайта, а точнее сказать его элементов) как учащимися, так и учителем. Причем здесь важно предусмотреть, чтобы эта среда была бы наиболее «понятна» и «приспособлена» для работы, особенно той части, которая касается размещения учебных материалов. В идеале хотелось бы получить такой информационный продукт, в котором функциональные возможности могли бы осваиваться самостоятельно, либо с минимально возможным количеством обращений за консультацией к специалисту в области информатизации образования, т.е. учителю информатики и, как правило, администратору сайта. Также при создании сайта необходимо учитывать, что дистанционная форма курса предусматривает [7]:

- самостоятельную поисковую, исследовательскую деятельность с ресурсами Интернет;

- выполнение дополнительных заданий, способствующих усвоению материала программы учебника, тестов, лабораторных и практических работ;

- совместное выполнение заданий творческого характера;

- работу со справочными и информационными материалами;

- блок творческих заданий для одаренных талантливых детей;

- ссылки на дополнительный материал на сайтах в Интернете;

- консультации с преподавателем;

- промежуточное тестирование.

На наш взгляд, всем вышеперечисленным требованиям удовлетворяет система управления содержанием сайта (Content Management System – CMS) Moodle, специально разработанная для создания онлайн-курсов. Такие системы часто называются системами управления обучением (Learning Management Systems – LMS) или виртуальными образовательными средами (Virtual Learning Environments – VLE). При этом важно отметить, что данный программный продукт распространяется бесплатно в качестве программного обеспечения с открытым кодом.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.Н. Стась.*

### Литература

1. Полат, Е. С., Моисеева, М. В., Петров, А. Е. Педагогические технологии дистанционного обучения / Е. С. Полат, М. В. Моисеева, А. Е. Петров; под ред. Е. С. Полат. М. : Академия, 2006.
2. Теория и практика дистанционного обучения / под ред. Е. С. Полат. М. : Академия, 2004.
3. Хуторской, А. Дистанционное обучение и его технологии / А. Хуторской // Компьютерра. 2002. № 36. С. 26–30.
4. Дистанционное образование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>
5. Полат, Е. С. Теория и практика дистанционного образования [Электронный ресурс] / Е. С. Полат // Лаборатория дистанционного обучения. Режим доступа: <http://distant.ioso.ru/library/publication/6.htm>
6. Полат, Е. С. Методология определения эффективности дистанционной формы обучения [Электронный ресурс] / Е. С. Полат // Лаборатория дистанционного обучения. Режим доступа: <http://distant.ioso.ru/library/publication/voprosef.htm>
7. Бутенкова, Е. В. Создание профильного курса для модели интеграции очного и дистанционного обучения в старших классах общеобразовательной школы [Электронный ресурс] / Е. В. Бутенкова // Лаборатория дистанционного обучения. Режим доступа: <http://distant.ioso.ru/library/publication/profkurs.htm>

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА ФУНДАМЕНТАЛЬНОСТИ ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНФОРМАТИКЕ В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ВУЗЕ**

Н. Ф. Долганова

*Томский государственный педагогический университет*

Подготовка высококвалифицированных профессионалов всегда остается важнейшей задачей высшей школы. В настоящее время эффективно решить данную задачу невозможно без реализации принципа фундаментальности образования. Фундаментализация высшего образования – системное и всеохватывающее обогащение учебного процесса фундаментальными знаниями и методами творческого мышления, выработанными фундаментальными науками [1].

Комплекс фундаментальных (теоретических) наук образуется совместно с философией и математикой, а также с центральной отраслью научного знания, в которую входят, в частности, физика, кибернетика, технические науки. Исходя из общей структуры научного знания [2] следует, что математика и кибернетика (как и ее ответвление – информатика) сохраняют *единство* как важнейшие компоненты развития фундаментального ядра научного знания [3]. Подчеркивается, что информатика также относится к тем наукам, без которых невозможно глубокое осмысление знаний о природе [1].

Осознание информационной природы жизнедеятельности человека приводит к необходимости рассматривать образование и все его аспекты с позиций информатики и информационных процессов, так как современный этап человеческого общества характеризуется глубоким осознанием информационной природы Вселенной, всех протекающих в ней явлений и процессов [4].

Изучение же информатики как фундаментальной науки в системе образования имеет исключительно большое значение для формирования современного научного мировоззрения [5], особенно в процессе подготовки будущих учителей информатики и специалистов в области информатизации образования. Как

подчеркивают В.В. Лаптев и Н.И. Рыжова, в рамках информатизации образования «происходит смещение акцентов в сторону фундаментальной подготовки специалиста в предметной области» [6. С. 124].

Как полагает М.В. Швецкий, фундаментальность при обучении информатике может быть достигнута с помощью сочетания в содержании обучения теории, абстракции и реализации. При этом посредством изучения соответствующих математических теорий, алгоритмов и структур данных на конкретном языке программирования, предполагается добиться формирования фундаментальных знаний по предмету у обучаемых [7, 8]. Другие авторы считают, что такой подход отражает лишь одну сторону фундаментальности образования, не раскрывающую в полной мере философские и логико-методологические аспекты науки информатики [9]. В частности, Н.И. Рыжова выделяет в содержании обучения мировоззренческие, философские и математические (и/или семиотические) основания учебного предмета и обучает построению формального языка предметной области с помощью формальных языков со свойствами конструктивности. При этом, по мнению автора, одна из обязательных составляющих фундаментализации образования в области информатики – это наличие в содержании образования – знаний математических основ информатики.

С.Д. Каракозов [10] говорит о фундаментализации образования в предметной области информатики с точки зрения выделения в содержании обучения оснований учебного предмета как совокупности базовых прикладных задач и обучения деятельности по их решению с помощью вычислительных систем.

Итак, фундаментальность образования – это важный фактор не только развития образования, но и вообще повышения уровня достижений современного общества. В связи с этим приобретение фундаментальных междисциплинарных знаний как наиболее стабильных и универсальных становится сегодня одной из основных целей обучения [6].

Что касается педагогического образования, то, как пишет В.Д. Шадриков, «без определенного объема, структуры и качества фундаментальных знаний учитель не в состоянии компетентно выполнять свои профессиональные функции. Таким образом, необходимо найти средства, формы и пути согласования фундаментальной и профессиональной линий в процессе педагогического образования» [11]. Информатика является важной составляющей общей подготовки будущих учителей в педагогическом университете.

Для того чтобы подготовка будущих учителей информатики носила универсальный характер с точки зрения теоретической и прикладной направленности необходимо создать условия для овладения фундаментальными знаниями, как в области информатики, так и математики в рамках компетентного подхода.

Перечислим эти условия:

- 1) наличие учебной дисциплины, в содержании которой выделяется:
  - сильная теоретическая составляющая;
  - ярковыраженная технологическая составляющая;
- 2) углубление подготовки специалистов по различным направлениям:
  - 030100 – учитель информатики;
  - 032100 – учитель математики;
  - 230200 – специалист в области информационных систем (бакалавр);
- 3) формирование компетентностей.

Всем вышеперечисленным условиям и реализации принципа фундаментальности образования удовлетворяет разработанная нами дисциплина «Элементы вычислительной геометрии», преподаваемая в Томском государственном педагогическом университете на физико-математическом факультете. Содержание данной дисциплины строится таким образом, чтобы она была в первую очередь направлена на изучение основ вычислительной геометрии и алгоритмов решения стандартных задач, которые сохраняют свою актуальность независимо от развития информационных и коммуникационных технологий.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.Н. Стась.*

### **Литература**

1. Буланова-Топоркова, М.В. Педагогика и психология высшей школы : учеб. пособие / М. В. Буланова-Топоркова. Ростов н/Д : Феникс, 2002. 544 с.
2. Леднев, В. С. Содержание образования: сущность, структура, перспективы / В.С. Леднев. М. : Высшая школа, 1991. 223 с.
3. Лапчик, М.П. Информатическая математика или математическая информатика? / М. П. Лапчик // Информатика и образование. 2008. № 7. С. 3–7.
4. Пак, Н.И. Информационное моделирование : учеб. пособие / Н.И. Пак. Красноярск, 2010. 152 с.
5. Колин, К.К. Эволюция информатики и формирование нового комплекса наук об информатике / К.К. Колин // Научно-техническая информация. 1995. № 5. С. 1–7.
6. Лаптев, В.В., Рыжова, Н.И. Концепция фундаментализации образования в области информатики и ее реализация в педагогическом вузе / В.В. Лаптев, Н.И. Рыжова // Известия Российского пед. университета. 2002. № 2. С. 124–135.
7. Лаптев, В.В., Швецкий, М.В. Методическая система фундаментальной подготовки в области информатики: теория и практика многоуровневого образования / В.В. Лаптев, М. В. Швецкий. СПб. : Изд-во СПбГУ, 2000. 508 с.
8. Швецкий, М.В. Методическая система фундаментальной подготовки будущих учителей информатики в педагогическом вузе в условиях двухступенчатого образования: автореф. дис. ... д-ра пед. наук / М.В. Швецкий. СПб. : РГПУ им. А.И. Герцена, 1994. 36 с.
9. Рыжова, Н.И. Развитие методической системы фундаментальной подготовки будущих учителей информатики в предметной области: автореф. дис. ... д-ра пед. наук / Н.И. Рыжова. СПб. : РГПУ им. А.И. Герцена, 2000. 43 с.
10. Каракозов, С.Д. Развитие содержания обучения в области информационно-образовательных систем: подготовка учителей информатики в контексте информатизации образования / С.Д. Каракозов; под ред. Н.И. Рыжовой. Барнаул : Изд-во БГПУ, 2005. 300 с.
11. Подготовка учителя математики: Инновационные подходы : учеб. пособие / В.В. Афанасьев, Ю.П. Поваренков, Е.И. Смирнов, В.Д. Шадриков; под ред. В.Д. Шадрикова. М. : Гардарики, 2002. 383 с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯЗЫКА GIL**

Ю. А. Зорин

*Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники*

Язык GIL (Genaration and Identification Language – язык генерации и нумерации) является функциональным языком программирования. Язык в первую очередь предназначен для решения задач, связанных с написанием алгоритмов генерации на основе деревьев И/ИЛИ. В отличие от функционального языка Lisp,

где все является списком, в GIL основной структурой языка является дерево И/ИЛИ.

Основные возможности языка:

- реализация алгоритмов на деревьях И/ИЛИ (алгоритмы генерации и нумерации вариантов);
- построение дерева И/ИЛИ;
- получение варианта дерева И/ИЛИ по объекту.

Метод генерации вариантов представления какого-либо объекта на основе деревьев И/ИЛИ позволяет производить множество уникальных представлений данного объекта с различными свойствами. Рассмотрим пример генерации вариантов тестового задания для студента.

Дана следующая функция, написанная на языке программирования C:

```
int Sum(int v[], int n) {  
    int sum = 0;  
    for (int i=0; i<n; i++)  
        sum += v[i];  
    return sum;  
}
```

Что будет выведено на экран в результате выполнения следующего кода:

```
int vec[5] = {1, 2, 3, 4, 5};  
printf("%d", sum(vec, 5));
```

В этом задании требуется понять, что функция Sum определяет сумму элементов массива *v* и ответом является число 15. Используя выразительные средства языка C, можно различными способами написать функцию нахождения суммы. Например, название функции может быть различным (Sum, Count, Total), обход всех элементов массива можно записать разными способами (циклами for, while, do) и т.д. Кроме этого, длина массива *vec* и его элементы могут генерироваться, что даёт большое число возможных вариантов тестового задания. С точки зрения реализации определения валидности результата, введенного ответа с истинным, требуется также вычислить сумму сформировавшегося массива и сравнить ее с введенным результатом [1]. Однако данный способ не всегда применим и, скорее, ограничивает возможности генерации. Рассмотрим пример следующей задачи:

*Из пункта А в пункт В навстречу друг к другу вышли два автомобиля, скорость первого автомобиля на 10 км/ч меньше второго. Расстояние между пунктами 50 км. Известно, что автомобили встретятся через 45 минут. На каком расстоянии от пункта А встретятся автомобили?*

Для решения данной задачи необходимо записать ряд формул:

$$S = S_1 + S_2; V_2 = k + V_1;$$

$$S = 50; t = 0,75; k = 10.$$



Решение можно расписать следующим образом:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= S - S_2; \\
 S_1 &= (V_1 + V_2) \cdot t - S_2; \\
 S_1 &= (V_1 + V_1 + k) \cdot t - \frac{V_2}{t}; \\
 S_1 &= (2V_1 + k) \cdot t - \frac{V_1 + k}{t}; \\
 S_1 &= 2t \frac{S_1}{t} + kt - \frac{S_1}{t^2} + \frac{k}{t}; \\
 S_1 - 2S_1 + \frac{S_1}{t^2} &= kt + \frac{k}{t}; \\
 S_1 &= kt + \frac{k}{t} / (1 - 2 + \frac{1}{t^2}); \\
 S_1 &= \frac{kt^2 + k}{\frac{1}{t} - t}.
 \end{aligned}$$

Подставляя значения, получим:  $S_1 \approx 26,79$ .

Генерация текста условия задачи должна происходить таким образом, чтобы формула решения оставалась неизменной, к примеру, один из вариантов данной задачи с одинаковым алгоритмом решения может выглядеть следующим образом:

*Из пункта В в пункт Г навстречу друг к другу вышли два пешехода, скорость первого пешехода на 1 км/ч больше второго. Расстояние между пунктами 5 км. Известно, что пешеходы встретятся через 25 минут. На каком расстоянии от пункта В встретятся пешеходы?*

Как видно из данного примера, конечная формула решения данной задачи не отличается от предыдущей.

Применение деревьев И/ИЛИ для генераций подобного тестового задания позволит сформировать несколько сотен уникальных условий задач, решаемых по одной и той же формуле. Однако, на основе деревьев существует способ вывода конечной формулы на основе заданной базы формул, либо определения отсутствия решения.

В основе этого метода лежит построение и использование дерева И–ИЛИ. Первоначально на основе базы знаний строится дерево И/ИЛИ, далее производится его анализ, определяются варианты, дающие возможность построения уравнения. Рассмотрим кратко основные моменты построения дерева И/ИЛИ. Корнем этого дерева становится искомая переменная. Далее в базе знаний ищутся все формулы, в которых левая часть содержит данную переменную. Эти формулы записываются как сыновья рассматриваемого узла. А сам узел становится узлом ИЛИ (т.е. для определения переменной, записанной в рассматриваемом узле, необходимо использовать одну из формул). Затем происходит переход на рассмотрение узла, в котором записана одна из формул. Все переменные, которые имеются в формуле, записываются в узлы, которые являются сыновьями

рассматриваемого узла (где записана формула). А сам рассматриваемый узел становится узлом И, так как для вычисления формулы необходимо знать значения всех переменных. Листом дерева становится узел, в котором записана переменная в следующих случаях:

- значение переменной известно;
- переменная является искомой переменной;
- в процессе построения дерева рассматриваемая переменная использовалась ранее (вариант рекурсии).

Процесс построения дерева будет завершен, если для всех листьев дерева будут выполняться условия, записанные выше. Таким образом, при построении дерева будет получено некоторое множество вариантов подстановок, которые могут приводить к построению уравнения с одним неизвестным или не приводить к нему. Вариантом постановки будет поддерево И–ИЛИ, у которого каждый ИЛИ-узел будет иметь только одного сына [2].

Таким образом, реализованный механизм нахождения формулы решения в языке GIL позволит формировать большее количество вариантов тестовых заданий и существенно изменить смысл условия задания.

Пример одного из вариантов сгенерированного условия задачи:

*Из пункта А в пункт В навстречу друг к другу вышли два поезда, скорость первого поезда в 1,5 раза больше второго. Скорость второго поезда 60 км/ч. Расстояние между пунктами 150 км. Через какой промежуток времени встретятся поезда?*

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент В. В. Кручинин.*

### Литература

1. Титков, А. В. Система построения генераторов комбинаторных множеств на основе деревьев И/ИЛИ : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Титков. 2010. С. 60–62.
2. Кручинин, В. В. Методы построения алгоритмов генерации и нумерации комбинаторных объектов на основе деревьев И/ИЛИ / В. В. Кручинин. Томск : Изд-во «В-Спектр», 2007. С. 84–85.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

**А. Г. Зубакин, В. В. Шнайдер**

*Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники*

В обратноходовом преобразователе при включении ключа накапливается энергия в индуктивности намагничивания трансформатора с зазором (см. рис. 1). При размыкании ключа (на обратном ходе) накопленная энергия отдается в нагрузку. По этой причине, обратноходовый преобразователь напряжения не боится коротких замыканий в нагрузке. Для некоторых потребителей это свойство имеет существенное значение. К сожалению, подобный преобразователь имеет крутопадающую нагрузочную характеристику и на холостом ходу напряжение достигает больших величин опасных для жизни.

В лабораторной работе по курсу энергетической электроники проводится исследование транзисторного преобразователя напряжения подобного типа.

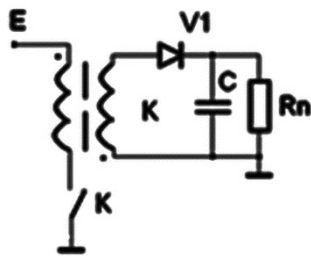


Рис. 1

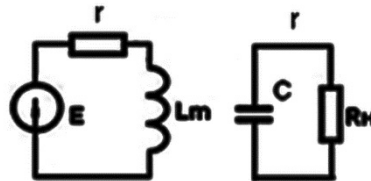


Рис. 2

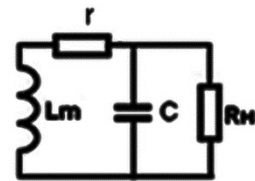


Рис. 3

Для решения оптимизационных задач построена модель преобразователя. На прямом ходе эквивалентная схема представлена цепями накопителя электромагнитной энергии и разряда конденсатора на сопротивление нагрузки (рис. 2).

Схема преобразователя на обратном ходе отражена цепью передачи накопленной энергии в индуктивности намагничивания в нагрузку (рис. 3).

В эквивалентной схеме преобразователя трансформатор отображен индуктивностями намагничивания –  $L_m$  и сопротивлением  $r$ , отображающим потери в ключе, трансформаторе.

Система дифференциальных уравнений, описывающих работу преобразователя, приведена ниже:

$$\begin{aligned} L_m \frac{di}{dt} + r i &= E, & C \frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{R_n} &= 0 \text{ прямой ход;} \\ L_m \frac{di}{dt} + r i + U_c &= E, & C \frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{R_n} &= i \text{ обратный ход.} \end{aligned}$$

В среде MathCad было проведено исследование предлагаемой модели.

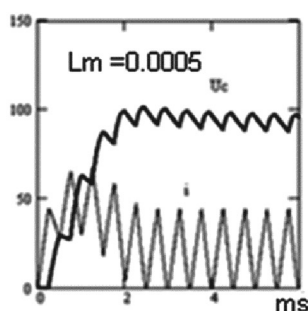


Рис. 4

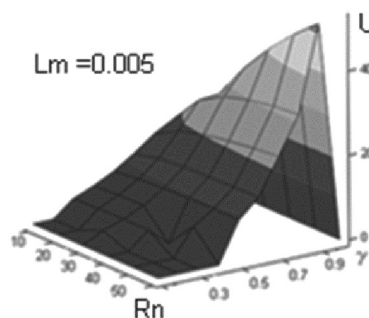


Рис. 5

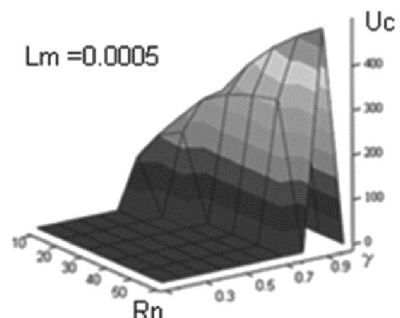


Рис. 6

На рис. 4 приведены диаграммы напряжения на нагрузке и тока в индуктивности, полученные при моделировании. Нарастающему участку тока в индуктивности соответствует ток в ключе и спад напряжения на нагрузке. Ток в нагрузке на этом этапе обеспечивается разрядом конденсатора. На участке спада, при выключении ключа, на обратном ходе происходит заряд конденсатора. Напряжение

на конденсаторе, в этот момент, растет. В момент переключения ток в ключе достигает максимального значения. Энергия, накопленная в зазоре магнитопровода, при выключении ключа трансформируется во вторичную обмотку и далее в нагрузку.

В [1] утверждается об импульсе перенапряжения при выключении ключа. Представляемая модель этого момента не отражает, принимается мгновенным время переключения транзистора и диода. Необходимы дополнительные исследования, уточнения модели на этапе выключения ключа и включения диода.

На рис. 5 отображена поверхность, соответствующая изменению напряжения нагрузки в зависимости от сопротивления нагрузки и величины относительной длительности включения ключа  $\gamma = ti/T$ .

С увеличением  $\gamma$  и уменьшения нагрузки напряжение растет. Оно увеличивается с уменьшением тока нагрузки в несколько раз.

Та же закономерность наблюдается на рис. 6 при уменьшении индуктивности намагничивания  $L$ . Но при этом ухудшается регулировка выходного напряжения преобразователя. При увеличении частоты преобразователя регулировочная характеристика восстанавливается.

Изменение коэффициента мощности представлено на рис. 7. Он мало зависит от нагрузки и растет с увеличением  $\gamma$ .

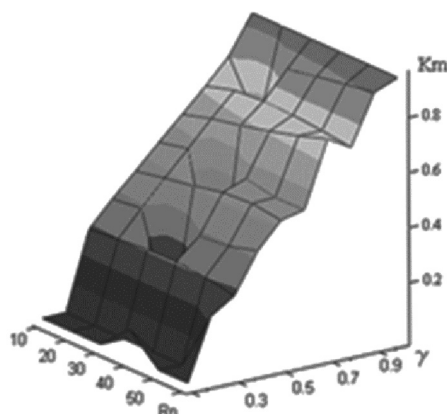


Рис. 7

Представленная модель достаточно точно отражает объект исследований и позволит решать оптимизационные задачи, определить оптимальный режим работы преобразователя.

Результаты исследования модели используются при выполнении лабораторной работы, курсового проекта.

#### Литература

1. Матвеев, К. Ф., Скворцов, В. А. Однотактный комбинированный преобразователь / К. Ф. Матвеев, В. А. Скворцов // Силовая электроника: тематическое приложение к журналу компоненты и технологии. СПб. : Файнстрит, 2005. № 3.

# **ОБУЧЕНИЕ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА E-COURSE 2.0**

С. А. Казарин

*Томский государственный педагогический университет*

В связи с широким внедрением вычислительной техники в сфере образования становится актуальным поиск путей, методик и подходов к обучению с использованием ИТ-технологий.

Использование электронных учебных материалов (ЭУМ) открывает дополнительные возможности для обучения. Перемещение по учебному материалу с использованием гиперссылок, динамические изображения, интерактивная анимация, поисковые службы, тестовые системы – все эти возможности оставались недоступными в классических подходах к обучению.

Обучение студентов педагогических вузов разработке и использованию ЭУМ в профессиональной деятельности должно стимулировать и развивать информационно-технологические компетенции будущих учителей и преподавателей [1, 2].

В рамках нашей работы проводились исследования как технологий и подходов к разработке ЭУМ, так и методик использования их в учебном процессе. В настоящее время разработан программный пакет E-Course 2.0, предназначенный для создания и редактирования ЭУМ, базовый шаблон ЭУМ, учебное и учебно-методическое пособие, а так же учебный курс по разработке ЭУМ. Прежде всего, данный комплект ориентирован на использование студентами и преподавателями, не имеющими глубоких познаний в области ИТ.

Программный пакет E-Course 2.0 представляет собой приложение, разработанное на языке Java, и предоставляет пользователю следующие возможности при создании и редактировании ЭУМ:

- редактирование меню разделов;
- генерация страниц учебных материалов;
- управление стилями форматирования;
- редактор терминов и всплывающих окон;
- автоматический генератор глоссария;
- редактор тестов;
- редактор страниц учебных материалов.

В рамках наших исследований была проведена апробация рассматриваемого подхода к разработке ЭУМ с использованием E-Course 2.0. Апробация проводилась в группе студентов 1 курса ( $n = 15$ ) с различным уровнем знаний и навыков работы с компьютером, в процессе которой было проведено 2-этапное анкетирование. Цель данной апробации заключалась в выделении наиболее значимых факторов, влияющих на обучение, и оценке параметров технологии разработки ЭУМ, для анализа эффективности исследуемого подхода.

Среди данных факторов можно выделить следующие:

- уровень навыков работы с компьютером;
- уровень сложности разработки ЭУМ (по мнению студента);
- актуальность разработки ЭУМ в педагогическом вузе;

- временные затраты на разработку одного ЭУМ;
- заинтересованность в разработке ЭУМ.

В процессе апробации проводилось предварительное анкетирование, с целью оценки отношения учащихся к вышеуказанным факторам. После анкетирования для учащихся был прочитан курс «Основы разработки ЭУМ с использованием E-Course 2.0», где были изложены теоретические основы исследуемого подхода. В завершении апробации был проведен второй этап анкетирования для оценки параметров технологии и эффекта разработки ЭУМ.

Ниже представлены данные, полученные в результате предварительной обработки анкет (рис. 1–3).

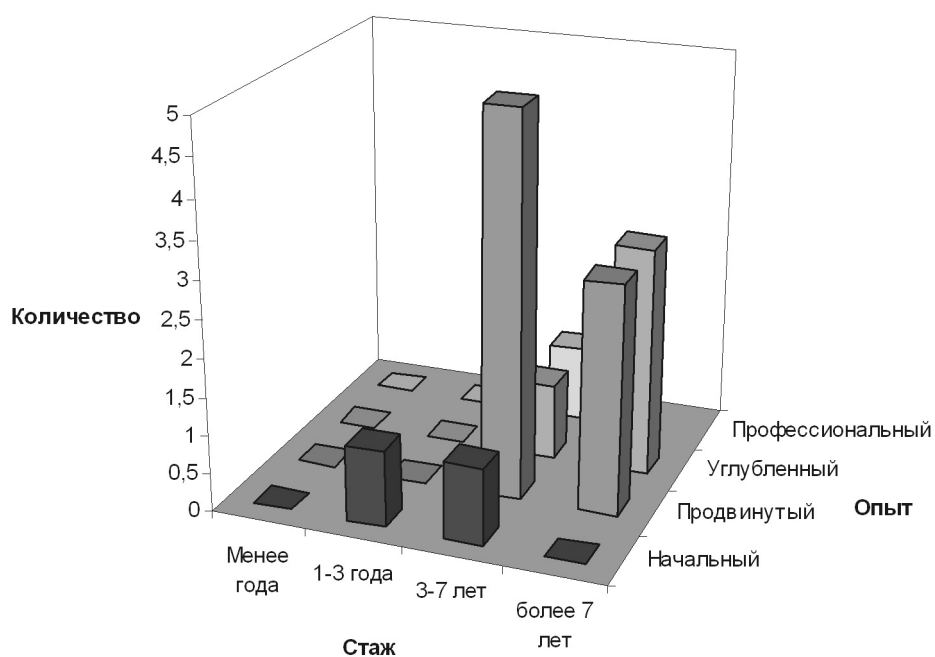


Рис. 1. Оценка зависимости опыта и стажа учащихся

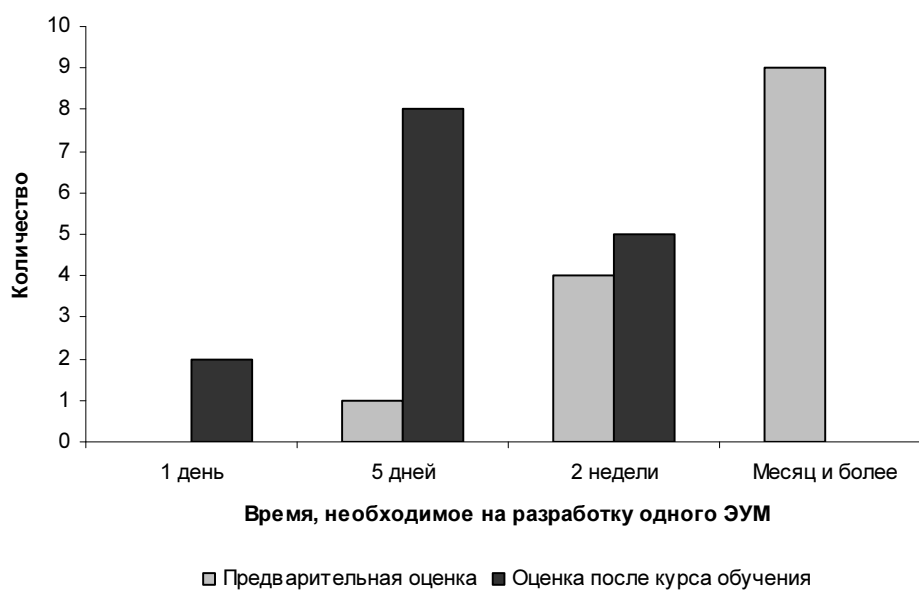


Рис. 2. Оценка сложности разработки ЭУМ

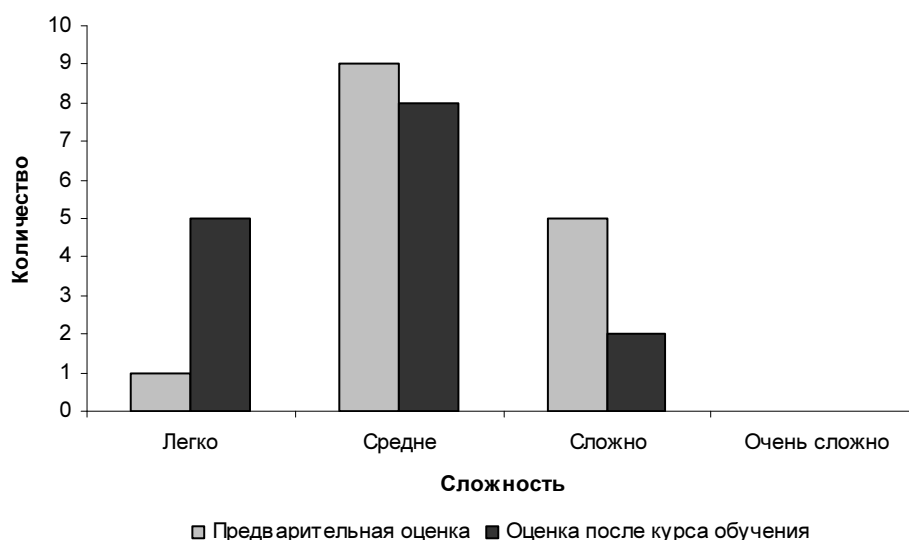


Рис. 3. Оценка временных затрат на разработку одного ЭУМ

Анализируя полученные результаты, можно сделать заключение, что использование E-Course 2.0 для разработки электронных учебных материалов в достаточной мере оправдывает ожидания по всем значимым критериям эффективности.

Для преподавателей и учителей, в чью учебно-образовательную деятельность входит использование компьютера, предлагаемый подход к разработке электронных учебно-методических материалов позволит значительно улучшить наглядность и интерактивность учебных материалов. Помимо компоновки и помощи в организации учебного материала, предложенный подход к разработке электронных учебных пособий можно использовать как в качестве формирования небольших настольных электронных библиотек по различным учебным дисциплинам, так и для разработки массива ЭУМ для нужд дистанционного и заочного обучения [3].

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор Л. В. Горчаков.*

### Литература

1. Акофф, Р., Гринберг, Д. Преобразование образования / Р. Акофф, Д. Гринберг; пер. с англ. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2009. 196 с.
2. MacDonald, C.J., Stodel, E.J., Farres, L.G. et al. The Demand-Driven Learning Model as a Standard for Web-Based Learning / C.J. MacDonald, E.J. Stodel, L.G. Farres, K. Breithaupt, M. A. Gabriel [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.elearnmag.org/subpage.cfm?section=best\\_practices&article=10-1](http://www.elearnmag.org/subpage.cfm?section=best_practices&article=10-1)
3. Казарин, С. А., Клишин, А. П. Технологические и методические аспекты разработки электронных учебных пособий с использованием пакета E-Course 2.0 / С. А. Казарин, А. П. Клишин // Информатика и образование. 2010. № 9. С. 122–125.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ БАЗ ЗНАНИЙ

И. А. Кречетов

*Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники*

Процесс обучения, направленный на получение новых знаний в какой-либо предметной области является процессом трансфера знаний от источника знаний к потребителю знаний [1]. Наряду с классическим способом приобретения знаний из бумажных носителей (учебников, методических пособий и т.п.) в образовательном процессе активно используются информационные технологии, роль которых возрастает с развитием наукоемких областей человеческой деятельности в современном обществе. В связи с непрерывным увеличением потока информации перед образовательными учреждениями стоит задача представления образовательного контента в различных форматах: в виде печатного издания, электронного учебного пособия в электронной библиотеке, онлайн-курса в системе дистанционного обучения и т.д. При этом возникает необходимость поиска новых способов хранения, представления, формализации и систематизации, а также автоматической обработки образовательных материалов, поскольку ручное преобразование контента является трудоемким, долгим и дорогостоящим процессом.

На сегодняшний день для решения вышеперечисленных проблем представляется целесообразным применение баз знаний, представляющие собой некую модель или концепцию хранения знаний. Полноценные базы знаний содержат в себе не только фактическую информацию, но и правила вывода, допускающие автоматические умозаключения о вновь вводимых фактах и, как следствие, осмысленную обработку информации. Иерархический способ представления в базе знаний набора понятий и их отношений называется онтологией. Онтологию некоторой области знаний вместе со сведениями о свойствах конкретных объектов также можно назвать базой знаний. Преимуществом онтологий в качестве способа представления знаний является их формальная структура, которая упрощает их компьютерную обработку [2].

Онтологии разрабатываются и могут быть использованы при решении различных задач, в том числе для совместного применения людьми или программными агентами, для возможности накопления и повторного использования знаний в предметной области [3]. Учитывая все принципы и возможности онтологического подхода, представляется возможным организовать иерархию элементов образовательного содержимого учебных материалов – каркас для организации электронных материалов с возможностью их последующего вывода как на экран, так и на печать, другими словами необходимо специфицировать элементы, понятия и структуру, характерные для большинства создаваемых учебных материалов. Таким образом, разработав онтологию учебно-методического пособия, например, и заполнив ее конкретными данными, соответствующей учебной дисциплине, мы получим универсальную базу, на основе которой возможно получать различные конечные представления образовательных материалов, как по форме, так и по объему.



Тенденции современных web-технологий задают такую направленность в разработках различных программных продуктов и сервисов, когда пользователь с помощью одного лишь браузера и доступа в интернет может решать сложные задачи, которые раньше решались с помощью мощных вычислительных систем и ресурсоемких программных средств. Теперь эту роль выполняют сервер, возлагая на себя решение сложных задач и выдавая клиенту результат. Несмотря на многообразие достижений в обеспечении максимального удобства и простоты обучения посредством web-технологий, на сегодняшний момент остается мало затронутым вопрос обеспечения преподавателя (эксперта) минимальным и доступным набором инструментальных средств или on-line сервисов, позволяющих полноценно разрабатывать образовательные материалы или создавать дистанционные курсы без привлечения каких-либо сторонних и сложных программных продуктов.

Таким образом, актуальной является задача разработки on-line-инструмента (портала), позволяющего эффективно разрабатывать и хранить многосвязный образовательный контент, который в дальнейшем возможно представлять в различных печатных или электронных форматах. В основе такого портала лежит информационная модель знаний, направленная на хранение знаний во Всемирной паутине – семантическая паутина (Semantic Web). Семантическая паутина предполагает запись информации в виде семантических сетей с помощью онтологий. Основное назначение предлагаемого инструмента – предоставление сервером доступа к онтологии через web-сервис, возможность извлекать, изменять и сохранять онтологии из хранилища. Работа с базой знаний, ее настройка выполняется с помощью редакторов онтологий и тезаурусов. Для управления образовательным контентом и наполнения базы служит визуальный редактор данных. Все эти службы реализованы как web-приложения, поэтому обеспечивают удаленную настройку портала и поддержку его контента экспертами через Интернет. Создание контента портала знаний выполняется как вручную – с помощью редактора данных, так и автоматизировано – с использованием подсистемы сбора онтологической информации о ресурсах. Результатом работы эксперта на портале является семантически размеченный документ, т.е. документ, в котором выделены семантические объекты, идентифицированы основные взаимосвязи, а с помощью языков трансформаций и форматирования – XSLT и XSL-Fo – получается визуальное представление содержимого онтологии в необходимом формате, например HTML, DOC, TeX и т.п. [4].

Таким образом, была предложена технология, направленная на разработку образовательных материалов с использованием баз знаний без участия разработчиков-программистов. На основе данной технологии предложен универсальный инструмент хранения, передачи и обработки знаний – автоматизированная web-система. Для наполнения системы знаниями требуются только инженеры знаний – специалисты в представлении знаний и эксперты – носители знаний в моделируемой предметной области.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент каф. ПрЭ, зав. лабораторией инструментальных систем моделирования обучения Института Инноватики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) В. В. Кручинин.*

### Литература

1. Губанов, А. С. Использование баз знаний в обучающем процессе [Электронный ресурс] / А. С. Губанов // Информатизация образования. 2009. № 1. Режим доступа: [http://giac.unibel.by/sm\\_full.aspx?guid=7053](http://giac.unibel.by/sm_full.aspx?guid=7053)
2. Митрофанова, О. А., Константинова, Н. С. Онтологии как системы хранения знаний / О. А. Митрофанова, Н. С. Константинова // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». 2008. 54 с.
3. Филатов, В. А., Щербак, С. С., Хайрова, А. А. Разработка высокоэффективных средств создания и обработки онтологических баз знаний [Электронный ресурс] / В. А. Филатов, С. С. Щербак, А. А. Хайрова. Режим доступа: <http://shcherbak.net/razrabotka-vysokoeffektivnyx-sredstv-sozdaniya-i-obrabotki-ontologicheskix-baz-znaniy>
4. Загорюлько, Ю. А. Технология разработки порталов научных знаний [Электронный ресурс] / Ю. А. Загорюлько // Программные продукты и системы. 2009. № 4. Режим доступа: <http://swsys.ru/index.php?page=article&id=2362>

## **ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГРАММНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

О. С. Нетесова

*Томский государственный педагогический университет*

Ситуативные средства коррекции (с помощью мимики, жестов и речи) учебной деятельности учащегося, используемые в классно-урочной форме, как правило, не доступны в дистанционной форме обучения. В качестве одного из их заменителей для учебных целей, предлагается использовать возможности цветового оформления программно-педагогических средств.

В последние годы большое число педагогов становятся разработчиками программно-педагогических средств. В основном, ими создаются презентации и тесты, при разработке которых учитывается совместимость цветов, но очень редко учитывается влияние цвета на процесс мышления. Оптимальное сочетание цветов является важным фактором для стимулирования различных видов учебной деятельности учащихся.

Воздействие цвета на психику человека затрагивает не только его эмоции и черты характера, но и познавательные процессы, и прежде всего, – внимание и мышление. Многие авторы в области педагогики образования отмечают, что различное цветовое окружение влияет на работоспособность [1, 2].

Каждый из цветов несет свою эмоциональную нагрузку, которую необходимо учитывать при стимулировании учебной деятельности. Голубой цвет способствует лучшему усвоению информации. Синий поможет при умственном переутомлении, но при злоупотреблении рассеивает внимание и снижает работоспособность. Зеленый цвет успокаивающе действует на нервную систему, снимает усталость и раздражительность. Красный увеличивает содержание адреналина в крови, повышает работоспособность и рекомендуется для использования в ситуациях, требующих быстрого принятия решения, но время воздействия этого цвета должно быть коротким. Отрицательным последствием избыточного воздействия красного цвета может стать агрессивность. Фиолетовым

цветом не стоит злоупотреблять: этот цвет является подпороговым катализатором усталости. Желтый: стимулирует мозг, привлекает внимание и сохраняется в памяти дольше, чем другие цвета [1].

Говоря о влиянии чистых цветов, не стоит забывать об их сочетаниях, например, сочетание красного и синего/зеленого цвета повышают работоспособность. Желто-зеленый с оранжевым снимают умственное утомление, а желто-красный способствует умственной деятельности. В целом, во время работы наиболее оптимальны желто-зеленые тона в различных сочетаниях и оттенках [2].

С целью выявления оптимальных сочетаний цветов: фона и шрифта в оформлении элементов программно-педагогических средств, нами проводилось исследование среди учащихся 3–6 классов средней ОУ ( $n = 27$ ). Из комбинаций парных сочетаний желтого, оранжевого, красного, синего, зеленого, голубого, коричневого, фиолетового, белого, серого и черного были выбраны наиболее удобочитаемые. Затем 10 испытуемыми поочередно убраны раздражающие и утомляющие сочетания. В результате осталось 25 вариантов сочетаний.

При анализе данных о влиянии цвета на мышление, опираясь на литературу, которая приведена в [2], нами были сформулированы области применения каждого из сочетаний цветов в таблице.

#### Предполагаемые области применения цветовых сочетаний фона и шрифта

№	Цвет фона	Цвет шрифта	Применение
1	2	3	4
1	Красный	Желтый	Короткий тест с выбором из предложенных ответов
2	Красный	Белый	Выполнение работы на время
3	Желтый	Синий	Теоретический материал и формулировка задания
4	Желтый	Коричневый	Теоретический материал и формулировка задания
5	Зеленый	Желтый	Теоретический материал в небольшом объеме
6	Зеленый	Синий	Указание ошибок и правильное решение
7	Зеленый	Белый	Теоретический материал в небольшом объеме
8	Оранжевый	Фиолетовый	Дополнительный материал
9	Оранжевый	Белый	Указание ошибок и правильное решение
10	Голубой	Синий	Большие объемы теоретического материала и тестовые задания
11	Голубой	Черный	Большие объемы теоретического материала и тестовые задания
12	Синий	Желтый	Правильные ответы
13	Синий	Голубой	Правильные ответы
14	Синий	Серый (светлый)	Справочный материал, формулировка правил и законов
15	Коричневый	Желтый	Формулировка заданий
16	Коричневый	Белый	Теоретический материал в небольшом объеме
17	Фиолетовый	Белый	Формулировка творческого задания и дополнительный материал
18	Серый (светлый)	Синий	Тестовые задания, справочный материал, формулировка правил и законов
19	Серый (светлый)	Черный	Тестовые задания, справочный материал, формулировка правил и законов
20	Белый	Красный	Формулировка правил и законов

1	2	3	4
21	Белый	Зеленый	Большие объемы теоретического материала и тестовые задания
22	Белый	Синий	Большие объемы теоретического материала и тестовые задания
23	Белый	Фиолетовый	Справочные материалы
24	Белый	Черный	Классический вариант
25	Черный	Серый (светлый)	Изображения и формулы на запоминание

В результате данного исследования были получены следующие выводы, относительно оптимальных цветовых сочетаний и применений для учебных целей:

1. Цвет и цветовые сочетания, бесспорно, влияют на процесс мышления.
2. Не стоит использовать темные серые и фиолетовые тона в избытке, у учащихся может проявиться состояние стресса.
3. Влияние красного цвета должно быть кратковременным.
4. Влияние цвета всегда индивидуально, поэтому учащемуся необходимо предоставлять несколько сочетаний цветов.

*Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор Л. В. Горчаков.*

#### Литература

1. Базыма, Б. А. Цвет и психика / Б. А. Базыма. Харьков : ХГАК, 2001. 172 с.
2. Петренко, В. Ф., Кучеренко, В. В. Взаимосвязь эмоций и цвета / В. Ф. Петренко, В. В. Кучеренко // Вестник Московского государственного университета. Сер. 14. 1988. № 3. С. 70–82.

## **ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБУЧЕНИИ ПРОГРАММИРОВАНИЮ**

О. В. Обухова

*Томский государственный педагогический университет*

Важной особенностью обучения программированию является то, что обладание соответствующей компетенций не сводится к способности простого воспроизведению имеющихся знаний и не ограничивается умением применять шаблонные решения. Фактически любая реальная задача, решаемая программистом, требует нестандартного мышления и нешаблонных действий.

Очевидно, что обучение программированию начинается с рассмотрения элементарных алгоритмических конструкций. После изучения основ программирования на алгоритмическом языке следует перейти к решению типовых задач, которые являются основой алгоритмической культуры и служат опорным пунктом при дальнейшем изучении программирования. Подбор задач осуществляется на основе типовой программы школьного курса [1, 2]. Учащиеся должны овладеть первоначальными навыками программирования на языке высокого уровня, что включает в себя способность разрабатывать алгоритмы линейной структуры, использовать операторы ветвления, выбора, циклов, организации подпрограмм.

Однако следует помнить, что недопустимо «связывать» ученика какими-то определенными шаблонами, важно развивать способность действовать творчески.

Интересный, знакомый и применимый на практике материал обычно воспринимается учащимися, как менее трудный. Поэтому перед педагогом стоит задача организовать обучение программированию так, чтобы он стал познавательным, творческим процессом, в котором учебная деятельность учащихся становится успешной, а знания востребованными. Один из возможных вариантов решения этой задачи заключается в разработке практико-ориентированного подхода в обучении программированию.

Сущность практико-ориентированного обучения заключается в построении учебного процесса таким образом, чтобы сочеталось приобретение новых знаний и формирования практического опыта, а так же их использование.

На основе анализа работ И. Ю. Калугиной, Ю. Н. Галагузовой, Л. В. Собановой, В. Е. Мелеховой, Е. А. Сазановой можно сделать вывод, что особенностью практико-ориентированного обучения является соединение в себе получения новых знаний и применения их на практике при решении определенных задач, что влечет за собой формирование практического опыта.

«Актуальность разработки практико-ориентированного обучения заключается в том, что данный подход позволяет значительно повысить эффективность обучения. Этому способствует система отбора содержания учебного материала, помогающая учащимся оценивать значимость, практическую востребованность приобретаемых знаний и умений. В процессе обучения широко используются творческие домашние задания, учащиеся получают возможность обращаться к своей фантазии, к творчеству. В практико-ориентированном учебном процессе не только применяется имеющийся у учащихся жизненный опыт, но и формируется новый опыт на основе вновь приобретаемых знаний. Данный опыт становится основой развития учащихся, формирования нестандартного мышления» [3].

В учебниках и учебных пособиях довольно редко встречаются задачи по программированию, которые носят конкретный практический характер. Поэтому в процессе применения практико-ориентированного подхода встречаются две проблемы: взять из жизни задачи и переделать их в задачи по программированию или наоборот связать задачи с практической деятельностью, что бы подчеркнуть их практическую значимость и вызвать интерес.

Примером одной из таких задач, может служить задача подсчета среднего количества тетрадей в портфелях учеников. Ученик, решая задачу, самостоятельно формирует математическую модель ее решения. Для получения общего количества тетрадей всех учеников класса, нужно сложить количество тетрадей каждого ученика. По окончании суммирования, подсчитанное значение необходимо разделить на количество учеников.

```
program notebook;  
var i, k, s, n :integer;  
    p :real;  
begin  
    writeln ('введите количество учеников');  
    readln (n);
```

```

s:=0;
for i:=1 to n do
  begin
    writeln ('введите количество тетрадей у , i, '-го ученика ');
    read(k);
    s:=s+k;
  end;
p:=s/k;
writeln ('среднее количество тетрадей', p);
end.

```

Для достижения поставленных целей, можно использовать следующие формулировки заданий.

Проверить, можно ли составить баскетбольную команду из мальчиков класса. Игроком команды может быть ученик рост, которого превышает 170 см. Команда должна состоять из 5 игроков. Данная задача решается аналогично предыдущей. Ученик вводит информацию о росте учащихся класса. Затем необходимо проверить условие: есть ли в классе учащиеся выше 170, если да то подсчитать их количество. И вывести сообщение на экран, составлена команда или нет.

```

program basketbal;
var k, n, i :integer;
    r :real;
begin
  writeln ('введите количество мальчиков в классе');
  readln (n);
  for i:=1 to n do
    begin
      writeln ('введите рост ', i, '-го ученика ');
      read(r);
      if r>=170 then inc(k);
    end;
  if k>=5 then writeln ('команда по баскетболу составлена')
  else writeln(' команда по баскетболу не составлена');
end.

```

Большой интерес и активность со стороны учащихся вызывают задачи-игры. Например, составить программу игры «Угадай число». Запустив программу, учащиеся получают элемент игры – пытаются угадать загаданное число компьютером. Однако нашей задачей остается необходимость связать игру с практикой, для этого можно познакомить учащихся с поиском элемента методом деления пополам (или метод дихотомии, заключается в том, что последовательность, в которой выполняется поиск элемента, делится пополам, затем осуществляется поиск элемента в одной из двух частей последовательности по тому же алгоритму до тех пор, пока искомый элемент не будет найден). Данный метод применим в практической деятельности, тем самым позволяет связать элемент игры и практическую значимость составленной программы.

В ходе исследования было проведено анкетирование 50 учеников 10-х классов средней общеобразовательной школы № 51, где 87% испытуемых подтвердили, что использование практико-ориентированных задач вызывает у них интерес и повышает мотивацию к получению знаний.

Следует помнить, что при обучении программированию востребованными являются не только специальные знания и алгоритмическое мышление – развивающееся в процессе непосредственной алгоритмизации, но и сформированное логическое мышление. Одним из наиболее эффективных методов развития самостоятельного логического мышления является применение технологий, которые включают в себя практико-ориентированное и проблемное обучение.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А. Н. Стась.*

### **Литература**

1. *Примерная программа основного общего образования по информатике и информационным технологиям. Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://window.edu.ru/window\\_catalog/pdf2txt?p\\_id=14196](http://window.edu.ru/window_catalog/pdf2txt?p_id=14196)*

2. *Калугина, И. Ю. Образовательные возможности практико-ориентированного обучения учащихся [Электронный ресурс] / И. Ю. Калугина // Электронная библиотека диссертаций. Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/obrazovatelnye-vozmozhnosti-praktiko-orientirovannogo-obucheniya-uchashchikhsya>*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЙ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ В ШКОЛЕ**

**Батырхан Тилейхан**

*Томский государственный педагогический университет*

Очевидно, что актуальным в педагогическом процессе в настоящее время становится использование методов и методических приёмов, которые формируют у школьников навыки самостоятельного приобретения знаний, сбора необходимой информации, умения выдвигать гипотезы, делать выводы и строить умозаключения [1].

Целью данного исследования является экспериментальный поиск эффективной методики обучения учащихся школы на уроках математики при изучении линейных, квадратных, кубических уравнений на примере авторской электронной программы «Multi\_Math 1.0».

Одна из важных задач учителя на уроках математики – помочь ученикам освоить такие способы действия, которые окажутся необходимыми при дальнейшем изучении математики. Требуется сделать правильный выбор необходимого инструментария осознанно, оценив свои возможности, способности, интересы и склонности. Наиболее эффективно, на наш взгляд все эти качества личности формируются при выполнении учебных проектов. В свою очередь, проектно-исследовательская деятельность неразрывно связана с информационно-коммуникационными технологиями, которые открывают поистине безграничные

возможности в самых разных отраслях профессиональной педагогической деятельности, особенно в исследовательской.

Реализация поставленной задачи предполагает разработку компьютерной модели обучения для решения алгебраических уравнений, как на уровне теоретического поиска решения, так и на уровне визуального поиска решения (с использованием графического метода решения). При разработке компьютерной программы мы опирались на принципы, которые представлены и успешно реализованы при построении курса «Элементы вычислительной геометрии» в условиях педагогического вуза [2].

Этот же подход можно успешно использовать при обучении учащихся решению уравнений на уроках математики в школе. Чтобы применить данную методику при решении уравнений нам пришлось адаптировать сформулированные авторами положения применительно к нашим целям.

В результате проведенного нами анализа были сформулированы следующие положения:

1. Изложение материала должно осуществляться на дедуктивной (аксиоматической) основе, и требует для своего усвоения значительное развитие теоретического (понятийного) мышления (учитывая методику преподавания).
2. Опора на развитие пространственных представлений учащихся при графическом решении уравнений.
3. В процессе изучения конкретных алгоритмов необходимо применять индуктивный способ изложения материала.
4. Развитие алгоритмического мышления учащихся связано непосредственно с алгоритмической культуры в процессе обучения.
5. Учет интегративного характера алгебраических исчислений и компьютерной графики, синтезирующих в себе положения из фундаментальных основ информатики, математики и программирования.
6. Использование «задачного» подхода к изучению основных типов квадратных и кубических уравнений, т.е. рассмотрение каждого типа уравнений должно происходить на примере конкретных практических задач.

Использование компьютера как инструмента обучения соответствует возрастным психологическим особенностям старшеклассников, которые зачастую являются успешными пользователями различных компьютерных программ. Интерактивная обучающая программа для обучения решению уравнений эффективна и при самостоятельном выполнении домашних заданий, и при отработке навыков решения уравнений, и при дистанционном обучении [3].

При разработке обучающей программы мы исходили из того, что активное внимание обучаемого ограничено во времени. За сравнительно короткий промежуток времени ученик должен понять и усвоить алгоритм решения уравнения. На рис. 1 представлен вид главной панели разработанной нами программы «Multi\_Math 1.0».

Особенностью авторской программы является то, что она имеет цветовую настройку фона на индивидуально-психологические особенности обучаемых. Эта возможность позволяет повышать эффективность восприятия и продуктивность мыслительной деятельности. Ученик может создать при решении уравнений оптимальную цветовую среду для обеспечения условий наиболее эффективной учебной деятельности.



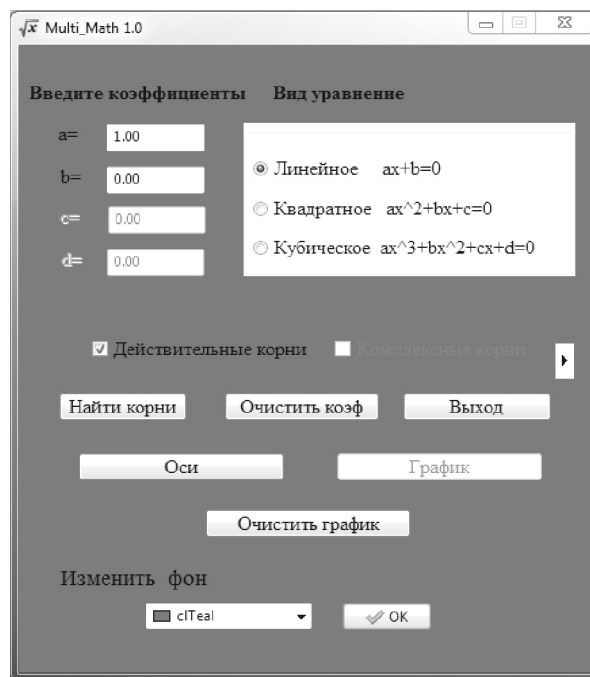


Рис. 1. Главная панель программы

Изучение алгебраического уравнения с помощью «Multi\_Math 1.0» сопровождается построением на экране компьютера функциональных зависимостей в соответствии с заданными параметрами пользователя (рис. 3–5).

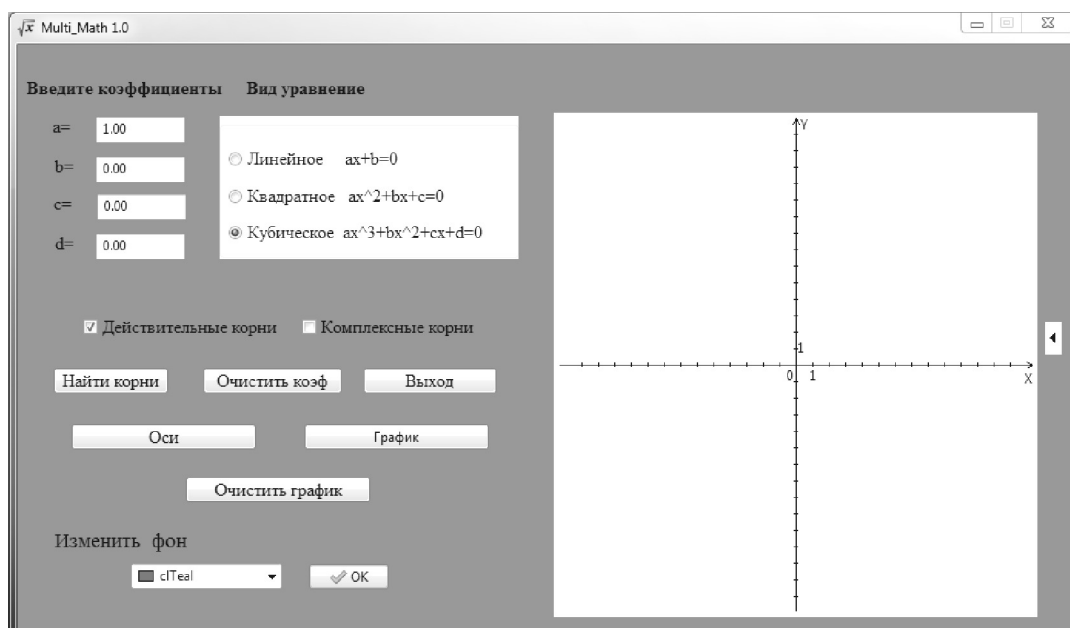


Рис. 2. Основной вид программы и окна построения осей координат

Разработанная нами программа решения алгебраических уравнений может применяться на различных этапах урока: при объяснении нового материала, закреплении или при самостоятельной работе. Особенностью применяемой обучающей программы является возможность изменения дизайна (цветового фона), высокая наглядность демонстрационного и обучающего материала. Программа

также эффективно может использоваться на этапе изучения нового материала с целью повышения мотивации и интереса к теме, либо на этапе закрепления и контроля знаний. Программа «Multi\_Math 1.0» позволяет эффективно экономить время на уроке, что способствует повышению эффективности урока в целом.

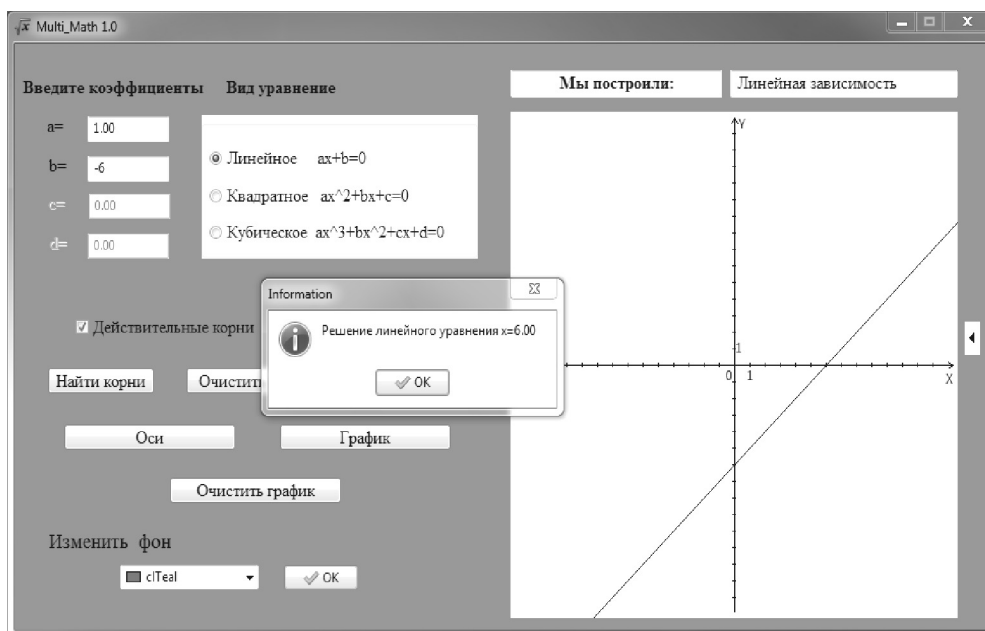


Рис. 3. Нахождение решения линейного уравнения, построение графика

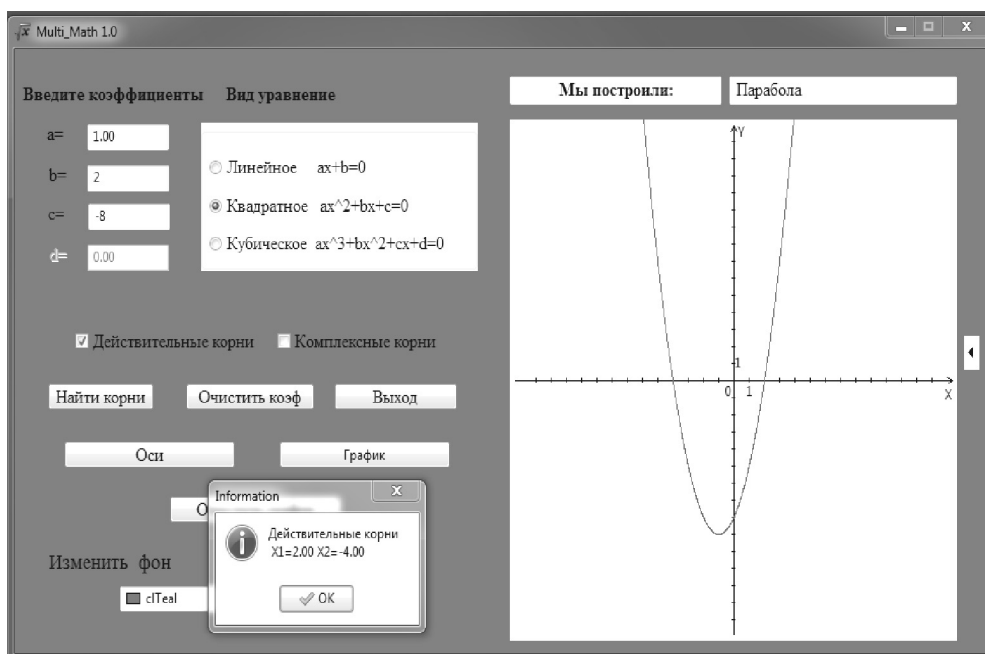


Рис. 4. Нахождение корней квадратного уравнения, построение графика

В ходе разработки и апробации программы «Multi\_Math 1.0», предназначенной для решения уравнений школьниками на уроках математики, мы пришли к заключению, что применение программы позволит:

– интенсифицировать учебный процесс на уроках математики при изучении темы «Линейные квадратные и кубические уравнения»;

- активизировать познавательную деятельность учащихся на уроке;
- эффективно формировать образовательные компетенции;
- обогащать понятийный аппарат; повышать уровень умений; работать с информацией из различных источников и баз данных;
- осуществлять самообразование;
- формировать информационную культуру.

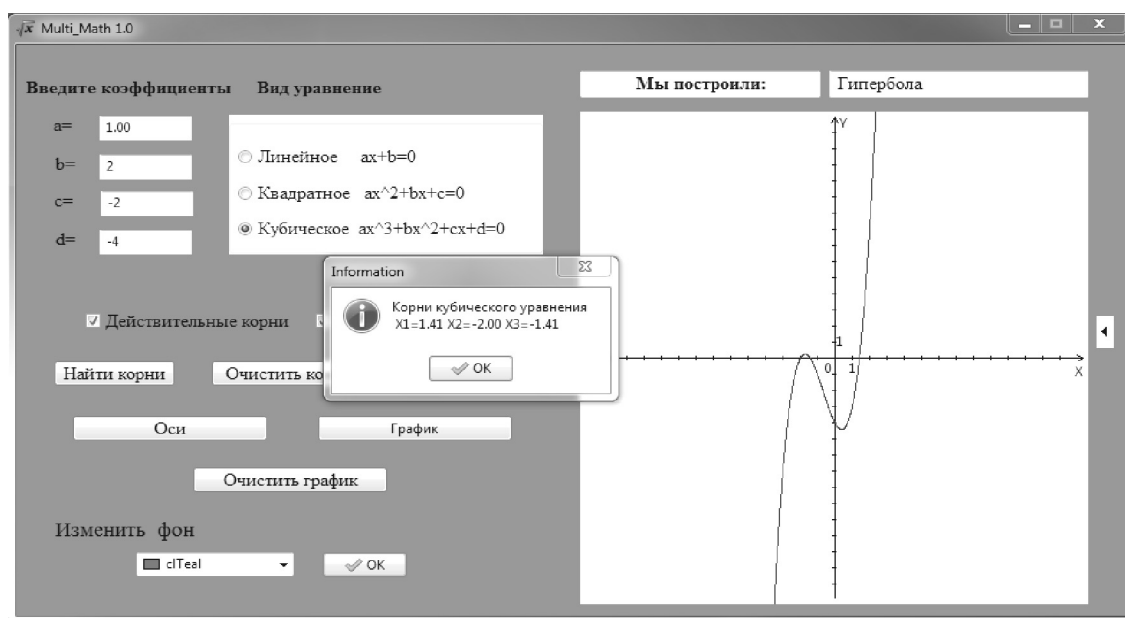


Рис. 5. Нахождение корней кубического уравнения, построение графика

*Научные руководители: канд. психол. наук, доцент Л. В. Ахметова, канд. техн. наук, доцент А. Н. Стась.*

### **Литература**

1. Яркова, Г. С. Повышение качества преподавания через применение информационных технологий [Электронный ресурс] / Г. С. Яркова. Режим доступа: <http://86schhmr-gornoprawdinsk3.edusite.ru/p198aa1.html>
2. Долганова, Н. Ф., Стась, А. Н. Основные дидактические принципы построения дисциплины «Элементы вычислительной геометрии» в условиях педагогического вуза / Н. Ф. Долганова, А. Н. Стась // Вестник ТГПУ. 2007. Вып. 6 (69). С. 112–115.
3. Корнеева, Г. П. Применение информационных технологий на уроках [Электронный ресурс] / Г. П. Корнеева. Режим доступа: <http://festival.1september.ru/articles/570524/>

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FRAMEWORK JQUERY ДЛЯ РАЗРАБОТКИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ**

**В. В. Янюшкин**

*Томский государственный педагогический университет*

В современном мире требования к веб-приложениям все больше приближаются к обычным приложениям, как по функциональному составу, так и удобству

взаимодействия с пользователем. Поэтому инструменты разработки динамического контента обретают все больший вес, актуальность и востребованность со стороны разработчиков программного обеспечения.

jQuery представляет собой javascript framework рассчитанный на взаимодействие с HTML и элементами DOM-структуры [1]. Разработка данной технологии ведется с апреля 2005 г., когда Джон Резиг (John Resig) разработал плагин для обращения к элементам DOM с помощью css-селекторов. В настоящее время над развитием технологии трудится большая интернациональная команда из различных частей света. Это позволило превратить jQuery в удобный инструмент для создания кроссбраузерного динамического контента, в том числе и с помощью Ajax-технологии.

Для jQuery существует множество плагинов, наборы виджетов и библиотека (jQuery UI) для разработки пользовательского интерфейса. Гибкие и интуитивно понятные инструменты позволяют быстро разрабатывать веб-интерфейсы, которые обеспечивают взаимодействие с программным уровнем веб-приложения. В данной работе представлен краткий обзор возможностей javascript фреймворка.

Из наиболее важных можно выделить следующие функциональные возможности:

- система кроссбраузерных CSS-селекторов;
- переход по дереву DOM, включая поддержку XPath как плагина;
- события и callback-функции;
- визуальные эффекты;
- Ajax-дополнения;
- JavaScript-плагины.

С целью уменьшения и оптимизации кода framework, разработчики реализовали идею компактного универсального ядра и плагинов. Такая архитектура позволяет сконфигурировать и задать именно ту функциональность, которая требуется. Естественно, что это требует определенных навыков и труда, но позволяет экономить ресурсы клиент-серверных приложений (в общем случае веб, но технология может применяться и для разработки программных приложений). По сути jQuery представляет собой javascript файл, который подключается обычным образом и выполняется на стороне клиента.

Работу с jQuery можно разделить на 2 типа:

1. Получение jQuery-объекта с помощью функции `$()`. Например, передав в неё CSS-селектор, можно получить jQuery-объект всех элементов HTML, попадающих под критерий и далее работать с ними с помощью различных методов jQuery-объекта. В случае, если метод не должен возвращать какого-либо значения, он возвращает ссылку на jQuery-объект, что позволяет вести цепочку вызовов методов согласно концепции текучего интерфейса (реализация ООП API с целью повышения читабельности исходного кода программы).

2. Вызов глобальных методов у объекта `$`, например, удобных итераторов по массиву.

Типичный пример манипуляции сразу несколькими узлами DOM заключается в вызове `$` функции со строкой селектора CSS, что возвращает объект jQuery, содержащий некоторое количество элементов HTML-страницы. Эти элементы затем обрабатываются методами jQuery. Такой подход можно реализовать следующим образом: `$('#div.title').css('background-color','lightblue');`.

Данный код всем элементам `<div>` класса «title» присвоит светло-голубой цвет фона. Это позволяет сэкономить время разработки и делает код более удобочитаемым. Аналогично цвет фона можно задать через таблицы стилей, но динамически изменить их через `css` не получится.

Фреймворк `Jquery` предоставляет набор API-функций для работы с Ajax. Это позволяет обмениваться данными с сервером и динамически изменять содержимое документа на основе этих данных. Например, отправлять данные из формы не перегружая страницу. Ответ сервера будет обработан и применен в той части, которая определена программистом. Так, например, реализована подгрузка городов при выборе страны на большинстве современных сайтов и проверка вводимых данных «на лету».

Реализация асинхронной передачи данных позволяет не ожидать полной загрузки какой-то одной части документа, а загружать все части одновременно. Это позволяет реализовать ступенчатую загрузку больших объемов записей (из базы данных) или аудио/видео файлов.

Большое количество плагинов и наличие графических UI позволяет быстро и эффективно создавать приложения с применением `Jquery`. Например, на сайте `yandex.ru` в фотогалерее используется плагин `jscarousel`, реализующий прокрутку, слайдшоу и показ найденных изображений. В сети Интернет можно найти плагины практически под любые нужды пользователя [2].

Отметим наиболее важные свойства рассматриваемого инструмента.

1. Кроссбраузерность. Данный фреймворк поддерживает все современные пространственные браузеры, что освобождает программиста от затрат времени на отладку взаимодействия между разными браузерами.

2. Эффективная работа с DOM структурой документа.

3. Удобство в работе, обращение к элементам через `css`-селекторы.

4. Разнообразие уже готовых решений.

К недостаткам можно отнести сравнительно высокие требования к квалификации программиста. Разработчик должен хорошо ориентироваться в таблицах стилей и хорошо представлять себе работу с DHTML. Так как программная реализация происходит на достаточно низком уровне, поэтому не существует удовлетворительных визуальных средств разработки, позволяющих создавать приложения.

Данный фреймворк можно использовать для образовательных целей в качестве инструмента разработки динамических приложений (электронных интерактивных, веб-ресурсов), так как он берет на себя сложные конструкции языка `Javascript` и позволяет работать с элементами DOM-структуры, как с массивом объектов. Кроме того работа через `css`-селекторы стимулирует изучение каскадных таблиц стилей, с помощью которых оформляются все современные веб-приложения.

### Литература

1. *jQuery: The Write Less, Do More, JavaScript Library* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://jquery.com/>

2. Русская документация по JQuery [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://jquery-docs.ru/>



**СЕКЦИЯ  
ГЕОГРАФИЯ**





# ОПАСНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В РОССИИ

А. О. Бородина, Т. В. Ершова

*Томский государственный педагогический университет*

Актуальность темы связана с влиянием изменения климата на человека и экономику. Большую озабоченность вызывает возросшая повторяемость опасных явлений погоды. К опасным метеорологическим явлениям (ОЯ) относятся явления погоды, которые интенсивностью и продолжительностью представляют угрозу безопасности людей, а также наносят значительный ущерб отраслям экономики. Именно опасные явления погоды из всех природных бедствий на территории России обуславливают максимальный ущерб экономике. Исследованиями опасных явлений занимаются специалисты Всемирной Метеорологической Организации и ряда научно-исследовательских институтов. К наблюдениям за ОЯ привлекаются все организации наблюдательной сети Росгидромета и их сетевые наблюдательные подразделения. Поскольку, в настоящее время невозможно остановить или изменить ход большинства атмосферных процессов, то следует предусматривать их неблагоприятное воздействие и принимать меры защиты.

Целью данных исследований является анализ динамики опасных метеорологических явлений на территории России за период с 1998 по 2010 г.

В качестве исходного материала использованы данные Росгидромета, представленные в обзоре «Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации» в научно-техническом журнале «Метеорология и гидрология» за период 1998–2010 гг.

К опасным метеорологическим явлениям относятся: сильный ветер, шквал, смерч, сильный ливень, очень сильный дождь, очень сильный снег, продолжительный снег/дождь, град, метель, пыльная буря, туман, гололедно-изморозные явления, сильная жара, мороз. Критерии ОЯ устанавливаются либо по вероятности возникновения явления, либо «директивно» с учетом результатов анализа данных метеорологических наблюдений за многолетний период. Критерии ОЯ принимаются едиными для всей территории страны, либо устанавливаются дифференцированно для различных физико-географических и природно-климатических районов.

Опасные метеорологические явления оказывают значительный ущерб экономике, жизни людей, а также приводят к чрезвычайным ситуациям. Шквалистые усиления ветра, ураганы, смерчи приводят к различным разрушениям (срывы крыш, разрушение кровли зданий), обрыву линий электропередач, падению деревьев, травмам и гибели людей. В результате сильных и продолжительных дождей происходят повышения уровня рек, возникают сели и селевые потоки. Это приводит к потоплению домов, размыву дорог, затоплению сельхозугодий. Крупный град повреждает крыши домов, автомобилей, сельскохозяйственные культуры. Аномально жаркая погода приводит к таким неблагоприятным последствиям, как чрезвычайная пожароопасность, засухи, размягчение дорожного покрытия, тепловые ожоги и солнечные удары у людей. В результате аномально холодной погоды происходят нарушения водо-, тепло-, газоснабжения, осложняются движения городского и междугороднего транспорта, отменяются занятия

в школах, происходит обморожение, а часто и гибель людей. Налипание мокрого снега и обледенение на проводах линий электропередач способствует их обрыву, вследствие чего без электричества оказываются дома, улицы, поселки и города. В результате гололедицы на дорогах происходит большое количество автомобильных аварий, а также различные травмы получают люди. Сильный туман, метель или буря приводят к ухудшению видимости, в результате чего осложняется движение автотранспорта, закрываются аэропорты. Все эти явления оказывают значительный ущерб экономике. На территории России этот ущерб достигает до 30–60 млрд руб. в год [1. С. 8]. Что бы уменьшить эти потери следует уделять большое внимание прогнозированию ОЯ.

Потребности в действенных мерах по уменьшению негативных последствий опасных метеорологических явлений указывают на необходимость системного исследования угрозы их возникновения и уязвимости каждого региона России. Это важно для предотвращения дальнейших потерь в экономическом и социальном развитии из-за стихийных бедствий различного масштаба.

Метеорологические станции фиксируют ОЯ в соответствии с утвержденными критериями без учета последствий их воздействия на экономику и население. Эти данные собираются и хранятся в Государственном фонде «Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ГУ «ВНИИГМИ-МЦД») на техническом носителе. В ГУ ВНИИГМИ-МЦД ведутся исследования по выборке данных об ОЯ из основного архива, добавления явлений нанесших ущерб, таким образом, формируется объединенный специализированный массив о наблюдавшихся опасных явлениях.

По данным ВНИИГМИ-МЦД на 2011 г. в России 156 станций вели непрерывные наблюдения в течение последних 100 лет [2]. В ряде регионов страны (Арктика, центральные районы Сибири и Дальнего Востока) плотность метеостанций сократилась в разы и десятки раз. Например, на Таймыре более чем из 15 метеостанций в 1998 г. осталось всего 6 в 2011 г. По данным сервера «Погода России» [3] на территории нашей страны в 1998 г. насчитывалась 1 341 метеостанция. Из них в европейской части России находились 486 метеостанций, а в азиатской части – 855, т.е. в среднем на 1 км<sup>2</sup> территории приходилось в европейской части 0,12 станций и в азиатской части только 0,007 станций. Таким образом, азиатская часть России в 17 раз хуже оснащена метеорологическими станциями.

За весь рассматриваемый период с 1998 по 2010 г. количество ОЯ возросло в среднем в 3 раза (см. рис. 1). Самым опасным в метеорологическом отношении годом был 2010, когда произошло 467 случаев ОЯ. А самым спокойным был 2000 г., в который зафиксировано всего 141 случай.

Наибольшее количество ОЯ за рассматриваемый период наблюдалось в азиатской части России, особенно в Западносибирском (675 случаев), Восточносибирском (757) и Дальневосточном (602) экономических районах. Наименьшее количество ОЯ было в Северном (65) и Центрально-Черноземном (52 случая) экономических районах.

В годовом ходе на летний сезон приходится больше всего опасных метеорологических явлений – в среднем 115 случаев за один летний сезон. При этом, велика межгодовая изменчивость летних опасных явлений: от 38 случаев в 1999 г. до 207 в 2010 г. Это объясняется как особенностями общей циркуляции атмосферы

(например, преобладающее число гроз связано с благоприятными условиями для формирования конвективной (грозовой) облачности в циклонах и на фронтальных системах в летний период), так и местными условиями, такими как, годовой ход радиационного и теплового баланса Земли, максимальный прогрев земной поверхности и атмосферы, а также максимальной продолжительностью светового дня. Летом к наиболее часто встречающимся опасным явлениям относятся сильный ливень, продолжительный дождь, а также град, гроза, шквал.

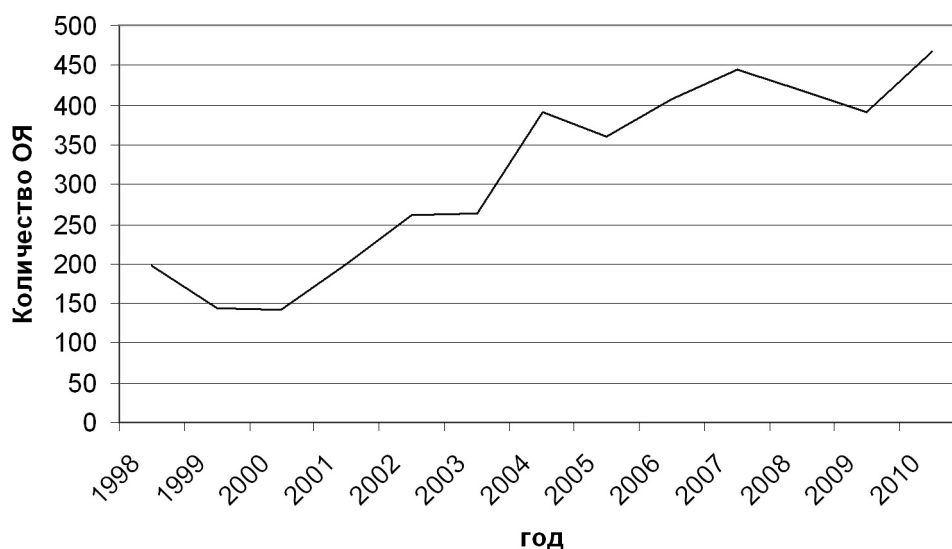


Рис. 1. Изменение количества опасных явлений в России с 1998 по 2010 г.

Зимой на территории России наблюдается минимальное количество ОЯ – в среднем 61 случай за один зимний сезон. Межгодовая изменчивость зимних опасных явлений составляет от 21 случая в 1998 г. до 94 случаев в 2009 г. Самая высокая повторяемость числа ОЯ приходится на снег, метель, шквал и морозы.

Осенью и весной на территории России наблюдается практически одинаковое количество опасных явлений – в среднем 70 и 65 случаев за один сезон соответственно. При этом весной отмечается максимальная изменчивость в межгодовом ходе: от 19 случаев в 2000 г. до 110 в 2010 г. Осенью межгодовая изменчивость не велика: от 32 случаев в 1999 г. до 99 случаев в 2007 г. В эти сезоны наблюдаются все рассматриваемые ОЯ, но разные в каждом сезоне. Например, весной насчитывается большая повторяемость случаев шквала и сильного снега. Тогда как осенью фиксируется наибольшее количество случаев дождя со снегом. Также весной и осенью часто встречаются такие опасные явления как метель, заморозки, морозы, гололедные явления и налипание мокрого снега. Все перечисленные явления приводят к экономическим потерям.

В результате проведенного исследования можно отметить, что, несмотря на сокращение числа метеорологических станций и постов, количество опасных метеорологических явлений за период с 1998 по 2010 г. возросло в среднем в 3 раза. Самым опасным в метеорологическом отношении годом был 2010. Приведенные первичные результаты требуют дальнейших исследований с привлечением данных МЧС, страховых компаний.

*Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Т. В. Ершова.*

### Литература

1. Бедрицкий, А. И., Коршунов, А. А., Шаймарданов, М. З. Базы данных по опасным гидрометеорологическим явлениям на территории России и результаты статистического анализа / А. И. Бедрицкий, А. А. Коршунов, М. З. Шаймарданов // Метеорология и гидрология. 2009. № 11. С. 5–14.
2. Дубинин, М., Поспелов, И. Географические информационные системы и дистанционное зондирование / М. Дубинин, И. Поспелов // Источники метеорологических данных на территории РФ по станциям [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/meteo-station-sources.html> (дата обращения: 1.03.2011)
3. Сервер «Погода России» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/r\\_sel\\_admin.sht?country=176](http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/r_sel_admin.sht?country=176) (дата обращения 25.12.2010)

## **ЗАВИСИМОСТЬ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ОТ КОНВЕКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА АТМОСФЕРЫ**

Д. А. Бугаева, Е. В. Карташова, \*Д. А. Константинова

*Томский государственный университет*

*\*Институт физики высоких технологий, ТПУ*

Развитие кучево-дождевых облаков и выпадение из них осадков связано с мощными проявлениями атмосферного электричества, а именно с многократными электрическими разрядами в облаках или между облаками и Землей. Такие разряды искрового характера называют молниями, а сопровождающие их звуки – громом. Весь процесс, часто сопровождаемый еще и кратковременными усилениями ветра – шквалами, называется грозой [1].

Грозовой деятельностью занимались многие ученые, более 200 лет назад Б. Франклином была установлена электрическая природа грозы, более 200 лет назад М. В. Ломоносовым была введена первая теория электрических процессов в грозах. Несмотря на это до сих пор нет удовлетворительной общей теории грозы. В последнее время интерес к грозовой деятельности возрастает, что обусловлено многими факторами, среди них совершенствование прогноза гроз и способов молниезащиты.

Целью настоящей работы является термодинамических характеристик атмосферы в дни с грозой, исследование зависимости грозовой активности от конвективного потенциала атмосферы.

Состояние атмосферы исследовалось за три летних месяца: июнь, июль и август 1995–1999 гг. по данным аэрологического зондирования трех станций: Александровское, Колпашево и Новосибирск. Состояние атмосферы анализировалось за 00 и 12 часов ВСВ (всемирное скоординированное время). Выбор месяцев объясняется тем, что в летний период возрастает конвекция атмосферы, которая является необходимым условием для развития мощных кучево-дождевых облаков и связанных с ними гроз.

В качестве информации о количестве молний из космоса служили ежедневные данные наблюдений со спутника Microlab-1. Проект NASA по исследованию молний из космоса с помощью детектора OTD (Optical Transient Detector) действовал с апреля 1995 г. по март 2000 г. Высота орбиты полета спутника 740 км,

спутник охватывал территорию земного шара между  $80^\circ$  северной и южной широты и каждые 100 минут облетал землю. В работе используются данные о разрядах молнии со спутника для территории, ограниченной параллелями  $53$  и  $63^\circ$  с.ш. и меридианами  $74,5$  и  $89,5^\circ$  в.д.

Характеристики полей вертикальных конвективных движений с получением сведений о скорости движений, положении уровней конденсации и конвекции, толщине конвективных слоев и связанной с ними облачности, стратификации температуры и влажности с успехом диагностируются по данным аэрологического зондирования атмосферы и значениям оперативно рассчитываемых на основе этих данных индексов [3–6].

Интенсивность развития конвективных вертикальных движений определяется, в основном, стратификацией температуры воздуха. Например, интенсивные грозы и град формируются в атмосфере с положительной энергией неустойчивости во всем слое облакообразования, когда в средней и верхней тропосфере температурные градиенты существенно превышают величину влажноадиабатического. Эту характеристику состояния атмосферы отражают значения индекса LIFT ( $^\circ\text{C}$ ) [3–5], или индекса подъема. Индекс LIFT оценивает степень стабильности, которая измеряется разностью между температурами поднимающейся частицы и окружающей среды на уровне 500 гПа. Он объединяет влажность и вертикальный градиент в одном индексе.

Индекс KIND (K index) описывает температурно-влажностное состояние атмосферы в слое 850–700 гПа,  $^\circ\text{C}$ . KIND оценивает возможность возникновения конвекции, основанную на вертикальном градиенте температуры и вертикальной протяженности слоя наибольшего влагосодержания.

Индекс TOTL (Total Totals index) оценивает как статическую стабильность, так и влажность на уровне 850 гПа. Но может быть неприемлемым в случае, если уровень конвекции расположен ниже 850 гПа. К тому же конвекция может существовать вопреки высоким значениям TOTL, если наблюдается значительная инверсия в верхних слоях.

Индекс SWEAT (Severe WEather Threat index) оценивает потенциал (вероятность) неблагоприятных явлений погоды, объединяя несколько параметров в одном индексе: слой наибольшего влагосодержания (точка росы на уровне 850 гПа), нестабильность (TOTL), скорость ветра на уровне 850 и 500 гПа, адвекцию теплого воздуха. Таким образом, это попытка объединить кинематическую и термодинамическую информацию в одном индексе.

Анализировались все индексы неустойчивости атмосферы за три летних месяца для юго-восточной территории Западной Сибири. По значениям индексов SWEAT, KINX, TOTL характеризующих разную степень неустойчивости атмосферы, можно отметить, что большая часть гроз, образовалась при умеренно неустойчивом состоянии атмосферы (табл. 1).

Индекс CINS (Convective Inhibition Energy) – энергия задерживающего слоя, Дж/кг. При обработке результатов зондирования атмосферы Западной Сибири в дни, когда над юго-восточной частью территории наблюдались грозы, было замечено (табл. 2), что во все месяцы в дневное время чаще всего, исключая месяц июнь, формировался задерживающий слой. В июле в оба срока наличие задерживающего слоя в дни с грозой отмечалось в два раза чаще, чем его отсутствие.

Т а б л и ц а 1

**Повторяемость значений индексов в дни с грозой (%), ст. Александровское**

Состояние атмосферы	Срок, часы (BCB)	LIFT	SWEAT	KINX	TOTL
неустойчива		$-6 \div -3$	$300 \div 400$	$30 \div 40$	$50 \div 55$
	00	0	0	13,6	27,3
	12	16,3	1,9	20,9	13,1
умеренно неустойчива		$-3 \div 0$	$< 300$	$< 30$	$45 \div 50$
	00	0	0	81	18,2
	12	8,5	98,1	79,1	31,4

Т а б л и ц а 2

**Наличие задерживающего слоя в дни с грозой, ст. Новосибирск**

Месяц	Срок, ч (BCB)	Число дней с грозами	CINS = 0	CINS < 0
Июнь	00	32	26	6
	12	5	4	1
Июль	00	42	15	27
	12	20	5	15
Август	00	24	15	9
	12	21	4	17

Индексу CINS в диапазоне  $-50 \div 0$  Дж/кг соответствует слабая устойчивость атмосферы. Однако большинство гроз над исследуемой территорией развивалось именно при этих условиях (табл. 3). В интервале  $-199 \div -51$  Дж/кг атмосфере свойственна умеренная устойчивость. Меньше  $-200$  Дж/кг – соответствует сильная устойчивость, которой, считается, достаточно, чтобы предотвратить конвекцию в атмосфере, что подтверждается нашими результатами за срок 12 часов BCB (см. табл. 3).

Т а б л и ц а 3

**Повторяемость значений индекса CINS при грозах, ст. Колпашево**

	Срок 00:00 ч (BCB)					
	Июнь		Июль		Август	
	Число случаев	%	Число случаев	%	Число случаев	%
$-50 \div 0$	27	84,4	18	42,9	18	75
$-199 \div -50$	2	6,3	16	38	5	20,8
$< -200$	3	9,3	8	19,1	1	4,2
	Срок 12:00 ч (BCB)					
	Июнь		Июль		Август	
	Число случаев	%	Число случаев	%	Число случаев	%
$-50 \div 0$	5	100	14	70	12	57,1
$-199 \div -50$	0	0	5	25	9	42,9
$< -200$	0	0	1	5	0	0

Индекс EQLV – высота выравнивания температур, гПа, т.е. высота верхней границы, до которой развивается конвекция, когда над исследуемой территорией было зарегистрировано наличие грозы.

Высота верхней границы конвекции (EQLV) достигала уровня 10–16 км, хотя средние значения высот составляли в разные месяцы 3–9 км, причем наибольших значений высота развития конвекции достигала в августе (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

**Средние и минимальные значения индекса EQLV (гПа) за срок 12 часов ВСВ**

EQLV	Александровское		Колпашево		Новосибирск	
Месяц	среднее	мин	среднее	мин	среднее	мин
Июнь	607	228	784	729	752	688
Июль	499	198	506	234	423	205
Август	615	201	486	224	424	216

Таким образом, в результате работы определены численные значения изменчивости некоторых параметров конвекции в атмосфере Западной Сибири. Повторяемость значений индексов, характеризующих тот или иной параметр конвекции по степени ее развития и возможности образования гроз, связанных с конвекцией существенно отличаются от значений, полученных для других регионов. Для исследуемой территории отмечено, что большая часть гроз, образовалась при умеренно неустойчивом состоянии атмосферы.

Во все месяцы в дневное время чаще всего, исключая месяц июнь, формировался задерживающий слой. В июле в оба срока наличие задерживающего слоя в дни с грозой отмечалось в два раза чаще, чем его отсутствие.

Высота верхней границы конвекции достигала уровня 10–16 км, что не свойственно умеренным широтам, причем наибольших значений высота развития конвекции достигала в августе.

Отсутствие информации о состоянии атмосферы в срок близкий к максимуму развития конвекции создает проблемы как в применении существующих методов прогноза опасных явлений погоды, так и в создании новых.

*Научный руководитель: доктор геогр. наук, профессор В. П. Горбатенко.*

#### **Литература**

1. *Матвеев, Л. Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л. Т. Матвеев. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
2. *Andersson, T.* Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden / T. Andersson // Meteorol. Mag. 1989. 116. P. 141–146.
3. *Kunz, M.* The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms / M. Kunz // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 7. P. 327–342.
4. *Schulz, P.* Relationships of several stability indices to convective weather events in northeast Colorado / P. Schulz // Weath. Forecasting. 1989. 4. P. 73–80.
5. *Johns, R. H., Doswell, C. A.* Severe local storms forecasting / R. H. Johns, C. A. Doswell // Weath. Forecasting. 1992. P. 558–612.

## ДИНАМИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА г. ТОМСКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ 2010–2011 гг.

Ю. С. Бусыгина, О. А. Черепанова, Е. В. Федорова, А. В. Родикова  
*Томский государственный педагогический университет*

Загрязнение воздуха оказывает большое влияние на состояние окружающей среды и здоровье людей, особенно в районах, приближенных к автомагистралям. На количественный и качественный состав атмосферы в городах, главным образом, воздействует автотранспорт.

Для изучения воздушного бассейна г. Томска зимой и летом 2010–2011 гг. были выбраны ключевые участки по ул. Карла Ильмера (дома 17–7/1) и ул. Киевская (дома 71–77). При проведении исследований на данных точках были подсчитаны средняя дневная интенсивность движения автомобилей, концентрация угарного газа, количество углеводородов,  $\text{NO}_2$ , а в летний период – и уровни шума. При этом использовались методики С. В. Алексеева и Н. А. Голубкиной [1, 2].

**Измерения в зимний период.** Интенсивность движения автотранспорта зимой 2010 г. на участке по ул. Карла Ильмера, за сутки составляла 11 205 транспортных единиц, а в 2011 г. – 15 336, что согласно ГОСТ РФ «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерений содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями» [2] определяется как средняя (8–17 тыс. автомобилей в сутки); средняя рассчитанная концентрация СО на данном участке магистрали (500 м) в 2010 г. –  $0,103 \text{ мг/м}^3$ , а в 2011 г. –  $0,133 \text{ мг/м}^3$  (ПДК  $3 \text{ мг/м}^3$ ), т.е. находится в пределах допустимой нормы (ДН). Содержание  $\text{NO}_2$  в 2010 г. равнялось  $0,008 \text{ мг/м}^3$ , ДН не превышена (ПДК  $0,04 \text{ мг/м}^3$ ). Уровень данного поллютанта в 2011 г. –  $0,011 \text{ мг/м}^3$ . Количество углеводородов в заданный период 2010 и 2011 гг. превышено примерно в 2 раза (ПДК  $0,05 \text{ мг/м}^3$ ) [3].

Интенсивность движения транспорта в зимний период по ул. Киевская за сутки составляла 23 400 единиц в 2010 г. и 21 408 единиц в 2011 г., что согласно выше отмеченному ГОСТу, определяется как высокая (18–27 тыс. автомобилей в сутки). Средняя концентрация СО в 2010 г. –  $0,364 \text{ мг/м}^3$ , в то время как количество данного поллютанта в 2011 г. зафиксировано в пределах  $0,172 \text{ мг/м}^3$  (ДН не превышена). Количество выбросов углеводородов в 2010 г. и 2011 гг. соответствовало  $0,040$  и  $0,017 \text{ мг/м}^3$  (ДН превышена в 8 и в 3,4 раза). Содержание  $\text{NO}_2$  не превышало допустимую норму ( $0,036 \text{ мг/м}^3$  – 2010 г.,  $0,014 \text{ мг/м}^3$  – 2011 г.). Снижение концентрации таких веществ как угарный газ, углеводороды и диоксид азота в 2011 г. по сравнению с 2010 г. на ул. Киевская в зимний период, возможно, объясняется уменьшением расчетного количества автотранспорта.

Исследование шумового загрязнения в зимний период не проводилось, что связано с особенностями эксплуатации шумомера Mini Sound Level Meters AEC 651 TYPE II.

**Измерения в летний период.** Интенсивность движения автотранспорта по ул. Карла Ильмера в 2010 г. за сутки в летний период составляет 13 488 транспортных единиц, что согласно утвержденному ГОСТу определяется как средняя.



Концентрация оксида углерода – 0,238 мг/м<sup>3</sup> (ДН не превышена); углеводородов – 0,024 мг/м<sup>3</sup>; диоксида азота – 0,019 мг/м<sup>3</sup> (ДН не превышена).

Интенсивность движения по ул. Киевская в 2010 г. определяется, как высокая [3]: 21 074 автомобилей в сутки. Концентрация СО (0,338 мг/м<sup>3</sup>), углеводородов (0,033 мг/м<sup>3</sup>), диоксида азота (0,027 мг/м<sup>3</sup>) не превышает ПДК. По сравнению с рассчитанными значениями для ул. Карла Ильмера зафиксировано превышение содержания данных поллютантов, что объясняется большей загруженностью автотранспортом ул. Киевская.

Немаловажной проблемой г. Томска является так же загрязнение шумом от автотранспорта. Измерение акустического давления на выбранных участках проводились только в весенне-летний период (2010–2011 гг). В результате проведенных замеров были получены следующие усредненные данные: уровень шума по ул. К. Ильмера – 70,3 дБ, по ул. Киевская – 69,2 дБ. Согласно СНиПу 23–03–2003 [4], максимальный уровень звука на территории, прилегающей к жилым зданиям, не должен превышать 70 дБ. Таким образом, зафиксированный уровень шума на ключевых участках находится в относительных пределах ДН.

Кроме обозначенных ключей, уровни звукового давления (для сравнения) были измерены на наиболее загруженных транспортом частях магистралей: пр. Ленина, 101 (86,7 дБ), пр. Комсомольский, 75 (84,9 дБ), ул. Красноармейская, 114 (81,2 дБ), Иркутский тр., 10 (78,1 дБ). Таким образом, в пределах исследуемых участков наибольшее шумовое давление испытывают пр. Ленина и пр. Комсомольский. Чуть ниже уровни шума на ул. Красноармейская и Иркутском тракте.

Факторами высокой акустической нагрузки в городе являются также наличие трамваев, узость магистралей, плохое состояние дорожного полотна, близость к нему жилой застройки, а также железная дорога, которая пересекает город с юга на север и проходит в непосредственной близости от густонаселенных микрорайонов [5].

Сравнивая зимний и летний периоды, в целом, можно отметить, что концентрация угарного газа и диоксида азота на ключевых участках не превышает ПДК, как зимой, так и летом, в то время как количество углеводородов в зимний период в среднем превышено в 4,5 раза, а летом – в 5,7 раза. Уровни шума на ключевых участках находятся в относительных пределах допустимых норм.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент А. В. Родикова.*

### **Литература**

1. Голубкина, Н. А., Шамина, М. А. Лабораторный практикум по экологии / Н. А. Голубкина, М. А. Шамина. М. : ФОРУМ; ИНФАРМА-М, 2004. 56 с.
2. Практикум по экологии : учеб. пособие / С. В. Алексеев [и др.] / под. ред. С. В. Алексеева. М. : АО МДС, 1996. 192 с.
3. ГН 2.1.6.1338–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://libgost.ru/gn/54607-Tekst\\_GN\\_2\\_1\\_6\\_1338\\_03\\_Predel\\_no\\_dopustimye\\_koncentracii\\_PDK\\_zagryaznyayushih\\_veshestv\\_v\\_atmosfernom\\_vozduhe\\_naselennyh\\_mest.html](http://libgost.ru/gn/54607-Tekst_GN_2_1_6_1338_03_Predel_no_dopustimye_koncentracii_PDK_zagryaznyayushih_veshestv_v_atmosfernom_vozduhe_naselennyh_mest.html)
4. СНиП 23–03–2003. Защита от шума. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://libgost.ru/snip/68192Tekst\\_SNiP\\_23\\_03\\_2003\\_Zashita\\_ot\\_shuma.html](http://libgost.ru/snip/68192Tekst_SNiP_23_03_2003_Zashita_ot_shuma.html)

## **ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В АТМОСФЕРЕ КРУПНОГО ГОРОДА АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

Е. В. Дутт

*Томский государственный педагогический университет*

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных компонентов окружающей природной среды, неотъемлемой частью среды обитания человека, растений и животных. Сохранение благоприятного состояния атмосферного воздуха – необходимо для обеспечения оптимальных условий жизни и хозяйственной деятельности человека.

В настоящее время Бийск – второй по величине в промышленном отношении город в Алтайском крае, в котором находится более 200 предприятий.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются предприятия топливной энергетики, деревообрабатывающей, химической и пищевой промышленности, рассредоточенные по всей территории. Однако основные предприятия химической промышленности и ТЭЦ-1 находятся в юго-западной части Бийска, что при преобладающих юго-западных направлениях ветра неблагоприятно сказывается на экологической обстановке практически во всех жилых районах. Это подтверждается приблизительно одинаковым уровнем загрязнения воздуха в разных районах города, вместе с тем в районе транспортной развязки пер. Коммунарского благодаря вкладу автотранспорта этот уровень возрастает вдвое.

Измерения качества воздуха проводит Комплексная лаборатория по мониторингу загрязнения окружающей среды (КЛМС) на трех стационарных постах наблюдения (ПНЗ). Условно названные «городскими фоновыми» посты расположены в жилых районах квартала АБ (ПНЗ № 2) и поселка котельщиков (ПНЗ № 11), а «транспортным» – ПНЗ № 5 в пер. Коммунарский. Измеряются концентрации диоксида серы, оксида и диоксида азота, пыли, оксида углерода, 3,4-бензапирена и ряда специфических для Бийска примесей в воздухе: сажи, формальдегида, хлористого водорода, растворимых сульфатов. Кроме регулярных наблюдений на ПНЗ проводятся также эпизодические наблюдения под факелами промышленных предприятий и по жалобам жителей города. В этих случаях спектр наблюдений расширяется за счет наблюдений за концентрациями в воздухе еще азотной кислоты и хлора.

Согласно данным «Ежегодника состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах и промышленных центрах...» [1], веществами, определяющими высокий уровень загрязнения атмосферы города являются бенз(а)пирен, диоксид азота, взвешенные вещества (пыль), формальдегид, оксид углерода.

Пыль – это вид аэрозоля, дисперсная система, состоящая из мелких твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в газовой среде. Отдельные час-

тицы или их скопления, от ультрамикроскопических до видимых невооруженным глазом, могут иметь любую форму и состав.

Основными источниками загрязнения атмосферы г. Бийска являются предприятия топливной энергетики (ТЭЦ-1, тепловые сети, отопительные котельные), машиностроения и металлообработки, лесной, деревообрабатывающей, химической и пищевой промышленности и автотранспорт. Промышленные предприятия рассредоточены по всей территории города. Основные предприятия химической промышленности и ТЭЦ-1 находятся в юго-западной части города, что при преобладающих юго-западных ветрах неблагоприятно сказывается на экологической обстановке в жилых районах.

Среднегодовая многолетняя концентрация взвешенных веществ (пыли) составляет  $0,17 \text{ мг/м}^3$ , что чуть выше ПДК [2]. Предельно допустимая среднесуточная концентрация пыли  $0,15 \text{ мг/м}^3$  (рис. 1).

Анализ концентраций взвешенных веществ за весь период показывает, что среднегодовые уровни загрязнения превышали ПДК в среднем в 1,2–2,7 раза до 2000 г. Наибольшее превышение среднегодовой нормы было зарегистрировано в 1985 г. и составило  $0,4 \text{ мг/м}^3$  (2,7 ПДК).

В 1985–1988 гг. зарегистрированы максимумы концентраций пыли за 1985–2009 гг. С 1989 г. отмечено снижение уровня загрязнения воздуха. В 1992–1993 гг. наблюдалось небольшое увеличение уровня загрязнения воздуха пылью, но начиная с 1995 г., в целом, происходит снижение концентраций взвешенных веществ. В 1993 г. самое высокое содержание пыли 8,6 ПДК зарегистрировано в мае в Приобском районе и 27 ПДК в октябре при выездных эпизодических наблюдениях КЛМС г. Бийск по жалобе жителей этого же района на расстоянии 1 км от ТЭЦ-1. Источник загрязнения – золоотвал ТЭЦ-1.

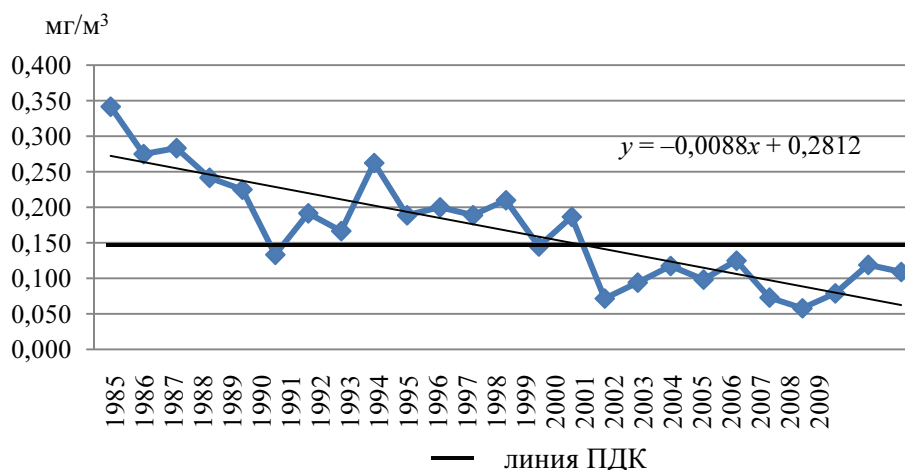


Рис. 1. Динамика среднегодовых концентраций пыли

Небольшие увеличения содержания пыли в атмосферном воздухе города наблюдались в 1995, 1997, 1999 гг. В 1995 г. максимум пыли зарегистрирован в октябре при усилении ветра до 20 м/с и составил 16,8 ПДК. В целом по городу зарегистрировано 4 случая выше 5 ПДК пыли. В 1997 и 1999 гг. максимум зарегистрирован также при усилении ветра в апреле и составил 8,4 ПДК (1997 г.) и в мае и составил 11,4 ПДК.

В 2000 г. впервые зарегистрировано среднегодовое содержание пыли в воздухе Бийска в целом по городу и на постах ниже ПДК, что сохранилось до 2009 г. С 2000 г. наблюдались лишь небольшие превышения ПДК в теплый период года при усилении ветра.

Динамика среднемесячных многолетних концентраций показывает, что наибольшие значения концентраций пыли характерны для теплого периода года (с апреля по октябрь) (рис. 2). При этом наибольшие превышения предельно допустимой концентрации зафиксированы в переходные периоды года – в апреле – мае и октябре. Причиной данного превышения послужило периодическое усиление ветра. Уменьшение концентрации пыли с июня по сентябрь, в сравнении с содержанием пыли в воздухе в апреле-мае и октябре, возможно так же связано с поливом улиц. Основное содержание пыли в атмосферном воздухе города составляет почвенная пыль, поэтому с ноября по март отмечены наименьшие концентрации данного ингредиента, чем в теплый период года (с апреля по октябрь).

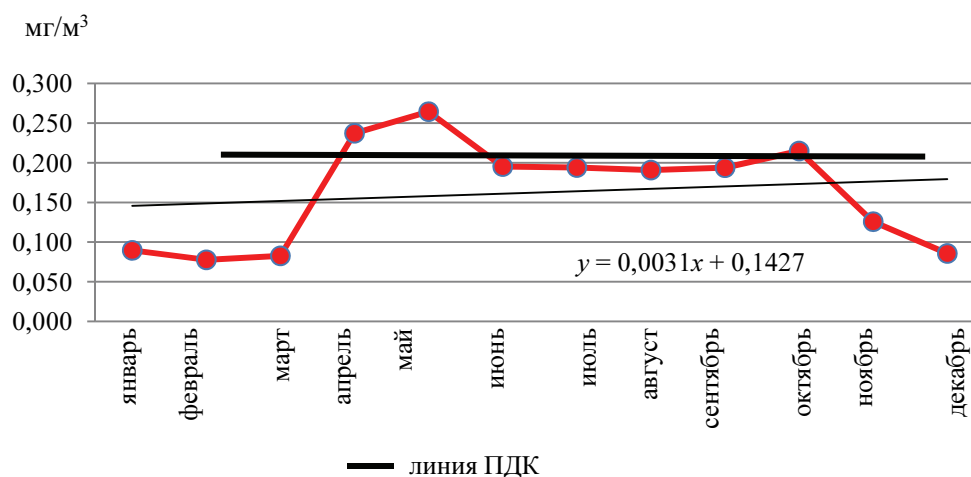


Рис. 2. Динамика среднемесячных многолетних концентраций пыли

Автором анализировался многолетний среднемесячный тренд содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе города (см. табл.).

#### Многолетний среднемесячный коэффициент наклона

Месяц	I	II	III	IV	V	VI
$K_x$	-0,009	-0,007	-0,008	-0,007	-0,010	-0,011
Месяц	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$K_x$	-0,010	-0,009	-0,007	-0,012	-0,007	-0,007

Из данных таблицы следует, что с января по декабрь с 1985 г. происходит постоянное уменьшение концентраций пыли. Наибольший коэффициент наклона отмечен в мае, июне, июле и октябре.

Произведен автором корреляционный анализ зависимости концентрации пыли в воздухе и количества дней с осадками ( $\geq 0,5$  мм), скорости ветра. При увеличении средней скорости ветра, а также количества дней с осадками, уменьшается содержание пыли в атмосферном воздухе города.

Взвешенные вещества (пыль) оказывает неблагоприятное воздействие на организм. Действие пыли на кожный покров сводится в основном к механическому раздражению. Вследствие такого раздражения возникает небольшой зуд, неприятное ощущение, а при расчесах может появиться покраснение и некоторая припухлость кожного покрова.

Пылинки могут проникать в поры потовых и сальных желез, закупоривая их и, тем самым, затрудняя их функции. Это приводит к сухости кожного покрова, иногда появляются трещины, сыпи.

При попадании пыли на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей ее раздражающее действие проявляется наиболее ярко. Слизистые оболочки по сравнению с кожным покровом более тонки и нежны, их раздражают все виды пыли.

Пыль, попавшая в глаза, вызывает воспалительный процесс их слизистых оболочек – конъюнктивит, который выражается в покраснении, слезотечении, иногда припухлости и нагноении.

На органы пищеварения могут оказывать действие лишь некоторые токсические пыли, которые, попав туда даже в относительно небольшом количестве, всасываются и вызывают интоксикацию (отравление).

Действие пыли на верхние дыхательные пути сводится к их раздражению, а при длительном воздействии – к воспалению. В начальных стадиях оно проявляется в виде першения в горле, кашля, отхаркивания грязной мокротой. Затем появляется сухость слизистых, сокращение отделения мокроты, сухой кашель, хрипота; в некоторых случаях при воздействии пыли химических веществ могут появиться изъязвления слизистой оболочки носа.

*Научный руководитель: доктор геогр. наук, проф. В. В. Севастьянов.*

#### **Литература**

1. *Ежегодник* состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах и промышленных центрах, расположенных на территории деятельности Западносибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1985–2009 годы. Новосибирск, 1986–2010.

2. *Руководящий документ*. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Москва : Гос. Комитет СССР по гидрометеорологии; Министерство здравоохранения СССР, 1991. 693 с.

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В ДНИ С ГРАДОМ**

О. И. Золотухина, \*Д. А. Константинова  
*Томский государственный университет*  
*\*Институт физики высоких технологий, ТПУ*

Конвекция образуется в результате перегрева отдельных участков поверхности Земли и воздуха над ней, а степень ее развития целиком определяется радиационными и теплофизическими свойствами атмосферы. Для прогноза конвективных явлений привлекаются статистические связи между характеристиками

состояния атмосферы и повторяемостью указанных явлений, такие связи строятся на базах региональных данных и отражают характерные особенности данного географического района. В результате развития конвекции образуются мощные конвективные облака, оказывающие существенное влияние на радиационный режим атмосферы и на образование таких опасных явлений погоды, как гроза, град и шквал.

Опасные явления – это основной метеорологический источник природно-техногенных бедствий и катастроф. Актуальность решения этой задачи подтверждают фактические данные об ущербе, причиняемом отраслям экономики конвективными опасными явлениями, ущерб от которых исчисляется многими миллиардами и влечет за собой человеческие жертвы [1, 2]. В настоящее время в Европе и Америке для прогноза опасных явлений, связанных с конвекцией, широко применяются индексы неустойчивости атмосферы [3], рассчитанные на основе данных радиозондирования и позволяющие определить соответствие количественных значений индексов той или иной степени развития конвекции.

Целью настоящей работы является анализ значений индексов неустойчивости атмосферы в дни с градом и без града. Так же оценивалась возможность их использования для составления альтернативных прогнозов развития града над юго-восточной территорией Западной Сибири.

Материалом для исследований послужили данные радиозондирования атмосферы аэрологических станций Новосибирск и Колпашево в сроки 00 и 12 часов ВСВ (всемирное скоординированное время) с июня по август за период 2006–2010 гг. [4] в дни с наличием града на территории Западной Сибири и в дни с его отсутствием. Поскольку зондирование производилось два раза в сутки в 00 и 12 часов ВСВ, состояние атмосферы анализировалось за эти же сроки. Для определения времени начала града были использованы данные 58 метеорологических станций Томской, Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края. Для получения статистических характеристик значений индексов конвекции использовался пакет стандартных программ Excel, для построения графиков использовался пакет стандартных программ Statistica.

Для каждого дня с градом проанализированы и построены графики следующих характеристик состояния атмосферы [5, 6]:

– индекс LIFT оценивает степень стабильности атмосферы:

$$\text{LIFT} = T_{500} - T_p, \quad (1),$$

где  $T_{500}$  – температура на уровне 500 гПа, °C;  $T_p$  – температура частицы на уровне 500 гПа, поднимающейся с уровня 500 м над земной поверхностью при среднем давлении, температуре и точке росы, °C;

– индекс CAPE, рассчитывается по разности потенциальной температуры поднимающегося объема воздуха и окружающего воздуха с учетом ускорения свободного падения:

$$\text{CAPE} = g \cdot \int_{\text{LFT}}^{\text{EQLV}} \frac{T_p - T_e}{T_e} \cdot dz, \quad (2),$$

где  $T_p$  – температура частицы, поднимающейся по сухой адиабате с уровня 500 м над земной поверхностью до уровня конденсации, выше уровня конденсации подъем по влажной адиабате, °C;  $T_e$  – температура окружающей среды, °C.

Индекс TOTL (Total Totals index) оценивает как статическую стабильность, так и влажность на уровне 850 гПа:

$$\text{TOTL} = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{500}), \quad (3),$$

где  $T_{850}$  и  $TD_{850}$  – значение температуры окружающей среды и температуры точки росы на уровне 850 гПа, °C.

Средние значения индексов различается от месяца к месяцу [7]. В дни с градом средние и максимальные значения индексов LIFT, CAPE и TOTL в июле, существенно превышают значения индексов в июне и августе. В дни с градом значения индекса TOTL по югу территории в июле составляет 57, а в июне и августе по северу – 54 и 53 соответственно. Таким образом, сезонный ход значения индексов, повторяет сезонный ход значения температуры (см. табл.).

**Статистические характеристики значений индексов, описывающих состояние атмосферы в срок 12:00 ВСВ**

Пункт зондирования	Индекс		Град			Без града		
			июнь	июль	август	июнь	июль	август
Колпашево	LIFT	среднее	1,5	0,6	2	10	7,5	6,5
		min	–2,3	–5,5	0,3	–3,3	–5,6	–0,4
	CAPE	среднее	112	366	32	51	53	50
		max	501	1600	67	382	408	379
	TOTL	среднее	50	45	45	42	40	41
		max	53	53	48	50	55	49
Новосибирск	LIFT	среднее	–1,0	–1,5	–1,4	1,0	–0,8	0,5
		min	–5,7	–6,0	–3	–5,8	–4,9	–2,4
	CAPE	среднее	506	543	33	55	53	50
		max	1970	1930	782	416	526	274
	TOTL	среднее	47	49	51	45	47	48
		max	54	57	53	55	53	53

Пространственное распределение термодинамических характеристик состояния атмосферы имеет существенные различия. В дни с градом значения индекса CAPE по югу территории составляют – 1930, а по северу – 1600. Значения индекса LIFT по югу территории составляют –6,0, а по северу –5,5 (см. табл.). Следовательно, конвективный потенциал атмосферы в дни с градом на станции Новосибирск, превышает значения конвективного потенциала станции Колпашево.

Для всех рассмотренных термодинамических характеристик атмосферы LIFT, CAPE и TOTL был проведен статистический анализ, однако области стандартных отклонений в дни с градом и без града не пересекаются только для индекса LIFT (рис. 1), следовательно, эта характеристика является перспективной для создания альтернативных прогнозов града над исследуемой территорией.

В работе анализировалось термодинамическое состояние атмосферы над юго-востоком Западной Сибири в дни с градом и без града. В ходе проделанной работы, было получено:

1. Термодинамические характеристики состояния атмосферы южной и северной частей исследуемой территории имеют существенные различия, конвективный потенциал атмосферы в дни с градом на станции Новосибирск, превышает значения конвективного потенциала станции Колпашево, что необходимо учитывать при разработке альтернативных прогнозов опасных явлений погоды, обусловленных развитием конвекции, в частности града.

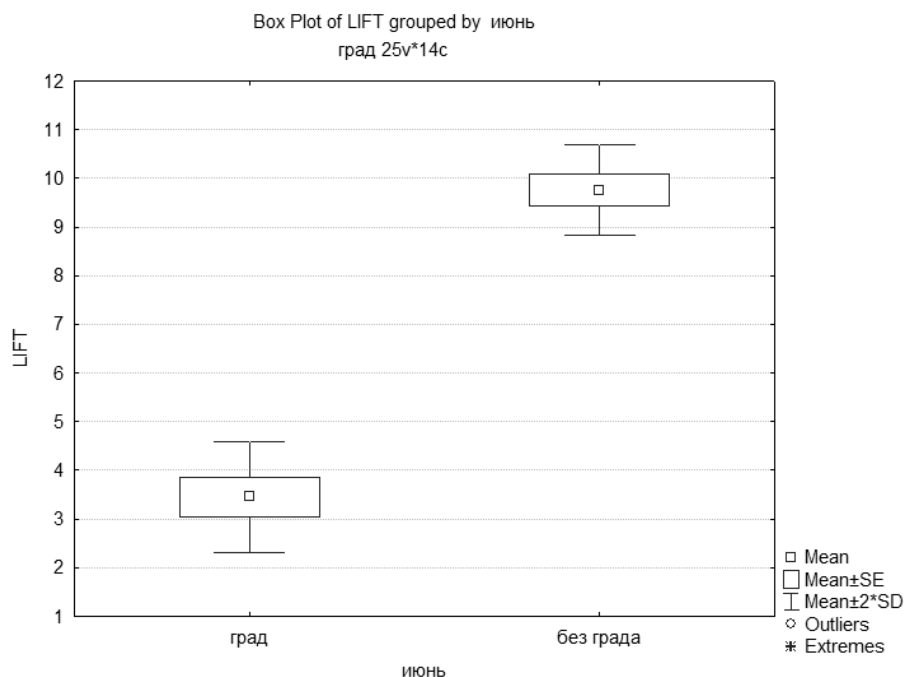


Рис. 1. Статистические характеристики индекса LIFT по данным станции Колпашево в срок 12 часов ВСВ

2. Из ряда рассмотренных термодинамических характеристик атмосферы LIFT, CAPE и TOTL, индекс LIFT единственный, у которого области стандартных отклонений не пересекаются в дни с градом и без града (рис. 1), поэтому он может быть использован для альтернативного прогноза града над исследуемой территорией.

*Научный руководитель: доктор геогр. наук, профессор В. П. Горбатенко.*

### Литература

1. Матвеев, Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л. Т. Матвеев. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
2. Бедрицкий, А. И., Кориунов, А. А., Кориунова, Н. Н. и др. Опасные гидрометеорологические явления, вызываемые ветром, и их влияние на экономику России / А. И. Бедрицкий, А. А. Коршунов, Н. Н. Коршунова, В. И. Ламанов, М. З. Шаймарданов // Метеорология и гидрология. 2001. № 9. С. 5–16.
3. Kunz, M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms / M. Kunz // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2007. 7. P. 327–342.
4. URL: <http://www.weather.uwyo.edu>
5. Andersson, T. Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden / T. Andersson // Meteorol. Mag. 1989. 116. P. 141–146.
6. Johns, R. H., Doswell, C. A. Severe local storms forecasting / R. H. Johns, C. A. Doswell // Weath. Forecasting. 1992. 11. P. 558–612.



## **ЭКОЛОГО-ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ЭКСКУРСИЯ ВЫХОДНОГО ДНЯ «ТОМСК – ГОРОД РОДНИКОВ»**

М. В. Карнаева

*Томский государственный педагогический университет*

По обилию родников Томск – уникальный город, на его территории находятся сотни больших и маленьких источников [1]. Это обусловлено геологическими особенностями Томь-Яйского междуречья, в котором располагаются огромные месторождения подземных вод. Проблема антропогенного воздействия на природные воды в городской черте сохраняет актуальность на протяжении нескольких десятилетий. На территории г. Томска насчитывается большое количество родников, используемых местными жителями в качестве источников водоснабжения, в то же время все они терпят различного рода антропогенную нагрузку.

Эколого-познавательная экскурсия выходного дня «Томск – город родников» предлагается в качестве маршрута экологического туризма в черте города. Она рассчитана на посещение объектов особой охраны и объектов вне их границ. Форма организации маршрута – пеший поход с частичным передвижением на автотранспорте. Экскурсия рассчитана на школьников 7–11 классов, рекомендуемое количество участников – 8–10 человек. Продолжительность маршрута составляет 3–3,5 часа, в течение которых будет пройдено 4 км, из них на автомобильном транспорте – 2,4 км.

Данная экскурсия соответствует основным принципам разработки экологических маршрутов, которые основаны на выявлении экологических проблем территорий города, побуждении к предотвращению негативного воздействия на природные объекты, а также содействию участников охране природы [3]. Привлекательность и доступность маршрута отражена в содержании (тексте) экскурсии в соответствии с целевой аудиторией участников. Принципы функциональности и многоаспектности предполагают использование данной экскурсии в разное время года, вне зависимости от вариативности погодно-климатических условий, а также не требуют от школьников конкретного уровня физической подготовленности.

С точки зрения Концепции устойчивого развития, разработанный маршрут отвечает требованиям экономической, социальной и экологической составляющих. Сохранение природных объектов в черте городов должно стать одной из важнейших тенденций современного градостроительства, что позволит сохранить целостность биологических и физических природных систем, а также передать её будущим поколениям.

Цель экскурсии – это ознакомление с охраняемыми природными объектами, находящимися в черте города Томска, а также с последствиями, вызванными антропогенным воздействием. Задачи экскурсии: стимулирование интереса к познанию экологических проблем г. Томска; воспитание бережного отношения

к природе на конкретных объектах; ознакомление с проблемой сохранения уникальных объектов природы города. Объектами показа являются памятник природы местного значения «Белое озеро»; памятник природы местного значения «Дальний ключ» (пер. Тихий); родник «Божья Роса» (пер. Н. Островского).

**1. Памятник природы «Белое озеро».** Белое озеро – это озеро в историческом центре города на Воскресенской горе, которое является памятником природы местного значения и излюбленным местом отдыха горожан. Ранее озеро находилось в естественном понижении рельефа, дно и берега его были песчаными [4]. Наполнялось оно за счёт напорного или безнапорного выхода радоновых родников на поверхность. В настоящее время Белое озеро – искусственно созданный пруд округлой формы, дно его забетонировано, а берега отсыпаны привозной галькой. Глубина озера составляет 3,5–4 м.

Белое озеро – объект, испытавший, вероятно, самое сильное антропогенное воздействие, которое можно проследить с развитием истории самого Томска, начиная с начала XVII в. (1604 г.). Можно сказать, что вместе со строительством города озеро «прошло путь» от природного родникового озера до пруда, созданного руками человека. 100–150 лет назад озеро находилось на самой окраине Томска: на выезде из губернского центра по почтовой Иркутской дороге, здесь же располагались кладбище и пересыльная тюрьма. Вместе со строительством города менялось и озеро: сначала его использовали для хозяйственно-бытовых нужд жители окрестностей, затем его облагородили, и Белое озеро стало местом отдыха горожан. Про озеро то забывали, то вновь вспоминали.

В 1970-х гг. водоём вновь пытались восстановить [5]. Воду из озера выкачали, очистили от грязи и промышленно-бытовых отходов. Родники на время работ забетонировали, но, когда пришло время их открыть, вода уже не пошла. В оформленную чашу озера воду пришлось закачивать, что и делается до сих пор. Так природное родниковое озеро в настоящее время фактически превратилось в пруд. Природная среда озера, а вместе с ней и его биота, были полностью нарушены человеком. Тем не менее, Белое озеро по-прежнему остается любимым местом отдыха горожан. Сюда приходят, чтобы покататься на катамаранах, посидеть в сезонном кафе под зонтиком на берегу, прокатиться на лошадях или просто погулять.

**2. Памятник природы «Дальний ключ».** Родник «Дальний ключ» находится в пер. Тихом, рядом с домом № 54, в основании склона Каштачной горы. До настоящего времени он сохранил своё историческое название, а также дал название и улице Дальне-Ключевской. Уже несколько сотен лет этот ключ служит источником воды для жителей со всей округи. В 1702 г. ключ был освящён, над ним установили крест и молитвенный храм [1]. Несмотря на то, что в 1975 г. родник был объявлен памятником природы Томской области, в настоящее время он находится в плачевном состоянии: прилегающая территория не обустроена и захламлена бытовыми отходами. Обустройство родника требует обновления каптажа, т.е. сооружения по перехвату и сбору подземных вод в местах их выхода на поверхность. Сейчас ключ каптирован стальной трубой прямо из-под проезжей части улицы, сбор воды ведётся открытым сбросом по придорожной канаве.

Анализ проб воды, проведённые в 2009 г., показали, что экологическая ситуация ключа неблагоприятная [5]. Содержание нитратов и хлорид-карбонатов

превышает ПДК в 1,3 раза. Кроме того, вода не отвечает санитарным нормам по наличию мезофильной сапрофитовой микрофлоры, источником которой является разложение органических веществ растительного и животного происхождения. Также в родниковой воде повышено содержание углекислоты [2]. Все эти показатели свидетельствуют о загрязнении воды родника органическими бытовыми отходами. Фенолы, ядохимикаты и гельминты в воде не были зафиксированы, а обнаруженные тяжёлые металлы не превысили ПДК. По химическому составу и микробиологическим показателям вода родника не соответствует нормам, определенным для питьевой воды, а также она не пригодна для хозяйственно-бытовых нужд. Тем не менее, у родниковой воды здесь по сей день сильный напор, и местные жители берут из него воду.

**3. Родник «Божья роса».** Под Каштачной горой есть еще один ключ – «Божья роса» в пер. Н. Островского, в районе дома № 25а. В начале XX в. родник был каптирован деревянным бассейном, водостоком и имел ограждение [5]. Рядом стояла часовня. Местные жители именовали это место словом «Бассейка». Источником пользовались для бытовых нужд и для тушения пожаров. В начале 1990-х гг. владельцы усадьбы, забор которой примыкал к роднику, засыпали его, но, тем не менее, источник выжил. Несколько лет спустя произошёл разрыв трубы подземной канализации. Ремонт труб был произведён, но в воду продолжали поступать загрязняющие вещества [1]. Городская санэпидстанция, куда обратились жители, определила наличие в родниковой воде многократное увеличение недопустимых бактериологических примесей.

Сейчас родник «Божья роса» представляет собой обустроенный источник, каптированный бетонным колодцем и выводной трубой. В 2004 г. на месте разрушенной часовни возвели новую, колодец родника обнесли забором и соорудили беседку. Качество воды, определённое в 2009 г., не отвечало требованиям ГОСТа, и она была признана непригодной для употребления [2]. Содержание в воде нитратов превышало ПДК в 1,2 раза, а повышенные значения бактериологической мезофильной флоры свидетельствовали об антропогенном загрязнении родниковой воды сточными водами и продуктами бытовых свалок окрестностей. Нефтепродукты, фенолы и гельминты в воде не были обнаружены, а содержание тяжёлых металлов не превышало норм ПДК.

Как и многим предшествующим поколениям, жителям переулка Островского и сейчас приходится пользоваться водой из родника. Они стараются поддерживать порядок на прилегающей территории и хотят восстановить прежний облик источника.

Помимо описанных источников, в Томске можно посетить и другие родники, имеющие особое экологическое и историческое значение, например: «Святой ключ» (пер. Зырянский); «Добролюбовский источник» (пер. Добролюбовский); родник «Свято-Троицкий» на западном холме у одноименной церкви; «Воскресенский ключ» (ул. Обруб); «Монастырский источник» на территории Богородице-Алексеевского мужского монастыря [1]. Однако экологическое состояние всех этих ключей будет неблагоприятным.

Экологически благополучными по микробиологическим показателям признаны лишь родники южной, наименее освоенной части города: юго-восточная часть микрорайона Степановка – родник Весенний, микрорайон Академгородок – родник Академический. Вода этих источников была признана доброкачественной

и пригодной для питья, но и здесь присутствуют следы начального этапа загрязнения, связанного с антропогенным воздействием.

Родники города – это уникальный дар природы, который мы обязаны сохранить. Они создают особую энергоинформационную структуру города, поддерживают на протяжении веков его ауру. Возрождение ключей поможет изменить и очистить сознание томичей, оздоровить их. Снижение антропогенной нагрузки, восстановление природной гармонии, т.е. благоприятной среды обитания, должно стать одной из важнейших тенденций современного градостроительства.

*Научный руководитель: канд. геол.-мин. наук, доцент Е. Е. Пугачёва.*

### **Литература**

1. Вертман, Е. Г., Воронин, И. К. Изучение гидродинамического и гидрогеохимического режима родников г. Томска / Е. Г. Вертман, И. К. Воронин. Томск : ИНПЦ «Том-Аналитика», 2006. 201 с.
2. Девятерикова, Т. А. Оценка экологического состояния родников г. Томска по гидрогеохимическим данным / Т. А. Девятерикова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных им. акад. М. А. Усова. Томск : Изд-во ТПУ, 2009. С. 230–232.
3. Колбовский, Е. Ю. Экологический туризм и экология туризма / Е. Ю. Колбовский. М. : Академия, 2006. 256 с.
4. Пронина, М. В. Старое «новое» Белое озеро / М. В. Пронина // Томск. Реки, озёра, ключи. Дайджест. 2004. С. 7–10.
5. Солдатова, Е. А. Родники города Томска / Е. А. Солдатова // Известия ТПУ. 2009. № 8. С. 13–18.

## **ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КОМФОРТНОСТИ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)**

А. В. Касицкая

*Томский государственный педагогический университет*

Экономика, быт людей, специализация любого государства, в том числе и России во многом связана с природно-климатическими особенностями территории [1]. Проживание человека в неблагоприятных климатических условиях, сочетающихся с тяжелой антропогенной нагрузкой на экологические системы в промышленных регионах, приводит к более интенсивному использованию и быстрому истощению резервов организма человека и, таким образом, к ускоренному расходованию «человеческого капитала». Это проявляется в ускоренном развитии экологически обусловленных патологий, осложненном течении хронических заболеваний, преждевременном старении населения. Особенно актуальна эта проблема для северных территорий России, где наблюдается сокращение продолжительности жизни. В связи с этим имеется насущная потребность в оценке степени благоприятности климата именно в территориальном аспекте с точки зрения комфортности климата [2].

Под *комфортностью климата* подразумевается совокупность климатических параметров и показателей, при которых человек, проживающий на данной территории, ведет жизнедеятельность без ущерба для здоровья [3]. Комфортность

климата во многом зависит от социально-бытовой обустроенности – совокупности бытовых и социальных условий (водоснабжение, канализация, отопление, состояние жилья, обеспеченность продуктами различных категорий, комплектами одежды по сезонам года и др.), в которых находится человек и которые соответствуют данной местности и климату [4]. Не только в разных странах, но и в различных регионах России, в зависимости от природно-климатических условий, уровень социально-бытовой обустроенности различается в несколько раз.

Оценкой комфорта климата и классификацией показателей ученые занимаются уже давно. Еще в 1972 г. О.Р. Назаревский предложил свою оценку степени благоприятности природных условий по 30 показателям в пятибалльной шкале [5]. Среди показателей большинство климатических: температура летом и зимой, влажность, осадки и их режим, продолжительность чрезмерно жаркого (со среднесуточной температурой более 20 °С) и чрезмерно холодного (ниже – 20 °С) периодов, продолжительность безморозного, отопительного, пасмурного периодов, сила ветра, солнечная радиация и т.д. Кроме того, были учтены сейсмичность, заболоченность, наличие и степень обилия кровососущих насекомых и т.д. Согласно О.Р. Назаревскому вся территория России по степени благоприятности природных условий для проживания человека подразделяется на пять ареалов: весьма благоприятные, благоприятные, среднеблагоприятные, малоблагоприятные, неблагоприятные.

Так, например, максимальный уровень комфорта климата в России по Назаревскому наблюдается в районе Черноморского побережья Кавказа (более 3,7 баллов), минимальный – побережье Северного Ледовитого океана (1,8–1,9 баллов).

Во II половине 1980-х гг. были продолжены исследования по укрупненному районированию территории России по природным и социально-экономическим условиям жизни населения под руководством А.Н. Кренке [6]. Коллектив авторов на основании карт районирования по условиям жизни населения на территории России выделили семь зон: абсолютно дискомфортная, экстремально дискомфортная, дискомфортная по теплообеспеченности, относительно дискомфортная, условно (относительно) комфортная, комфортная и дискомфортная (по водообеспеченности). Итогом работы стала карта «Оценка природных условий жизни населения СССР» в масштабе 1:8 000 000.

В 1989 г. Б.Б. Прохоровым было предложено определять степень комфорта территории на основе анализа 28 параметров среды обитания человека: продолжительность периодов с различными температурами воздуха, континентальность климата, сумма дней отопительного сезона и т.д. [7]. Ведущую роль в комфорте территории естественно отводилась климату. Оценивалась степень комфорта по пятибалльной шкале. Согласно этой шкале, все исследуемые регионы делятся на комфортные (наиболее благоприятные для жизнедеятельности людей для любых районов России), прекомфортные (благоприятные), гипокомфортные (пригодные для нормальной жизнедеятельности при осуществлении ряда технических, социально-экономических и медико-санитарных мероприятий), дискомфортные (малопригодные для постоянного проживания и трудовой деятельности людей без создания специальных очень дорогостоящих систем жизнеобеспечения населения) и экстремальные (непригодные даже при создании специализированных систем жизнеобеспечения).

В. И. Федотов, К. С. Затулей, Ю. А. Нестеров (2001) в рамках проекта «Фундаментальные исследования» предложили свою оценку комфортности природно-климатических условий [8]. В отличие от своих предшественников они значительно расширили набор элементов комфортности природных условий и изменили шкалу баллов оценки. Одним из главных условий в подборе показателей комфортности среды были сравнимость и надежность наблюдений. В оценке было предложено использовать 34 показателя, которые были сгруппированы по двум категориям: внеклиматические – 12 показателей и климатические – 22 показателя по пятибалльной шкале. При этом был учтен такой специфический природный фактор, как степень эстетической привлекательности ландшафта.

В современных условиях, с учетом достижений в строительной индустрии, проблема комфортности природно-климатических условий для жизни населения – это в значительной степени проблема экономическая [9]. Технические средства – дома, приспособленные к суровым природным условиям, снабжение высококачественной водой для хозяйственно-питьевых целей, транспортные магистрали и специальные средства передвижения в районах бывших ранее «зонами транспортной недоступности», особые виды одежды, снабжение полноценным питанием, современные средства связи, высококласное медицинское оборудование в лечебно-профилактических учреждениях и т.д. – позволяют организовать для населения вполне комфортные условия проживания. Но совершенно очевидно, что чем менее комфортны (менее пригодны для нормальной жизнедеятельности людей) климатические условия, тем больших затрат на строительство и содержание в социально-бытовую инфраструктуру они требуют. По расчетам экономистов стоимость обустройства человека в комфортном и экстремальном районе России различается в 10–12 раз.

В данной работе выделены, собраны и проанализированы показатели комфортности климата, которые наиболее типичны для Томской области и являются определяющими в развитии региона и жизнедеятельности людей.

На основе интегрирования разных показателей с помощью метода балльных оценок были составлены сводные таблицы по уровню комфортности климата для административных районов Томской области [10, 11]. Комфортность территории Томской области проанализирована по климатическим показателям: сумма активных температур за период со среднесуточной температурой более +10 °С, продолжительность безморозного периода, ультрафиолетовая недостаточность в днях, повторяемость благоприятных погод, количество осадков, число дней в году с неблагоприятными погодными явлениями. Показатели представлены по каждому району области и переведены в баллы по трехбалльной шкале, где 3 балла соответствуют среднеблагоприятным условиям проживания, 2 – малоблагоприятным, 1 – неблагоприятным.

Для более полной картины, помимо климатических, проанализированы социальные показатели и показатели бытовой обустроенности: продолжительность отопительного периода, доля жилой площади оборудованной горячим водоснабжением, дополнительные затраты на строительство, доля жилой площади оборудованной отоплением, младенческая смертность, естественный прирост, численность населения, соотношение мужчин и женщин, количество пенсионеров [12]. Затем каждый показатель был переведен в балл согласно шкалированию, в результате подсчитан средний балл для каждого района, характеризующий уровень

социальной и бытовой обустроенности. В итоге по показателям климатической напряженности и уровню социально-бытовой обустроенности был выявлен общий средний балл комфортности.

На заключительном этапе, используя данные сводных таблиц, были построены карты, где наглядно продемонстрирована комфортность территории Томской области по климатическим и социально-экономическим показателям для каждого района.

Проведенный анализ позволил охарактеризовать область как территорию с высоким уровнем дискомфорта и дать пространственные оценки степени комфортности. Так, наиболее благоприятными для проживания людей, ведения хозяйства и развития экономики на территории Томской области являются: Томский (40 баллов), Шегарский (38), Кожевниковский районы (36). Здесь ограничивающими комфортность климатическими факторами являются дефицит осадков в различные периоды вегетации и интенсивность снеготаяния, вызывающая подтопление хозяйственных объектов талыми водами.

Менее благоприятными по результатам анализа явились Каргасокский, Верхнекетский, Зырянский, Колпашевский, Бакчарский, Тегульдетский, Кривошеинский, Первомайский, Чаинский и Асиновский районы, которые набрали от 26 до 34 баллов. В этих районах отсутствие резких колебаний температур в вегетационный период и невысокая частота сильных ветров сглаживают общие неблагоприятные для жизнедеятельности населения природно-климатические условия.

Минимальное количество баллов набрали Александровский (21 балл), Парабельский (24), Молчановский (25) районы, где сложные климатические условия, в особенности низкие продолжительные зимние температуры, наложились на низкую степень социально-бытовой обустроенности.

Таким образом, полученные данные показывают необходимость проведения районирования, особенно северных и приравненных к ним регионов, в первую очередь, на основании оценки степени воздействия климатических факторов среды. Но в дальнейшем для более полной картины качества жизни населения необходимо добавить ряд экологических показателей, которые помогут отразить дополнительную сторону условий жизнедеятельности населения.

*Научный руководитель: канд. геогр. наук, доцент Е. С. Волкова.*

#### **Литература**

1. Дятлов, С.А. Теория человеческого капитала : учеб. пособие / С.А. Дятлов. СПб., 1996. 38 с.
2. Обучение для будущего: комфортность природных условий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rcio.pnzgu.ru/personal/101/1/5/favorite.html>
3. Биология: комфортность климата и бытовая обустроенность жизни [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://biologi.krs.karelia.ru/misc/rus/wacb.html>
4. Хаснулин, В.И., Собакин, А.К., Хаснулин, П.В., Бойко, Е.Р. Подходы к районированию территории России по условиям дискомфорта окружающей среды для жизнедеятельности населения / В.И. Хаснулин, А.К. Собакин, П.В. Хаснулин, Е.Р. Бойко. Новосибирск : ГУ Научный центр, 2006. 131 с.
5. Лопатина, Е.Б., Назаревский, О.Р. Оценка природных условий жизни населения / Е. Б. Лопатина, О. Р. Назаревский. М. : Наука, 1972. 156 с.
6. Геоэкологическое картографирование : учеб. пособие для студ. вузов / под ред. Б.И. Кочурова. М. : Изд. центр «Академия», 2009. 192 с.

7. Прохоров, Б. Б. Экология человека: социально-демографические аспекты / Б. Б. Прохоров. М. : Наука, 1991. 112 с.
8. Федотов, В. И., Затулей, К. С., Нестеров, Ю. А. Региональные модели карт комфортности природной среды / В. И. Федотов, К. С. Затулей, Ю. А. Нестеров // Вестник ВГУ. Серия география и геоэкология. 2001. № 1. С. 3–7.
9. Казначеев, В. П., Поляков, Я. В. Выживание населения России / В. П. Казначеев, Я. В. Поляков // Проблемы «Сфинкса XXI века». 2008. № 3. С. 115–117.
10. Невидимова, О. Г., Мельник, М. А., Волкова, Е. С. Анализ природно-климатических опасностей на территории Томской области для оценки рисков природопользования / О. Г. Невидимова, М. А. Мельник, Е. С. Волкова // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 2. С. 71–77.
11. Погода и климат: климат Томска [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pogoda.ru.net/climate/29430.htm>
12. Районы Томской области (2001–2008) : статистический сборник / подготовлен при участии отделов Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Томской области; отв. за выпуск Л. М. Исаева. Томск: ОИРиТ Томскстата, 2009. 281 с.

## ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. Н. Кириллова, Т. В. Ершова

*Томский государственный педагогический университет*

Урбанизация городов и постоянно возрастающая хозяйственная деятельность человека создают одну из острейших проблем современности – проблему отходов производства и потребления. Если первоначально ее решение виделось преимущественно в уничтожении отходов – захоронении, сжигании, то с усилением загрязнения окружающей среды на передний план вышли иные, экологически более приемлемые меры их устранения: сортировка и повторное использование (переработка) – рециклинг (recycling), так как они являются богатейшим источником вторичных ресурсов (в том числе черных, цветных, редких и рассеянных металлов).

В конце XX в. в условиях роста цен на сырье, важность защиты окружающей среды от загрязнения была дополнена необходимостью принятия неотложных мер, направленных на энерго- и ресурсосбережение. Именно с этого времени проблема рециклирования ресурсов (с перспективой создания систем замкнутого производственного цикла) стала актуальной во всем мире.

*Цель данного исследования:* проанализировать состояние переработки отходов на территории Томской области.

Материалом исследования послужили информация и данные из экологических сборников «Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области», выпускаемые Департаментом природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области за период с 2002 по 2009 г.

Согласно данным Департамента [5. С. 60], количество отходов на территории области постоянно возрастает, например, за 2004 г. было образовано 566 тыс. т отходов, а за 2009 г. их количество уже составило 641 тыс. т. Анализируя динамику образования отходов в Томской области, можно сделать вывод, что количество отходов потребления постепенно уменьшается, а количество отходов, образованных промышленностью заметно возрастает (рис. 1).



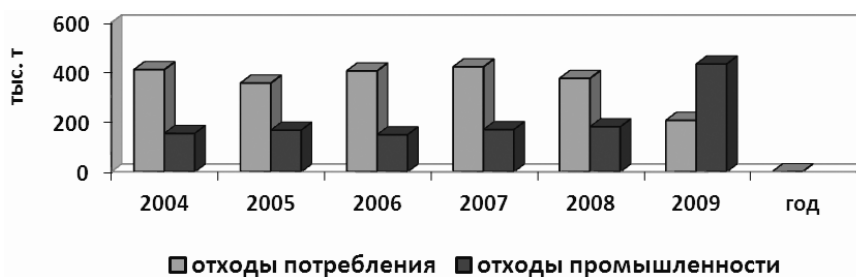


Рис. 1. Динамика объемов образования отходов в Томской области [5]

По данным [5. С. 60], из общего объема образованных отходов используется на предприятии 170,4 тыс. т (27%), передано сторонним организациям в качестве вторичных ресурсов 132 тыс. т (21%), временно хранится на территориях предприятий 19,6 тыс. т (3%), размещено на санкционированных объектах (свалках, полигонах) 319 тыс. т (49%).

Анализируя данные за 2002–2009 гг. [1, 2, 4, 5], отходов пластмассы и макулатуры было переработано всего 139,3 тыс. т, а поступило на свалки в составе твердых бытовых отходов (ТБО) – 302,5 тыс. т. Что касается отходов черных и цветных металлов, то за период с 2006 по 2009 г. было использовано – 12 тыс. т, временно хранится – 9,67 тыс. т, передано для дальнейшего использования – 223,6 тыс. т.

По данным 2009 г. [5. С. 63], в образование отходов на территории Томской области наибольший вклад внесли такие отрасли производства как добыча нефти и газа (12%), лесное хозяйство и деревообработка (11%), промышленность строительных материалов (9%), электроэнергетика (8%), а также жилищно-коммунальное хозяйство (33%).

В соответствии со стратегией социально-экономического развития Томской области на 2006–2010 гг. одним из приоритетных направлений является вовлечение вторичных ресурсов в товарооборот. В последние годы в Томской области появился ряд производств по переработке вторичного сырья – более пятидесяти зарегистрированных компаний, которые за год способны принять в качестве вторичных ресурсов более 120 тыс. т отходов. В 2007 г. реализованы проекты: переработки масел – ЗАО «Экопромсинтез»; производство резиновой крошки из автопокрышек и изготовление полимерного покрытия полиплан – ЗАО «Экологические системы»; переработка ртутьсодержащих ламп – ООО НПП «Экотом». В 2008 г. силами малого бизнеса реализован проект по переработке битумсодержащих отходов с использованием инфракрасного излучения [4. С. 60]. В настоящее время ЗАО «Экопромсинтез» получило лицензию и приступило к приему «отработки», перерабатывая ее в смазочный материал – литол 24-т. В 2008 г. запустили установку по производству резиновой крошки для изготовления полимерного покрытия полиплан из автопокрышек. Этот проект реализовало ЗАО «Экологические системы», которое в короткий срок уже изготовило детские спортплощадки не только в Томске, но и в Кемерово, Барнауле и Новосибирске.

Появилась конкуренция на рынке переработки ртутьсодержащих ламп. Помимо ОАО «Полигон» лицензию на данный вид деятельности получило ООО НПП «Экотом». Прием люминесцентных ламп у предприятий – услуга

платная (около 10 руб. за 1 шт.), население может сдать их бесплатно. ОАО «Полигон» ежегодно утилизирует сотни тысяч люминесцентных ламп. Установка ОАО «Полигон» для демеркуризации (обезвреживания) позволяет перерабатывать и компактные люминесцентные лампы для бытового использования, но население с такой просьбой практически не обращается [3. С. 17]. Установка в ООО НПП «Экотом» предназначена для переработки промышленных (длинных) люминесцентных ламп и не позволяет утилизировать энергосберегающие лампы, используемые в быту. Ежегодно «Экотом» утилизирует примерно 150 тыс. длинных люминесцентных ламп.

На территории Томской области наиболее развито вторичное использование отходов металлов, заключающееся в их скупке и перепродаже за пределы области: от объема, образующегося в области черного лома, – около 92 %, цветного – около 98%. В районах области действуют 34 приемных пунктов лома черных и цветных металлов. Основными пунктами, принимающими черные металлы, являются компании ОАО «Втормет», ООО «Вымпел – 98», ООО «Томская стальная компания». Приемом цветных металлов занимается множество других компаний, в том числе ООО «Томская стальная компания», ООО «Ситал», ООО «Сибирская металлопроизводственная компания», АПП «Концерн Сибвтормет».

Вторичные отходы пластмасс, макулатуры, стекла используются гораздо реже. Переработкой пластмасс занимаются ООО «Полиплен», ООО «Астрон», ООО «Юкон», ЗАО «Номос», использующее в качестве сырья отходы полистирола, полиэтилена, полипропилена. ЗАО «Номос» производит из полимеров волокнистые сорбенты для очистки воды и воздуха. ООО «Сиалт-Томск» занимается выпуском стройматериалов с использованием отходов пластмасс с размещением производства в Шегарском районе (позволяет перерабатывать до 150 т пластмассовой тары в год). Существует ряд мелких компаний, занимающихся скупкой пластмассовых отходов и перепродажей их за пределы области. Основной объем отходов пластмасс (около 74% от общего объема образованных отходов пластмасс) поступает в составе ТБО на свалки области. Скупка макулатуры производится компаниями ООО «Ресурс», ООО «Сибирская металлопроизводственная компания», АПП Концерн «Сибвтормет» в ограниченных количествах: около 1–2% от общего объема образованных отходов.

В г. Северске начало работу новое предприятие «Сибирские пластмассы». ООО «Сибирские пластмассы» – это цех по переработке полипропилена и изготовлению из него шпагата, веревки, фала причального и упаковочной ленты [2. С. 67]. Производственные мощности позволяют предприятию производить до 50 т продукции в месяц.

В декабре 2006 г. ООО «Джоуль» (ЗАО Северск) в рамках британо-российского партнерства «Атомные города» приобрело линию по переработке макулатуры в яичную упаковку, туалетную бумагу, гофрокартон мощностью 1 000 т/год.

В 2002 г. список наукоемких предприятий Томской области пополнился новым брендом – «SibEX». Стратегически компания ориентировалась на глубокую переработку древесной хвои. Производство размещено в с. Семилужки Томского района. Предприятие ежемесячно выпускает около тонны экстракта сибирской пихты в виде масляной фракции и 500 л в виде водной фракции. Эта продукция чрезвычайно востребована в фармацевтической, пищевой, парфюмерно-косметической промышленности, в сельском хозяйстве и здравоохранении.

В 2010 г. введен в эксплуатацию один из крупнейших и современных в России завод по производству плит МДФ (древесно-стружечные плиты средней плотности) мощностью 264 тыс. м<sup>3</sup> в год. Все древесные отходы производства (некондиционная щепа, обрезки кромок, отбракованное волокно) идут в дело, на выработку тепловой энергии в энергетической установке тепловой мощностью 93 МВт. Так же на территории Томской области расположены и другие предприятия, которые используют древесные отходы в производстве своей продукции, к ним можно отнести: производство березовой фанеры в г. Асино, мощностью 20 тыс. м<sup>3</sup> в год; «Томский фанерный комбинат»; комбинат по производству ДСП в Итатке (в дальнейшем – строительство завода клееного бруса, производство спичечной соломки, открытие фанерного производства), ООО «Хенда-Сибирь» (с. Тегульдэт).

Сегодня разрабатывается специальная программа по комплексному развитию биоэнергетики. Так Верхнекетский район начал реализацию проекта по переводу центральной котельной поселка Белый Яр с угля на отходы деревообработки – щепа и опилки [6]. Еще один проект – замена дизель-генераторной электростанции в пос. Степановка этого же района на парогенераторную установку, использующую в качестве топлива отходы лесопереработки.

Органам государственной власти и органам местного управления Томской области необходимо принять ряд мер по разработке нормативно-правовых актов, предусматривающих нормативы образования отходов и тарифы на их размещение, направленных на вторичное использование отходов. Необходимо также создать условия, привлекающие инвестиции частного капитала в проекты по сбору, сортировке и переработке отходов.

Таким образом, при рассмотрении темы переработки отходов в Томской области можно сделать некоторые выводы:

- ежегодное возрастание на территории Томской области количества образования отходов производства и потребления;
- за период 2004–2009 гг. прослеживается тенденция увеличения доли образования промышленных отходов, а не отходов поступающих от населения;
- обращение с отходами производства и потребления в Томской области на 2009 г. находится, примерно, в равных долях между размещением на санкционированных объектах (49%) и использовании на предприятиях или передачи организациям в качестве вторичных ресурсов (48%) и только 3% временно хранится на территориях предприятий;
- в образовании отходов на территории Томской области наибольший вклад вносят такие отрасли производства как: добыча нефти и газа, лесное хозяйство и деревообработка, а также жилищно-коммунальное хозяйство;
- на территории Томской области такие отходы как: пластмасса, макулатура в большинстве случаев поступает на свалки в составе ТБО, а отходы черных и цветных металлов в основном передаются для дальнейшего использования;
- в последние годы в Томской области появился ряд производств по переработке вторичного сырья – более пятидесяти зарегистрированных компаний, как правило, это индивидуальные предприниматели;
- коммерческая привлекательность сектора переработки отходов сегодня еще пока довольно низкая, за исключением ряда высокотехнологичных проектов. Именно применение новых технологий может сделать такие производства высо-

корентабельными. Пока успех могут иметь те предприятия, которые используют комплексный подход – «сбор – вывоз – сортировка – переработка».

Для развития рынка вторичных ресурсов необходима дальновидная государственная поддержка, стимулирующая использование отходов, развитие малоотходных технологий, совершенствование законодательной и предметной базы.

*Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Т. В. Ершова.*

### **Литература**

1. Клесюк, С. В. Отходы производства и потребления / С. В. Клесюк // Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2005 г. / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области (ДПР и ООС ТО). Томск : Графика, 2006. С. 63–67.

2. Куперт, А. Ю. Отходы производства и потребления / А. Ю. Куперт // Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2006 г. / ДПР и ООС ТО. Томск : Графика, 2007. С. 64–71.

3. Куперт, А. Ю. Отходы производства и потребления / А. Ю. Куперт // Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2007 г. / ДПР и ООС ТО. Томск : Графика, 2008. С. 17.

4. Плетенева, Е. Е. Отходы производства и потребления / Е. Е. Плетенева // Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2008 г. / ДПР и ООС ТО. Томск : Оптиум, 2009. С. 58–61.

5. Куперт, А. Ю. Отходы производства и потребления / А. Ю. Куперт // Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2009 г. / ДПР и ООС ТО. Томск : Оптиум, 2010. С. 60–63.

6. *Томский лес*: официальный Интернет-портал Томской области. Режим доступа: <http://tomsk.gov.ru>

## **ХАРАКТЕРИСТИКА АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ ПРИ ГРОЗОВОЙ АТМОСФЕРЕ В СИБИРИ**

С. В. Кламм, Т. В. Ершова

*Томский государственный педагогический университет*

Грозы – исключительно распространенное явление нашей атмосферы. Они причиняют немало вреда: пожары, разрушение мелких построек, аварии на распределительных устройствах и линиях электропередач. Также грозы являются причинами смерти людей – ежегодно на планете от данного метеорологического явления погибают около 10 тыс. чел. Все это говорит о необходимости и актуальности детального изучения грозовой активности.

На территории России максимальная грозовая активность отмечается на Кавказе, на Приазовской и Средне-Русской возвышенностях, в районе Донецкого кряжа, в предгорьях Урала и Алтая. С продвижением на север гроз становится все меньше. Граница, за которой грозы практически не наблюдаются, проходит по прибрежным и островным районам, расположенным севернее 70° с.ш. [1. С. 135].

В России наиболее детальное изучение характеристик грозовой активности проводится в Главной геофизической обсерватории им. Воейкова (г. Санкт-Петербург), в Институте космофизических исследований и аэронавтики (г. Якутск),

в Высогогорном геофизическом институте (г. Нальчик) и во многих других институтах. В Томске вопросами грозозащиты в течение 40 лет занимаются в Научно-исследовательском институте Высоких технологий (бывший НИИ Высоких напряжений) при Томском политехническом университете.

Точное предсказание грозы является чрезвычайно важным, в некоторых случаях это может спасти жизнь или предотвратить нанесение ущерба оборудованию или имуществу. В настоящее время по данным аэрологического зондирования рассчитываются индексы состояния атмосферы, которые широко используются для прогноза опасных явлений во всем мире. Еще в 1940–1950-е гг. были разработаны аэрологические индексы для оценки вероятности грозы по данным одного профиля радиозонда. Широко используется в настоящее время индекс Showalter stability index (SHOW), введенный еще в 1953 г. А.К. Шолвалтером (Sholwalter) [2]. SHOW – индекс, определяемый по разности температур окружающей среды на поверхности 500 гПа и частицы, поднимающейся на эту поверхность с уровня 850 гПа.

Подробное описание аэрологических индексов приведено в [3]. Некоторые метеорологические службы зарубежных стран выставляют в открытом доступе в сети Интернет данные по аэрологическим индексам с прогностическими правилами. Например, на сайте метеорологической станции Иерусалим (Израиль) выставляется информация о значениях аэрологических индексов за последний срок наблюдений и представляются прогностические правила для гроз [3]. Цветом на экране компьютера отражается вероятность возникновения грозы (низкая, средняя, высокая и экстремальная) в зависимости от величины 9 аэрологических индексов.

В последнее десятилетие анализу аэрологических индексов уделяется внимание и в России. Исследованием индексов устойчивости атмосферы в связи с грозами занимались В.П. Горбатенко, Т.В. Ершова и Е.С. Войлокова [4, 5].

Цель данного исследования – проанализировать аэрологические индексы грозовой атмосферы для территории Сибири. При этом решалось две задачи: первая – определение зависимости между аэрологическими индексами и физико-географическими характеристиками; и вторая – определение прогностических правил для предсказания грозы по аэрологическим индексам.

Материалом для исследований послужили данные о наличии грозы 5 станций Сибири (Колпашево, Новосибирск, Барнаул, Абакан, Енисейск) в сроки 00 и 12 часов ВСВ (Всемирного Скоординированного времени) за 3 летних месяца 2008–2010 гг. Для каждого грозового дня были проанализированы значения 24 индексов, характеризующих состояние атмосферы по трем признакам, необходимым для развития грозы: конвективная неустойчивость, наличие мощного влажного слоя в нижней или средней тропосфере, сильные восходящие движения.

Конвекция является одним из основных условий образования грозовых облаков. Безусловно, географические условия влияют на характеристики конвекции. Поэтому были рассчитаны коэффициенты корреляции между аэрологическими индексами и следующими физико-географическими характеристиками: высота станции над уровнем моря, географическая широта и долгота станций. В табл. 1 представлены лишь те аэрологические индексы, которые имеют значимые коэффициенты корреляции с 95% уровнем надежности.

**Значимые коэффициенты корреляции между аэрологическими индексами  
и физико-географическими характеристиками**

Аэрологические индексы	Число случаев	Коэффициент корреляции аэрологических индексов	
		с высотой над уровнем моря	с географической широтой
Showalter index (SHOW)	68	–0,34	0,31
KINX	68	0,39	–0,30
Vertical totals index	68	0,32	0,32
Convective Inhibition	52	–0,29	0,38
CINS using virtual temperature	48	–0,31	0,39
Equilibrium Level	54	–0,27	0,29
Equilibrium Level using virtual temperature	54	–0,28	0,29
Level of Free Convection (LFC)	55	–0,39	<b>0,47</b>
LFCT using virtual temperature (LFTV)	55	–0,38	<b>0,47</b>
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level	68	–0,36	0,46
Mean mixed layer potential temperature (MLMR)	68	<b>0,52</b>	<b>–0,55</b>
1000 hPa to 500 hPa thickness	67	<b>0,51</b>	–0,45

Анализируя данные табл. 1, можно отметить, что аэрологические индексы сильнее зависят от высоты и широты местности. От долготы местности значимо зависит только один аэрологический индекс (SHOW) (в табл. 1 не отражено).

Наибольшие коэффициенты корреляции между индексами и высотой над уровнем моря характерны для Mean mixed layer potential temperature MLMR (0,52) и для 1000 hPa to 500 hPa thickness (0,51) (в таблице выделены жирным шрифтом). MLMR – средняя удельная влажность в 500-метровом слое, измеряется в г/кг. Индекс 1000 hPa to 500 hPa thickness – это толщина слоя между уровнями 1 000 и 500 гПа.

Анализируя связь между индексами и широтой, можно отметить, что наибольшие коэффициенты корреляции характерны для индекса MLMR (–0,55), для LFC и LFCV (0,47). LFC (Level of Free Convection) – это уровень свободной конвекции. Индекс LFCV определяется по разности виртуальных температур между окружающей средой на уровне 500 гПа и температурой частицы, поднимающейся на 500 м над уровнем 500 гПа при среднем давлении, температуре и точке росы.

В табл. 2 во втором столбике, приведены прогностические правила для Сибири на основе анализа следующих аэрологических индексов: Convective Available Potential Energy (CAPE), Totals totals (TOTL), KINX, LIFT, LIFV, SHOW, MLMR.

Индекс CAPE отражает интенсивность восходящих потоков. Индекс TOTL рассчитывается на основе разности температур на уровне 850 и 500 гПа, с учетом точки росы на уровне 850 гПа. Индекс KINX рассчитывается с учетом температур на уровнях 500, 700 и 850 гПа и точки росы на уровнях 700 и 850 гПа.

Сравнивая прогностические правила для гроз по трем регионам (Россия (Сибирь), Германия и Израиль), можно отметить сходство индексов LIFT, KINX

и MLMR для Германии и Сибири. Индекс CAPE при грозах в Сибири ( $223 \div 424$  Дж/кг) не достигает значений, характерных для гроз в Израиле и Германии ( $2000$  Дж/кг). Индекс TOTL сравним для Сибири и Израиля.

Т а б л и ц а 2

**Сравнение прогностических правил для предсказания грозы**

Индексы	Россия (Сибирь)	Германия	Израиль [3]
CAPE, Дж/кг	$223,29 \div 423,87$	$2000$ [6]	$> 2000$
TOTL, °C	$44,95 \div 47,34$	–	$> 52$ сильные грозы
KINX, °C	$22,8 \div 27,35$	$28,6 \div 35,3$ [4]	$> 35$
LIFT, °C	$-0,38 \div 1,32$	$-5,12 \div -1,82$ [4]	$< 0$ возможны грозы $0 \div -4$ сильные грозы
LIFV, °C	$-0,62 \div 1,12$	$-5,43 \div -2,18$ [4]	–
SHOW, °C	$1,82 \div 4,01$	$-3,39 \div -0,89$ [4]	–
MLMR, г/кг	$8,71 \div 9,67$	$9,90 \div 13,12$ [4]	–

Таким образом, проведенный анализ показывает, что каждая отдельно взятая территория характеризуется своими индексами грозовой атмосферы. И если для многих стран мира эти прогностические правила для гроз уже разработаны, то для территории России эти исследования только начались.

*Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Т. В. Ершова.*

**Литература**

1. Региональный мониторинг атмосферы Ч. 4.: Природно-климатические изменения / М. Ф. Адаменко [и др.]. Томск : МГП «Раско», 2000. 270 с.
2. Sholwalter, A. K. A stability index for thunderstorm forecasting / A. K. Sholwalter // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1953. 34. P. 250–252.
3. Jerusalem Weather Station [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.02ws.com/station.php?section=radiosonde.php&lang=0>
4. Ершова, Т. В., Горбатенко, В. П. К вопросу о прогнозе гроз / Т. В. Ершова, В. П. Горбатенко // Всероссийская конференция по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященная 70-летию эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции РАН, г. Нальчик, 28–30 сент. 2005 г. Нальчик, 2006. С. 337–343.
5. Горбатенко, В. П., Войлокова, Е. С., Ершова, Т. В. Сравнительный анализ индексов устойчивости атмосферы для разработки альтернативных методов прогноза гроз / В. П. Горбатенко, Е. С. Войлокова, Т. В. Ершова // Труды VI Российской конференции по атмосферному электричеству. Нижний Новгород, 2007. С. 219–220.
6. Hagen, M., Bartenschlager, B., Finke, U. Propagation characteristics of southern Germany / M. Hagen, B. Bartenschlager, U. Finke // Institute für Physik der Atmosphäre. Report № 97. 1997. S. 1–11.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ШКОЛЬНОЙ ГЕОГРАФИИ**

**Н. В. Копылова, Е. Ю. Петрова**

*Томский государственный педагогический университет*

Ухудшение экологического состояния окружающей среды находит свое отражение в законодательных актах в области экологической политики государства.

Одним из путей решения экологических проблем общества является формирование экологического мышления у граждан, которое должно проводиться со школы, иметь системный подход, постепенно усложняясь и углубляясь.

В ряде государственных нормативных документов отмечается необходимость экологического образования и воспитания граждан (в законе РФ «Об охране окружающей природной среды» [1] (раздел XI. Экологическое воспитание, образование, научные исследования (ст. 73, 74, 75, 76, 77)), в законе РФ «Об образовании» [2], постановлении «Об экологическом образовании обучающихся в образовательных учреждениях Российской Федерации». Так, в настоящее время экологическое образование становится важнейшим направлением в работе школьных учреждений и реализуется, в том числе, через содержание школьных предметов.

Содержание экологических знаний и необходимость их усвоения показаны в Государственном образовательном стандарте основного образования по географии [3] в следующих положениях:

1. Курсы географии направлены на:

- получение знаний об основных географических понятиях, закономерностях развития, размещения и взаимосвязи природы, населения и хозяйства разных территорий; о формировании географических регионов в соответствии с природными и социально-экономическими факторами; о своей Родине – России во всем ее разнообразии и целостности; об окружающей среде и рациональном природопользовании;

- воспитание позитивного ценностного отношения к окружающей среде, экологической культуры, любви к своей местности, своему региону, своей стране, взаимопонимания с другими народами;

- формирование способности и готовности к использованию географических знаний и умений в повседневной жизни для: сохранения окружающей среды, способности и готовности личности к социально-ответственному поведению в ней; адаптации к условиям проживания на определенной территории; самостоятельного оценивания уровня безопасности окружающей среды как сферы жизнедеятельности, решения практических задач.

2. В результате изучения географии ученик должен:

- знать природные и антропогенные причины возникновения экологических проблем на локальном, региональном и глобальном уровнях; меры по сохранению природы и защите от стихийных природных явлений;

- уметь приводить примеры: использования и охраны природных ресурсов, адаптации человека к природным условиям проживания в городе и сельской местности, формирования культурно-бытовых особенностей народов под влиянием среды их обитания; крупнейших сырьевых и топливно-энергетических баз, районов и центров производства важнейших видов продукции, основных коммуникаций и их узлов, отраслей хозяйства, внутригосударственных и внешних экономических связей России, а также крупнейших регионов и стран мира;

- использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни для умения:

- а) учитывать фенологические изменения в природе своей местности; проводить наблюдения за отдельными географическими объектами, процессами и явлениями, их изменениями в результате природных и антропогенных воздействий; оценивать их последствия;



б) решать практические задачи геоэкологического содержания для определения качества окружающей среды своей местности, путей ее сохранения и улучшения;

в) обладать умениями и навыками рационального природопользования и сохранения окружающей среды для жизни людей; иметь представления о различных видах загрязнения окружающей среды и их предельно допустимых значениях и необходимых мерах, предпринимаемых в случае природных стихийных бедствий и техногенных катастроф.

Экологическая составляющая показана также в программах и учебниках по школьным курсам географии.

В учебниках представлено большое число понятий, которые являются опорными в теории геоэкологии и рационального природопользования. К их числу относятся представления о целостности природы, взаимосвязи всех ее компонентов и процессов, о природных комплексах, географической оболочке, биосфере, ландшафтах, круговороте веществ в природе и т.п. Кроме того, в учебниках и программах введено большое число понятий, непосредственно относящихся к практике рационального природопользования и охраны природы. Таковы, например, понятия об антропогенных ландшафтах, глобальных и региональных геоэкологических проблемах, об организации использования природных ресурсов, о формах антропогенного воздействия на природную среду, об основных принципах рационального природопользования.

Географические знания, которые школьники 6 класса изучают в «Начальном курсе географии», открывают возможности обосновывать представление о целостности природы Земли, о ее роли в жизни каждого человека, осознать необходимость соизмерения любого вида хозяйственной деятельности и поведения людей в природе с ее законами, с необходимостью экологических ограничений. Так, в параграфе «Воздействие человека на природу вашей местности» даны задания для определения влияния природы родной местности на жизнь и хозяйственную деятельность человека. Например: назовите продукцию, которую изготавливают на предприятии, расположенном в ближайшем окружении вашей школы. Что для этого используется из природы вашей местности? В параграфе «Воздействие человека на природный комплекс» рассматриваются изменения природных комплексов под влиянием человека, и формируется бережное отношение к природе со стороны учащихся. В приложениях учебника даны задания для работы учащихся на местности. В приложении «Наблюдение погоды и других явлений природы» даются рекомендации по ведению дневника погоды. В приложении «Практические работы на экскурсиях» описываются приемы работы школьников на экскурсиях по изучению: рельефа, вод своей местности, природных комплексов [4].

В 7 классе при изучении курса «Физическая география материков и океанов» учащиеся получают представление о пространственной дифференциации взаимодействия природы и общества, о специфике антропогенных изменений природных ландшафтов применительно к разным материкам и океанам, о региональных мерах по охране природы, о заповедниках и национальных парках, их территориальном размещении. В заключение курса рассматриваются некоторые глобальные геоэкологические проблемы. Ученикам предлагается ответить на вопросы: какие виды хозяйственной деятельности людей особенно сильно изменяют

природные комплексы? Как хозяйственная деятельность населения в вашей местности изменила природные комплексы? На каком уровне следует решать экологические проблемы? Что предлагает ООН для устойчивого развития природы и хозяйства? Почему разумное использование природы и ее охрана должна носить международный характер [5]?

Основное внимание в области геоэкологии в 8 классе, в курсе «Физическая география России», сосредоточивается на проблемах охраны природы, на антропогенных изменениях условий природных комплексов и крупных регионов России. Ярким примером формирования экологических знаний является содержание и задания параграфа «Экологическая ситуация в России». В этом параграфе даны определения следующих понятий: «мониторинг», «глобальный и региональный мониторинг», «Союз экологов России». Приведены карты «Экологическая ситуация в России», «Возможное загрязнение атмосферы России», иллюстрации «Нарушение растительности от вредных выбросов в атмосферу», «Модель биосферного заповедника», цифровые данные о современной экологической ситуации России в цифрах. Учащимся предлагается также ответить на вопросы: с чем связано ухудшение экологической ситуации в России и мире? Назовите источники экологической опасности. Приведите примеры негативного влияния деятельности человека на природу. Покажите возможные пути выхода из экологического кризиса. Что такое мониторинг? Какую роль он играет в рациональном природопользовании? В конце раздела приведены справочные материалы по теме и даны итоговые задания по всему разделу. Например: объясните, как влияет деятельность человека на природу, приведите примеры, характерные для вашей местности; проведите конференцию с обсуждением вопроса «Влияние деятельности человека на природу вашей местности. Экологические проблемы края» [6].

Одна из сложных задач экологического школьного образования – соединить в сознании учащихся экологические проблемы с конкретными видами труда. Наибольшие возможности для решения этих задач открываются в курсе географии 9 класса «Экономическая география России», где наиболее полно представлены принципы рационального природопользования и другие экологические аспекты географии. В этом курсе на конкретных примерах рассматриваются сложные вопросы взаимодействия природы и хозяйственной деятельности человека, причем они рассматриваются как в региональном аспекте, так и в хозяйственно-отраслевом. Особое внимание уделяется различным сферам материального производства, в процессе изучения которых следует акцентировать внимание на их специфических экологических проблемах и путях решения. Например, учащимся предлагается ответить на вопросы: что называется экологической ситуацией? Приведите примеры районов с различной экологической ситуацией. Перечислите меры для перехода России к устойчивому развитию. После каждого параграфа в блоке «Моя точка зрения» даны цитаты ученых, писателей, на которые школьники должны высказать свое мнение. Например, «как вы понимаете слова географа Д. Л. Арманды о том, что во многих случаях возобновимость и невозобновимость природных ресурсов определяется отношением к ним человека? Свой ответ аргументируйте» [7].

Основные географические курсы в 7–9 классах построены преимущественно по региональному принципу. В связи с этим они недостаточно полно раскрывают общие, глобальные проблемы взаимодействия природы и общества. На более

высоком уровне эти проблемы представлены в курсе географии 10 класса «Экономическая и социальная география мира». В содержании курса раскрываются понятия «глобализация», «экологический кризис», «устойчивое развитие», «Международный географический союз», «Международная геосферно-биосферная программа». Приводятся карты «Географические различия в питании людей», таблицы «Масштаб отсталости развивающихся стран на конец XX в.», «Классификация глобальных проблем» [8].

Проведенный анализ содержания учебного материала по школьному курсу географии показал, что экологическое содержание в учебниках географии усложняется по классам. Так, в 6 классе учащиеся знакомятся с влиянием человека и его хозяйственной деятельности на природу своей местности, семиклассники получают представление об изменении природы в результате антропогенного воздействия по материкам. Учащиеся 8 класса изучают экологическую ситуацию в России, учащиеся 9 класса – влияние хозяйственной деятельности человека на природу России, десятиклассники узнают о глобальных проблемах человечества и рассматривают возможные пути решения.

Таким образом, освоение содержания школьной географии позволит учащимся овладеть экологическими знаниями и умениями, что является неотъемлемой частью общей культуры человека.

*Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент Е. Ю. Петрова.*

#### **Литература**

1. Закон РФ «Об охране окружающей природной среды» (в ред. Законов РФ от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ) [Законы и Кодексы Российской Федерации]. Режим доступа: <http://www.zakonrf.info/zakon-ob-ohrane-okr-sredy>
2. Закон РФ «Об образовании» (в ред. от 08.12.2010 г.) [Законы и Кодексы Российской Федерации]. Режим доступа: <http://www.zakonrf.info/zakon-ob-obrazovanii>
3. Федеральный компонент Государственного стандарта общего образования [Москва, 2004]. Режим доступа: <http://mon.gov.ru/work/obr/dok/obs/1483>
4. Герасимова, Т. П., Грюнберг, Г. Ю., Неклюкова, Н. П. Физическая география (начальный курс) / Т. П. Герасимова, Г. Ю. Грюнберг, Н. П. Неклюкова. М. : Просвещение, 1992. 192 с.
5. Коринская, В. А., Душина, И. В., Щенев, В. А. География материков и океанов / В. А. Коринская, И. В. Душина, В. А. Щенев. М. : Дрофа, 2004. 320 с.
6. Барينو, И. И. География России / И. И. Барино. М. : Дрофа, 2000. 288 с.
7. Алексеев, А. И., Николина, В. В. География: население и хозяйство России / А. И. Алексеев, В. В. Николина. М. : Просвещение, 2003. 334 с.
8. Максаковский, В. П. Экономическая и социальная география мира : учебник для 10 кл. / В. П. Максаковский. М. : Просвещение, 2001. 350 с.

# **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МОРФОАНАЛИТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ТРАССЫ НЕФТЕПРОВОДА ВАНКОРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ – НПС «ПУРПЕ»**

Н. И. Миннулина

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

В последние десятилетия в связи с открытием крупных нефтяных и газовых месторождений возникла необходимость изучения почвенного покрова с целью его использования и своевременного контроля экологического состояния почв. Освоение природных ресурсов Западной Сибири, особенно месторождений нефти и газа в ее северных районах, требует дальнейшего уточнения знаний о природных условиях этой территории, биологических ресурсах, возможностях создания местной продовольственной базы, о появляющихся при хозяйственном освоении нарушениях экологической обстановки.

Изучением северотаежных почв занимались многие ученые, но, несмотря на это, данная территория в целом остается мало изученной. Во многом это вызвано высокой обводненностью, заболоченностью и труднопроходимостью территории, а также наличием вечной мерзлоты. Необходимость изучения фоновых почв нефтегазовых комплексов состоит еще и в том, что существует потребность в уточнении всех свойств и процессов, протекающих в почвах. Кроме того, результаты данных исследований в дальнейшем могут быть использованы в целях почвенно-экологического мониторинга и разработки конкретных мер по рекультивации нарушенных и загрязненных территорий с учетом их специфических особенностей.

Объектом исследования служат фоновые почвы магистрального нефтепровода Ванкорское месторождение – НПС «Пурпе», который в будущем будет разрабатываться при нефте- и газодобыче. Территория в пределах данного нефтепровода входит в северо-таежную подзону Западной Сибири, которая характеризуется бореальным, гумидным, резко континентальным, суровым климатом.

В северной тайге развитие болот протекало в условиях слабо расчлененного аккумулятивного и в меньшей степени денудационного рельефа, избыточного увлажнения, близкого к поверхности залегания грунтовых вод [1]. Широко развитые на территории Западно-Сибирской равнины процессы заболачивания приводят к выравниванию микропонижений за счет нарастания торфяников. Наибольшую роль в формировании рельефа играют многолетние бугры пучения, термокарстовые озера. Бугры пучения наиболее ярко проявляются в торфяных отложениях и на участках развития глинистых грунтов с повышенной льдистостью и наличием прослоев льда. Термокарстовые процессы сопровождаются проседанием земной поверхности за счет протаивания льдистых глинистых и торфяных пород, а также погребенных жильных льдов и последующего образования блюдцеобразных впадин, воронок, полигонов, котловин. В настоящее время многими авторами [2, 3] большое внимание уделяется криогенным процессам и структурным грунтам. Наряду с чисто почвенными процессами описываются и криогенные геологические и криогенные рельефообразующие процессы. Как

указывается в данных работах, некоторые криогенные геологические процессы, например, термокарст, могут приводить к полному уничтожению почв.

В связи с большой заболоченностью территории, значительные площади заняты плоскобугристыми, крупнобугристыми и грядово-мочажинными болотами, основной фон которых создают сфагновые мхи. Леса с травяным наземным покровом отсутствуют. На плоских заболоченных водоразделах почвообразующие породы представлены как флювиогляциальными, так и озерно-аллювиальными отложениями.

Почвенный покров на исследуемой территории в связи со специфическим сочетанием природных условий имеет сложное строение и представлен следующими типами почв: подзолистыми, болотно-подзолистыми и болотными. Однако, наибольшее распространение имеют глееподзолистые почвы.

Гранулометрический состав глееподзолистых почв представлен различными разновидностями. В элювиальных горизонтах данных почв наблюдается закономерное уменьшение фракций мелкого песка и крупной пыли, и, наоборот, обогащение этими фракциями иллювиальной части профиля, что связано с развитием подзолистого процесса. В распределении илистой фракции наблюдается общее незначительное возрастание в средней и нижней частях профиля, что обусловлено следующими причинами: во-первых, длительным или постоянным оглеением, приводящим к диспергации минеральной массы; во-вторых, нисходящим переносом суспензий (процесс лессиважа); в-третьих, с литологической микрослоистостью профиля почвы. Некоторые авторы [4] также указывают на слабую дифференциацию глееподзолистых почв северной тайги Западной Сибири по гранулометрическому составу и связывают это с неоднородностью почвообразующих пород.

Как известно, физико-химические и химические свойства более других отражают современное состояние почвенного профиля и протекающих в нем процессов. Исследуемые глееподзолистые почвы характеризуются относительно высоким содержанием гумуса (4,95–5,11%) в верхних горизонтах, что связано в большей степени с грубой органикой, и резким уменьшением количественного содержания гумуса к иллювиальным горизонтам. Это обусловлено тем, что кислые органические вещества вымываются из элювиальных горизонтов, и, обладая высокой подвижностью, мигрируют в ниже лежащие в виде органоминеральных соединений.

Следует отметить значительную роль процессов криогенеза в формировании глееподзолистых почв, которые не позволяют проявиться подзолообразованию и в значительной мере определяют «физический» профиль почв [3]. С гидрогенным криогенезом, как указывается в работе [4], связаны переагрегация минеральной массы, ослабление подзолообразования и радиального переноса продуктов био- и педогенеза. С явлением криогенеза также связана высокая подвижность органического вещества и его латеральная миграция, которые приводят к прокрашиванию исследованных почв на значительную глубину.

Для глееподзолистых почв характерна сильноокислая и кислая реакция среды, причем, вниз по профилю кислотность уменьшается. Максимальная кислотность ( $\text{pH} = 3,3$ ) наблюдается в оторфованном элювиальном горизонте. Низкие значения  $\text{pH}$  объясняются миграцией вниз по профилю продуктов распада первичных минералов и наличием значительного количества кремнеземистой присыпки.

В профильном распределении выявлена прямая зависимость между повышением значений рН и уменьшением количества обменных водорода и алюминия. При изучении главных процессов и особенностей их проявления в различных почвах [5], установлена следующая закономерность: с нарастанием степени оглеения профиля происходит увеличение рН, что отчетливо просматривается в исследуемых объектах. Корневые системы живых растений в процессе усвоения ими из почвы оснований обменивают их преимущественно на ион водорода, который благодаря этому внедряется в коллоидный комплекс во всей толще корнеобитаемого слоя, что отражается и на составе ППК. Так, максимальные значения гидролитической кислотности характерны для верхних горизонтов и составляют 36–37 мг·экв. на 100 г почвы, постепенно уменьшаясь с глубиной. Некоторое иллювиальное накопление поглощенного кальция способствует сдвигу реакции среды почвенного раствора в менее кислую сторону. Содержание обменного магния в составе ППК относительно обменного кальция невысокое, и его внутрипрофильное распределение происходит по элювиально-иллювиальному типу.

Характерной особенностью гранулометрического состава подзолистых почв является их четкая дифференциация по элювиально-иллювиальному типу и проявляется она, прежде всего, в распределении илистой фракции. Подзолистые почвы исследуемой территории характеризуется в основном песчаным и супесчаным гранулометрическим составом, в составе которого преобладающими являются фракции крупного песка и средней пыли. Дифференциация профиля подзолистых почв супесчаного и песчаного гранулометрического состава, а также морфологические признаки элювиальных горизонтов (осветленная окраска, характерная плитчатость структуры) указывают на то, что на формирование данных почв большое влияние оказывает подзолообразовательный процесс.

Профиль подзолистых почв довольно четко дифференцирован по содержанию гумуса. Максимальное количество гумуса (1,51%) наблюдается в верхних горизонтах; вниз по профилю происходит уменьшение его содержания, что обусловлено особенностью минералогического состава песчаных почвообразующих пород, представленных в этом регионе преимущественно «бедными», перемытыми и переотложенными водно-ледниковыми, флювиогляциальными и морскими отложениями с высоким содержанием кварца.

Реакция среды данных почв кислая и слабокислая, причем, наибольшая кислотность характерна для органогенных и элювиальных горизонтов, в которых происходит образование агрессивных фульвокислот и низкомолекулярных органических кислот, а также гидролиз первичных и вторичных минералов. Кислые продукты частично нейтрализуются основаниями, что приводит к уменьшению кислотности с глубиной. Значения гидролитической кислотности в профиле подзолистой иллювиально-железистой почвы достаточно высокие и повторяют картину распределения обменного водорода и алюминия. Профильное распределение обменных  $H^+$  и  $Al^{3+}$  постепенно убывающее, а содержание  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  элювиально-выравненное с выраженным иллювиальным накоплением. Можно полагать, что иллювиальный кальциевый пик связан либо с выщелачиванием обменных катионов, либо с исходной литологической неоднородностью.

Наиболее яркими почвообразовательными процессами, протекающими в болотно-подзолистых почвах, являются болотный и подзолистый. Верхние органо-генные горизонты данных почв представлены неразложившимся очесом зеленых

мхов и слабоминерализованной подстилкой. Гранулометрический состав болотно-подзолистых почв по сравнению с собственно подзолистыми почвами имеет слабую дифференциацию профиля по илу. Долгое стояние высоко расположенных грунтовых вод, периодически промывной водный режим значительно сокращают возможность вымывания продуктов подзолообразования и, как следствие, замедление проявления подзолистого процесса и сравнительно слабое перераспределение ила по профилю. В изученных болотно-подзолистых почвах преобладающими фракциями являются крупная пыль и ил. В процессе почвообразования минеральная толща болотно-подзолистых и болотных низинных почв претерпевает изменения под влиянием кислых растворов, фильтрующихся из сфагновой залежи, и грунтовых, болотно-грунтовых вод или верховодки. В процессе естественной эволюции данных почв возрастает оглеение минеральной толщи, приводящее, в свою очередь, к диспергации минеральной массы почв.

Слабая гумусированность болотно-подзолистых почв определяется суровыми условиями формирования, а также не «богатым» питательными элементами опадом лесной растительности. Данные почвы характеризуются значительной величиной гидролитической кислотности (39,2 мг-экв. на 100 г почвы). Ее достаточно высокие показатели связаны с наличием кислых продуктов распада и влиянием их на процессы почвообразования. Аналогичная картина наблюдается и в содержании обменных  $H^+$  и  $Al^{3+}$ . Количество поглощенных  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  незначительное, убывающее книзу, что можно связать с бедностью опада и кислой реакцией среды болотно-подзолистых почв.

Анализ свойств почв исследуемой территории позволяет отметить ряд сходных признаков и выделить некоторые специфические особенности их формирования. Все изученные почвы обладают слабокислой и кислой реакцией среды и характеризуются низким содержанием гумуса. Следует отметить, что почвы тяжелого гранулометрического состава отличаются более высоким содержанием гумуса вследствие значительно большего содержания илистой фракции и слабой дренирующей способности территории. В подзолистых почвах с хорошей дренирующей способностью, ясно выраженной профильной аккумуляции обменных катионов, а также гумусовых веществ не прослеживается. Обобщение материалов по условиям формирования, морфологическим особенностям и физико-химическим свойствам изученных почв позволяют с большой долей вероятности говорить о том, что на территории исследований трассы магистрального нефтепровода почвенный покров формируется под воздействием следующих основных почвообразовательных процессов: подзолистого, болотного и оглеения.

*Научный руководитель: доктор биол. наук, проф. В. П. Середина.*

#### **Литература**

1. *Болота* Западной Сибири их строение и гидрологический режим. Л. : Гидрометеиздат, 1976. 447 с.
2. *Достовалов, Б. Н., Кудрявцев, В. А.* Общее мерзлотоведение / Б. Н. Достовалов, В. А. Кудрявцев. М. : Изд-во Московского университета, 1967. 403 с.
3. *Макеев, О. В.* Фации почвенного криогенеза и особенности организации в них почвенных профилей / О. В. Макеев. М. : Наука, 1981. 87 с.
4. *Дюкарев, А. Г.* Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири / А. Г. Дюкарев. Томск : Изд-во НТЛ, 2005. 283 с.

## **ЧЕРНОЗЕМНЫЕ ПОЧВЫ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «СКЛОН С РЕЛИКТОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ» У СЕЛА КОЛАРОВО**

К. Л. Носкова

*Томский государственный университет*

В связи с интенсивным развитием промышленности, городов и т.д. во второй половине XX в. большинство природных ландшафтов так или иначе были преобразованы человеком, вовлечены им в сельское хозяйство. По мере увеличения площадей антропогенных ландшафтов сокращается доля ненарушенных. Как правило, это труднодоступные территории или те, которые по каким-то причинам не могут использоваться в сельском хозяйстве, чаще всего это связано с условиями рельефа. В настоящее время такие немногочисленные сохранившиеся естественные ландшафты представляют большой интерес для исследователей. Почва – компонент любого ландшафта и ее изучение – неременный этап любого биогеоценологического исследования. Также почва является памятью ландшафта, отражающей различные этапы его становления.

В составе почвенного покрова подтайги Притомья преобладают серые лесные и серые глеевые почвы [1], а черноземы являются экстразональными, но, благодаря особым микроклиматическим условиям, на крутых приречных склонах южной экспозиции возможно их существование. В данной работе были рассмотрены свойства почв в пределах катены на южном крутом склоне террасы р. Томи на территории памятника природы областного значения «Склон с реликтовой растительностью» у с. Коларово. Это одно из немногочисленных мест, где в растительном покрове сохранились реликтовые виды, которые отражают динамику природных зон в голоцене. Эти островки – крайний северный вариант распространения луговых степей в подтайге [2]. Степные ландшафты на территории Томской области распространены также на террасах рек Томи и Оби [3, 4].

Катена – одно из конкретных проявлений структуры почвенного покрова, представляет собой закономерно построенную группировку различных почв, объединенных в своем формировании, развитии и распространении определенным рельефом и формирующими его процессами и регулярно повторяющаяся в сходных геоморфологических обстановках.

Дифференциация почв одной катены связана обычно с разнообразием их местоположения и дренажных характеристик. Для катенарных исследований важным представляется движение материала вниз по склону в растворенном виде. Почвы, при этом, подвергаются воздействию притока растворимых веществ, особенно оснований, из более высоких частей склона. Каждая катена определяется изменяющимися соотношением между эрозией и отложением материала, происходящими на разных участках склона [5].



Изученный сопряженный ряд почв представлен черноземами глинисто-иллювиальными в отделе аккумулятивно-гумусовых почв [6], так как эти почвы имеют срединный горизонт ореховато-призматической структуры, педы и стенки трещин которого покрыты глинистыми или глинисто-гумусовыми кутанами, иногда с присутствием скелетан; но для удобства в данной работе будем рассматривать их по Классификации и диагностике почв СССР [7], так как она полнее отражает различия этих почв: чернозем выщелоченный среднесиловый (Р6-НК-09), чернозем осолоделый среднесиловый (Р7-ГК-09), чернозем солонцеватый среднесиловый (Р8-КК-09).

#### Основные химические, физические и физико-химические параметры почв

Горизонт	Глубина, см	Гумус по Тюрину, %	Поглощенные катионы, мг×экв./100 г			рН водн. вытяжки	< 0,001 мм	Физ. глина
			ΣCa <sup>2+</sup> и Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		в %	
Чернозем выщелоченный среднемощный (Р6-НК-09)								
A	0–8	15,93	46,6	32,0	14,6	6,90	17,6	34,4
A	8–18	13,66	44,0	32,0	12,0	6,67	17,2	31,6
AB <sub>1</sub>	22–32	5,92	37,0	27,0	10,0	6,83	20,8	39,2
AB <sub>2</sub>	34–44	2,61	32,3	23,1	9,2	7,14	27,6	44,4
B	55–65	1,08	28,3	18,2	10,1	7,30	25,6	36,8
C <sub>k</sub>	100–110	–	–	–	–	7,96	19,6	33,2
C <sub>k</sub>	140–150	–	–	–	–	7,96	–	–
C <sub>k</sub>	185–195	–	–	–	–	7,94	22,4	44,0
Чернозем осолоделый среднемощный (Р7-ГК-09)								
A	0–10	8,64	39,1	25,9	13,2	6,58	17,6	40,4
A	10–20	5,00	37,2	20,8	16,4	6,76	18,4	42,0
AB	25–35	2,97	31,2	17,8	13,4	6,55	22,4	42,4
B <sub>1</sub>	50–60	1,39	26,0	13,8	12,2	6,35	18,8	36,8
B <sub>1</sub>	73–83	0,75	26,0	13,2	12,8	6,39	23,2	42,0
B <sub>2</sub>	95–105	–	26,7	13,0	13,7	6,40	–	–
B <sub>2</sub>	120–130	–	27,6	12,6	15,0	6,49	22,8	46,8
BC <sub>CaSO4</sub>	152–162	–	–	–	–	6,56	–	–
BC <sub>CaSO4</sub>	180–190	–	–	–	–	7,04	19,2	39,6
Чернозем солонцеватый среднемощный (Р8-КК-09)								
A	0–10	11,43	33,4	26,7	6,7	7,01	14,0	31,6
A	18–28	4,48	25,2	20,4	4,8	6,93	19,9	37,5
AB <sub>1</sub>	33–43	1,71	19,8	15,3	4,5	6,87	21,6	36,8
AB <sub>2</sub>	46–56	1,49	21,0	16,4	4,6	6,81	26,0	38,8
B <sub>1</sub>	60–70	1,09	21,8	16,4	5,4	6,79	29,2	40,8
B <sub>2</sub>	80–90	0,83	19,4	14,9	4,5	6,89	26,4	37,2
B <sub>3</sub>	125–135	–	17,6	12,7	4,9	7,07	20,4	31,5
BC	150–160	–	19,4	14,5	4,9	7,10	–	–
BC	165–175	–	20,2	14,6	5,6	7,20	21,2	32,8

В гранулометрическом составе преобладает фракция крупной пыли, что говорит об облессованности исходных почвообразующих пород. В исследуемых почвах протекает ряд почвообразовательных процессов и, в первую очередь, это – гумусоаккумулятивный, поэтому почвы характеризуются высоким содержанием гумуса (от 8,64% в транзитной позиции, что является следствием эрозии до 15,93

и 11,43% в транс-элювиальной и транс-аккумулятивной, соответственно, в верхней 10-сантиметровой толще). Также гумусоаккумулятивный горизонт имеет большую мощность, причем она максимальна в транс-аккумулятивной позиции, что подтверждает наличие эрозийных процессов (см. табл.).

Для изученной территории характерен активный биологический круговорот, насыщенный зольными элементами, поэтому все почвы характеризуются слабокислой, нейтральной и слабощелочной реакцией среды и высоким содержанием поглощенных оснований, причем содержание катионов  $Mg^{2+}$  в ППК в нижней части профиля приближается к содержанию  $Ca^{2+}$ , что может свидетельствовать о магниевой солонцеватости, либо реликтовой, либо современной.

По ряду морфологических признаков и результатам физических, химических и физико-химических анализов можно сделать вывод, что в данных почвах протекают такие процессы, как выщелачивание, характерное для транс-элювиальной позиции – карбонаты отмыты на глубину 63 (71) см, причем ниже по склону их вскрыть не удалось, что, возможно, говорит о разном составе почвообразующих пород. Развитие также получили: лессиваж, наибольшая интенсивность которого проявляется в транс-аккумулятивной позиции, здесь же протекает солонцовый процесс, о чем свидетельствует накопление илистой фракции в горизонте В, увеличение щелочности на глубине солонцового горизонта и ряд морфологических признаков.

В транзитной позиции почва характеризуется наличием признаков осолодения, с белесоватой кремнеземистой присыпкой на общем фоне и заметным уплотнением горизонта В. Данные по рН также подтверждают наличие осолоделого горизонта – в средней части профиля водородный показатель снижается до 6,35.

Каждая catena является результатом сложного взаимодействия между почвенными и склоновыми процессами, поэтому на крутых склонах на расстоянии всего несколько метров почвы существенно отличаются по морфологическим признакам и химическим свойствам.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Л. И. Герасько.*

#### Литература

1. Герасько, Л. И. Подтайга Западной Сибири: ландшафтно-динамические аспекты / Л. И. Герасько // Сибирский экологический журнал. 2007. № 5. С. 719–724.
2. Амелъченко, В. П. Реликты во флоре Томской области и пути их охраны / В. П. Амелъченко // Бюллетень Сибирского ботанического сада. Томск : Изд-во ТГУ, 1983. С. 3–8.
3. Амелъченко, В. П., Рыбина, Т. А., Герасько, Л. И., Колесниченко, Л. Г. Сохранение биоразнообразия редких видов растений в составе остепненных сообществ на особо охраняемых природных территориях юга Томской области / В. П. Амелъченко, Т. А. Рыбина, Л. И. Герасько, Л. Г. Колесниченко // Вестник Томского государственного педагогического университета. Томск : Изд-во ТГПУ, 2009. Вып. 11. С. 168–174.
4. Герасько, Л. И., Гуль, О. В. Сопряженный ряд почв крутого склона правобережья р. Томи / Л. И. Герасько, О. В. Гуль // Вестник Томского государственного университета. Томск : Изд-во ТГУ, 2009. № 1(5). С. 52–60.
5. Джеррард, А. Дж. Почвы и формы рельефа / А. Дж. Джеррард. Л. : Недра, 1984. 208 с.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 461 с.

# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ДНИ С ГРОЗОЙ

О. В. Разумова, \*Д. А. Константинова  
Томский государственный университет  
\*Институт физики высоких технологий, ТПУ

Гроза относится к опасным природным явлениям с широким воздействием на деятельность человека и наносит значительный материальный ущерб различным отраслям хозяйства. К настоящему времени опубликовано много работ, посвященных проблеме прогноза грозы, основанных на анализе стратификации атмосферы. Однако усовершенствование существующих и разработка новых методов прогноза грозы являются актуальными.

Целью настоящего исследования является анализ индексов устойчивости атмосферы и оценка возможности их использования для составления альтернативных прогнозов гроз над территорией Западной Сибири.

Материалом для исследований послужили данные аэрологического зондирования атмосферы на станциях Новосибирск, Барнаул, Колпашево в сроки 00 и 12 часов ВСВ (всемирное скоординированное время) с мая по август за период 2007–2009 гг. в дни, когда над территорией Западной Сибири наблюдалась гроза и в ее отсутствие. Всего было исследовано состояние атмосферы за 170 дней за два аэрологических срока. Для каждого из дней были проанализированы значения 24 индексов.

Индекс SHOW (Showalter index) основан на свойствах уровней 850 и 500 гПа. SHOW оценивает подъем частицы сухоадиабатически с уровня 850 гПа до уровня конденсации, затем влажноадиабатически до уровня 500 гПа:

$$\text{SHOW} = T_{500} - T_{p1}, \quad (1)$$

$T_{500}$  – температура на уровне 500 гПа, °С;  $T_{p1}$  – температура частицы на уровне 500 гПа, поднимающейся с уровня 850 гПа, °С.

Индекс LIFT оценивает степень стабильности, он объединяет влажность и вертикальный градиент (статическая устойчивость) в одном индексе, который менее чувствителен к наблюдениям только уровня давления. Однако LIFT оценивает уровень, от которого частица поднимается, и восстанавливает график температуры окружающей среды выше уровня конденсации и ниже уровня 500 гПа, который нельзя рассмотреть детально:

$$\text{LIFT} = T_{500} - T_{\text{parcel}}, \quad (2)$$

$T_{\text{parcel}}$  – температура частицы на уровне 500 гПа, поднимающейся с уровня 500 м над земной поверхностью при среднем давлении, температуре и точке росы, °С.

Индекс SWEAT (SWEAT index) оценивает потенциал (вероятность) неблагоприятных явлений погоды, объединяя несколько параметров в одном индексе:

$$\text{SWEAT} = 12TD_{850} + 20(\text{TOTL} - 49) + 2SKT_{850} + SKT_{500} + \text{SHEAR}, \quad (3)$$

$TD_{850}$  – температура точки росы на уровне 850 гПа, °C;  $SKT_{850}$  – скорость ветра в узлах на уровне 850 гПа,  $SKT_{500}$  – скорость ветра в узлах на уровне 500 гПа,  $SHEAR$  – сдвиг ветра между уровнями 500 и 850 гПа.

Индекс KIND (K index) оценивает возможность возникновения гроз, основанную на вертикальном градиенте температуры и вертикальной протяженности уровня влажности:

$$KIND = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700}), \quad (4)$$

$T_{700}$  – температура на уровне 700 гПа, °C,  $TD_{700}$  – температура точки росы, на уровне 700 гПа, °C.

Индекс TOTL оценивает как статическую стабильность, так и влажность на уровне 850 гПа:

$$TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{500}), \quad (5)$$

$T_{850}$  – температура на уровне 850 гПа, °C,  $TD_{850}$  – температура точки росы на уровне 850 гПа, °C.

Величина энергии неустойчивости является неизменным предиктором в прогнозе опасных явлений, связанных с конвекцией. Высокий уровень потенциальной энергии атмосферы является неременным условием того, что поднимающаяся частица достигнет значительно больших высот, чем уровень свободной конвекции. Эту характеристику состояния атмосферы достаточно эффективно отражают индексы CAPE и BRCH. Значения индекса CAPE (Convective Available Potential Energy), Дж/кг потенциальная конвективная энергия атмосферы, определяется:

$$CAPE = g \cdot \int_{LFCT}^{EQLV} \frac{T_p - T_e}{T_e} \cdot dz, \quad (6)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $LFCT$  – уровень свободной конвекции, гПа;  $EQLV$  – высота выравнивания температур, гПа;  $dz$  – толщина слоя между уровнями  $LFCT$  и  $EQLV$ , гПа;  $T_p$  – температура частицы, поднимающейся с уровня 500 м над земной поверхностью до уровня конденсации сухоадиабатически, выше уровня конденсации влажноадиабатически, °C;  $T_e$  – температура окружающей среды, °C.

Значения индекса BRCH (Bulk Richardson number) рассчитываются по значениям индексов CAPE, отнесенных к величине сдвига ветра на высотах 500 м и 6 000 м.

Индекс CINS – энергия задерживающего слоя, Дж/кг, оценивается по следующей формуле:

$$CINS = g \cdot \int_{ML}^{LFCT} \frac{T_p - T_e}{T_e} \cdot dz, \quad (7)$$

где  $T_p$  – температура частицы, поднимающейся с уровня 500 м над земной поверхностью до уровня конденсации сухоадиабатически, выше уровня конденсации влажноадиабатически, °С;  $T_e$  – температура окружающей среды, °С;  $ML$  – высота слоя перемешивания, гПа;  $dz$  – толщина слоя между уровнями  $LFCT$  и  $ML$ , гПа [1].

Большинство рассмотренных индексов претерпевают изменения от месяца к месяцу, достигая максимальных значений по модулю в июле. Соответственно, индексы, принимающие отрицательные значения при неустойчивой атмосфере, например, SHOW и LIFT, в июле имеют минимальные значения (рис. 1).

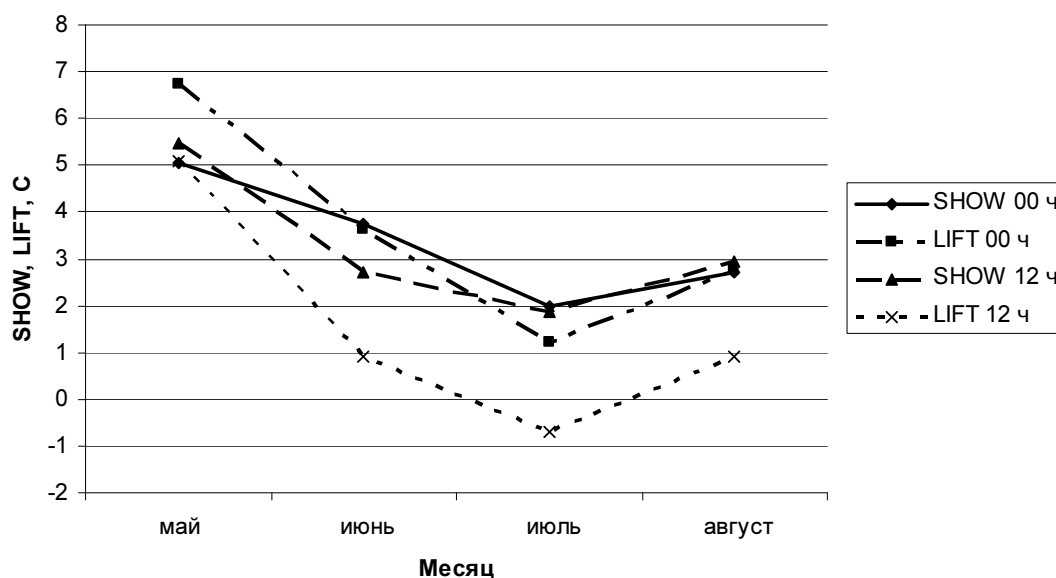


Рис. 1. Сезонный ход индексов SHOW и LIFT

Суточный ход выражен не у всех индексов, существенные различия средних значений в утренний и вечерний сроки зондирования по местному времени претерпевают индексы LIFT (рис. 1), CAPE и CINS (рис. 2). Средние значения индексов KIND и TOTL не имеют больших различий в оба срока зондирования.

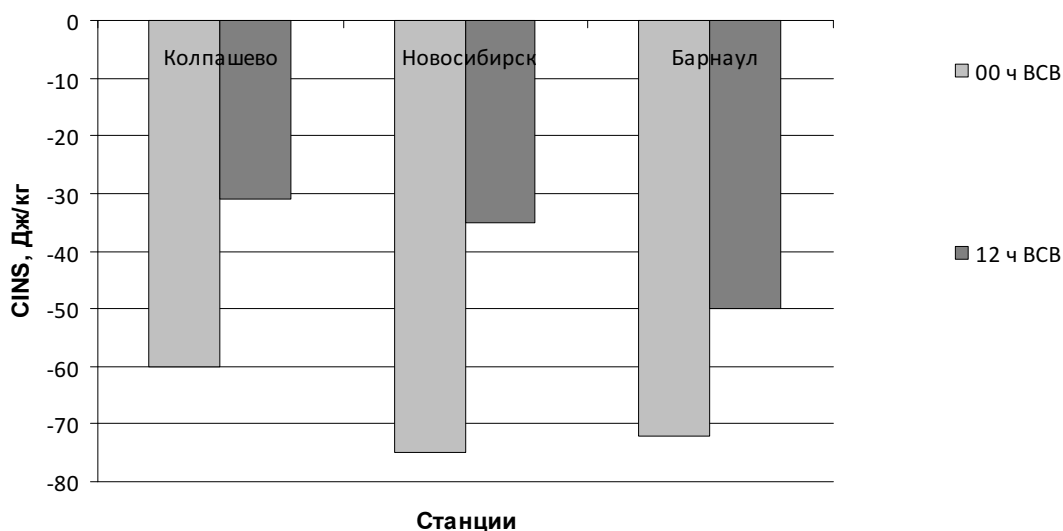


Рис. 2. Пространственное распределение индекса CINS

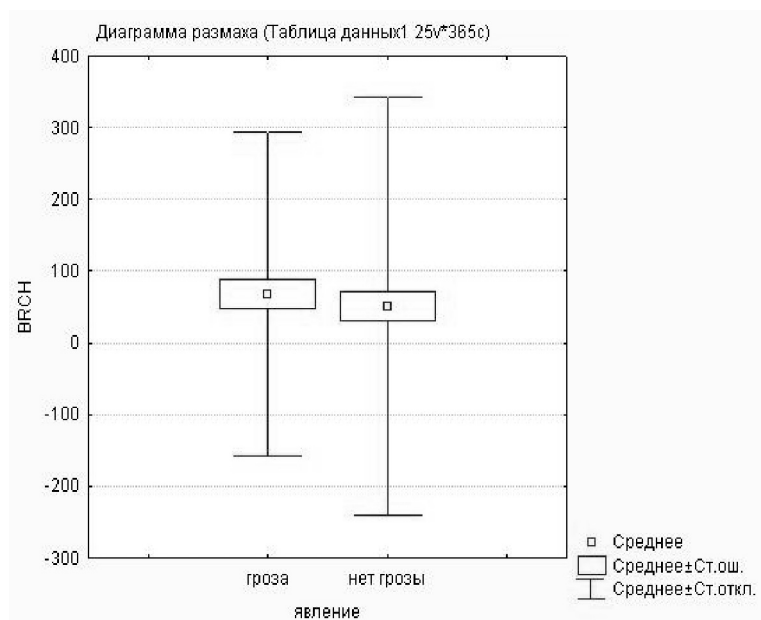
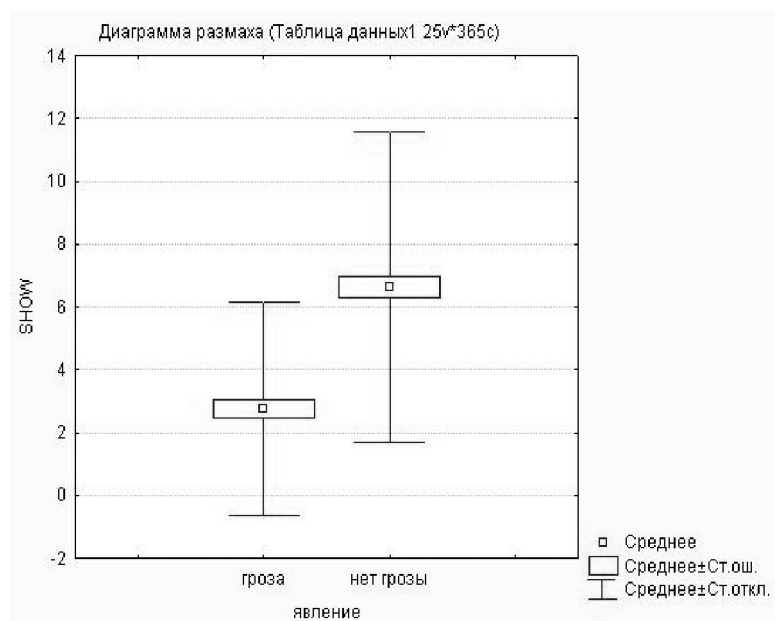


Рис. 3. Статистические характеристики индексов  
SHOW(слева), BRCH(справа)  
для трех станций за июнь месяц

Потенциальная конвективная энергия атмосферы (CAPE) над исследуемым регионом в дни с грозой менялась в среднем в интервале от 15 до 450 Дж/кг. Возможно, такие невысокие значения обусловлены тем, что аэрологическое зондирование атмосферы в нашем регионе выполняется рано утром, до начала развития конвекции (в 00 часов ВСВ, что соответствует 7 часам местного времени) и вечером, когда конвекция уже ослабевает (в 12 часов ВСВ, что соответствует 19 часам местного времени). В часы максимально возможного развития конвекции, т.е. в послеполуденные часы, зондирование не производится. Средние значения индекса CAPE по северу исследуемой территории (станция Колпашево) меньше, чем для южной части региона (станции Новосибирск и Барнаул).

С уменьшением широты значения индексов по модулю увеличивается. Пространственное распределение подобным (рис. 2) образом характерно для всех индексов. Согласно полученным данным, индекс CINS изменяется в диапазоне от  $-50$  до  $-90$  Дж/кг, что соответствует умеренной устойчивости атмосферы, по работам зарубежных авторов [2]. В мае за оба срока данные изменяются в диапазоне от  $-50$  до  $0$  Дж/кг, что соответствует слабой устойчивости атмосферы.

Для восьми выбранных индексов были построены статистические распределения. Индексы SHOW, LIFT, SWEAT, KIND, TOTL, CAPE, CINS хорошо делятся на две группы: состояние атмосферы в дни с грозой и в дни без грозы, интервалы стандартных ошибок не перекрываются (рис. 3). Только BRCH не удалось поделить на две группы, их средние слабо различаются и перекрываются в области стандартных ошибок.

В результате исследований получено, что большая часть гроз, образовалась на фоне такого состояния атмосферы, которое по работам зарубежных авторов, считается умеренно неустойчивым или слабо неустойчивым. Определены градации изменчивости индексов для дней с грозой и без грозы и произведено сравнение значений индексов с результатами, полученными ранее. Индексы TOTL и CAPE не требуют уточнения. Индекс BRCH нуждается в корректировке. Средние значения и интервалы стандартных ошибок индексов SHOW, LIFT, SWEAT, KIND, TOTL, CAPE, CINS не перекрываются при делении на две группы: с грозой и без грозы, следовательно, их можно использовать для прогноза гроз над юго-восточной территорией Западной Сибири.

*Научный руководитель: доктор геогр. наук, профессор В. П. Горбатенко.*

#### Литература

1. Горбатенко, В. П., Константинова, Д. А. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири / В. П. Горбатенко, Д. А. Константинова // Оптика атмосферы океана. 2009. Т. 22, № 1. С. 17–21.
2. Kunz, M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms / M. Kunz // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2007. 7. P. 327–342.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АКАДЕМГОРОДКА г. ТОМСКА**

**Н. С. Свинцова**

*Томский государственный университет*

Выделение и диагностика почвенных ареалов проводится преимущественно на основе установленных почвенно-ландшафтных связей и разработанной системы ландшафтной индикации, сущность которой заключается в использовании внешних легконаблюдаемых черт ландшафта в качестве показателя его труднодоступных для непосредственного наблюдения компонентов (в нашем случае – почв). Ландшафтная индикация обосновывает почвенное содержание контуров

факторной основы [1. С. 5]. Почвенно-ландшафтные и внутripочвенные связи используются как непосредственно для картографирования и типизации элементарных почвенных структур (ЭПС) и земель, так и для изучения аэрогенной трансформации почвенного покрова.

*Цель данной работы:* применение методов пространственного ландшафтного анализа при исследовании структуры почвенного покрова юго-западной части Академгородка г. Томска.

Для достижения поставленной цели решались следующие *задачи*:

- построение вероятностной модели почвенно-ландшафтных связей;
- типизация почвенных комбинаций (согласно учению В.М. Фридланда) [2. С. 5].

*Объектом исследования* послужили ландшафты окрестностей Академгородка г. Томска (юго-западная его часть), входящих в подзону мелколиственных лесов – подтайгу Томь-Яйского междуречья.

Исследуемая территория по своим орографическим особенностям представляет собой сочетание двух элементарных неделимых компонентов рельефа: плакор и склон междуречной равнины. Это обуславливает господство здесь автоморфных почв (серых лесных и дерново-подзолистых), на фоне которых выделяются еще и полугидроморфные (серые лесные глеевые, черноземно-луговые).

**Методы исследования.** Во время подготовительного периода проводилось дешифрирование аэрофотоснимков одного из основных индикаторов почв – растительности. При анализе материалов дистанционных съемок применялись визуальный и визуально-инструментальный методы.

Полевое исследование при картографировании структуры почвенного покрова (СПП) учитывало уровни организации почвенного покрова, т.е. принципиально отличалось от картографирования так называемых «преобладающих почв». Для выделения и расшифровки почвенных комбинаций (ПК), характеристики состава (а тем более, соотношения компонентов) была заложена целая групп разрезв, отнесенных к некоторым заранее намеченным контурам («единицам сравнения» по Б.Б. Полынову). Во время этого периода возрастает роль «факторных» основ, ключевого метода, и ландшафтной индикации, в целом – усиления типологической составляющей картографирования. Важной особенностью схемы почвенных исследований является метод итерации – последовательного приближения, предполагающий неоднократное повторение основных элементов съемки, таких как:

- камеральное и рекогносцировочное обследование территории;
- создание базы данных, отражающей положение почвы как основного компонента экосистемы во взаимосвязи с другими компонентами;
- картографическое изображение почвенного покрова;
- составление геоморфологической карты (рис. 1), характеризующей потенциальную неоднородность условий почвообразования.

По мере наращивания информации и ее промежуточного анализа на предварительном этапе, а также при полевых работах и завершающем камеральном периоде разработана модель почвенно-ландшафтных связей. Данная модель подразумевает заполнение выделенных ландшафтов почвенным содержанием, в то время как почвы рассматриваются в качестве почвенно-геологических тел, эволюционирующих вместе с рельефом и ландшафтом [3. С. 5].



Геоморфологическая карта юго-западной части Академгородка (г. Томск)  
М 1:10 000

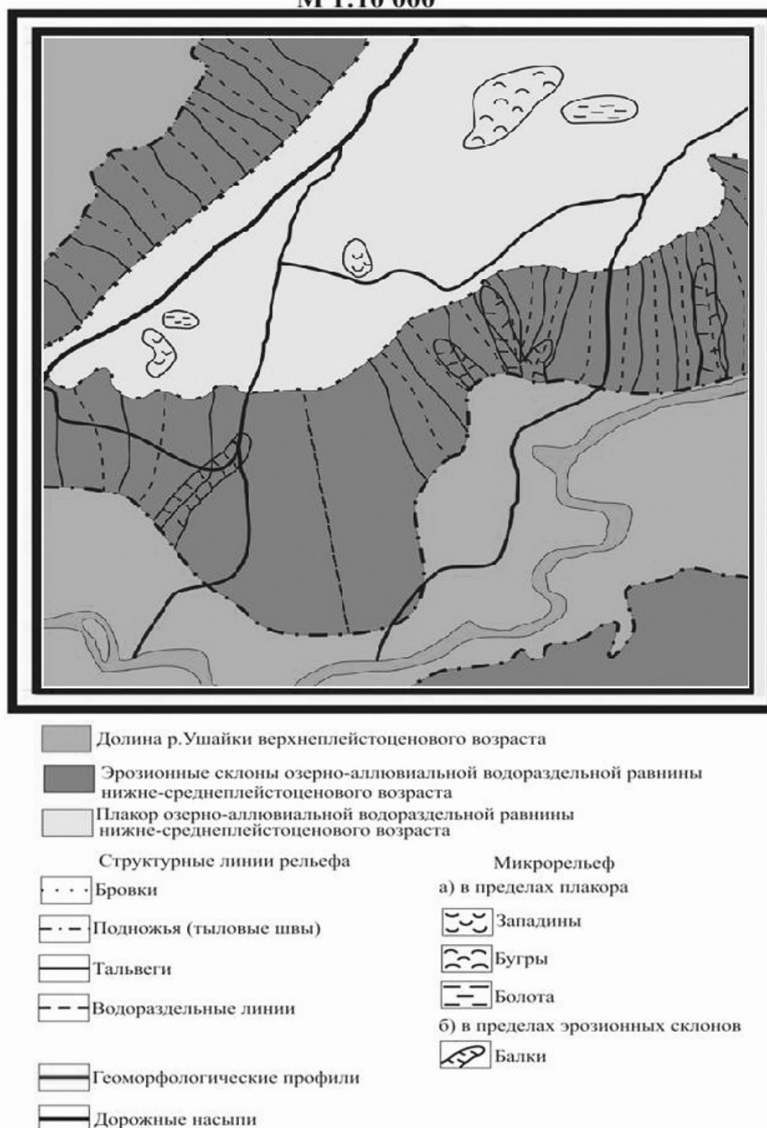


Рис. 1. Геоморфологическая карта юго-западной части Академгородка (г. Томск)

Метод ключевых участков является основным инструментом познания разнообразия и закономерностей формирования почвенно-растительного покрова в пределах определенных природно-территориальных структур [4. С. 5]. Всего было заложено 2 ключевых участка общей площадью около 50 га, исследование на которых проводилось при помощи метода геоморфологического профилирования: составлены поперечные и продольные геоморфологические профили, протяженностью от 400 до 800 м.

**Профиль I-го ключевого участка** (рис. 2) заложен на склоне междуречной равнины с бугристо-кочковатым, местами волнистым, микрорельефом. В почвенном покрове (ПП) наиболее возвышенной волнистой части водораздела преобладают комплексы темно-серых и серых лесных почв с варьированием участия этих компонентов в комбинациях. Наблюдается чередование мелких пятен данных подтипов почв, по сути относящихся к одному ряду увлажнения и взаимно обусловленных в своем развитии.

### Геоморфологический профиль I-го ключевого участка

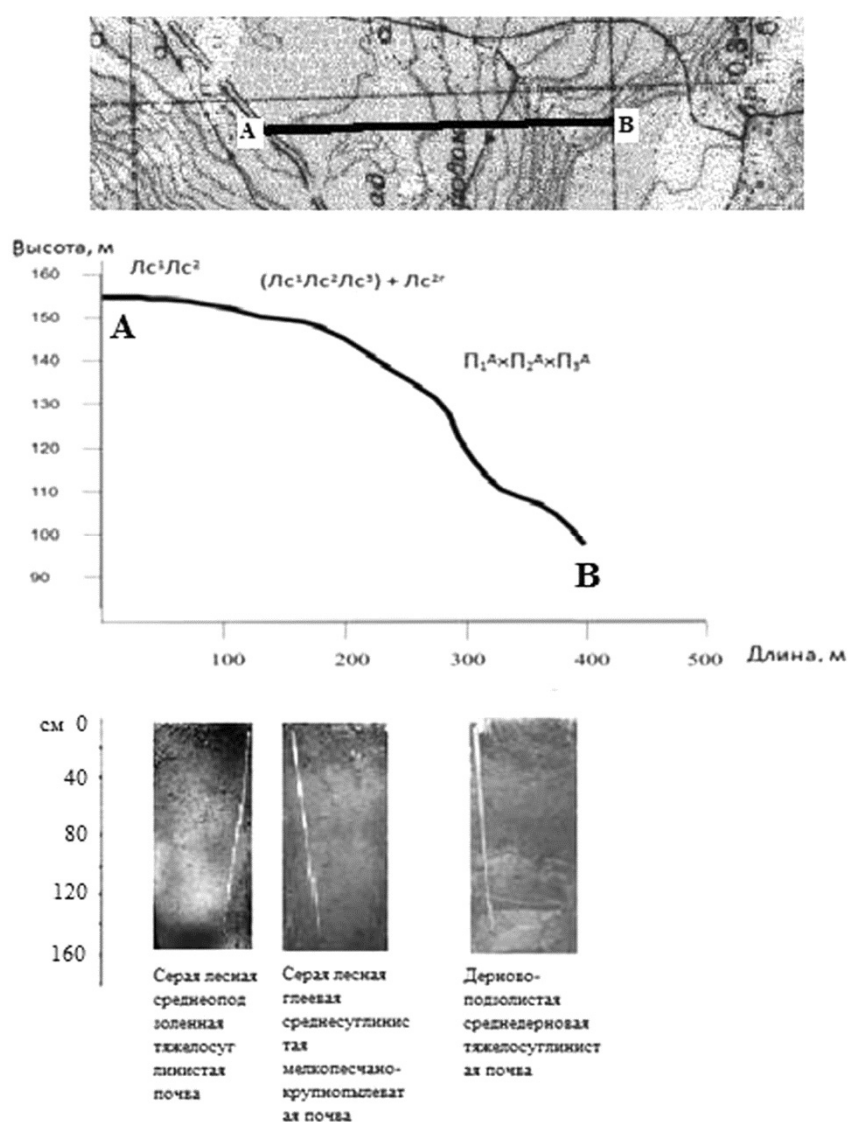


Рис. 2. Геоморфологические профили I-го ключевого участка

Растительный покров представлен березовым и смешанным березово-осиновым лесом с черемухой и лиственницей в подлеске. Средняя часть профиля характеризуется чередованием увалообразных повышений, почвенный покров которых представлен серыми лесными почвами (темно- светло- и серыми) разной степени гумусированности и оподзоливания, и межувалистых пространств, занятых темносерыми лесными грунтово-глееватыми почвами. В результате почвенный покров отнесен к семейству сочетаний, где генетическая связь между компонентами носит однонаправленный характер — одни компоненты находятся под преимущественным влиянием других. По мере приближения к р. Ушайка крутизна склона резко возрастает. Ложбины, оконтуривающие плоские водораздельные увалы, сливаясь, образуют овраги и балки. Растительный покров представлен елово-сосновыми лесами — в депрессиях; на вершине приречного увала формируются вторичные осиново-березовые и березово-осиновые леса, на склонах — сосняки. На всей исследуемой территории господствующими почвообразующим породами являются лессовидные суглинки, но на данном участке под

ними выклинивается прослойка несортированного песка с щебнем, галькой, залегающая на карбонатной тяжелосуглинистой морене, что предопределяет формирование здесь мозаик дерново-сильнопodzolistых, дерново-podzolistых поверхностно-глеевых и дерново-среднеpodzolistых почв. Границы между этими почвами определяются в первую очередь мощностью покровного суглинка, перекрывающего морену.

**Профиль II-го ключевого участка** (рис. 3). Начало профиля проходит по плакору, имеющему западинно-бугристый микрорельеф. Здесь выделяется замкнутая округлая западина, с явными признаками процессов заболачивания, занятая podzolisto-глеевыми почвами. На прилегающих повышенных участках ПП практически однородный и представлен серыми, светло-серыми и темно-серыми почвами разной степени опodzolивания, глубокие отличия между которыми были выявлены во время проведения физико-химических анализов.

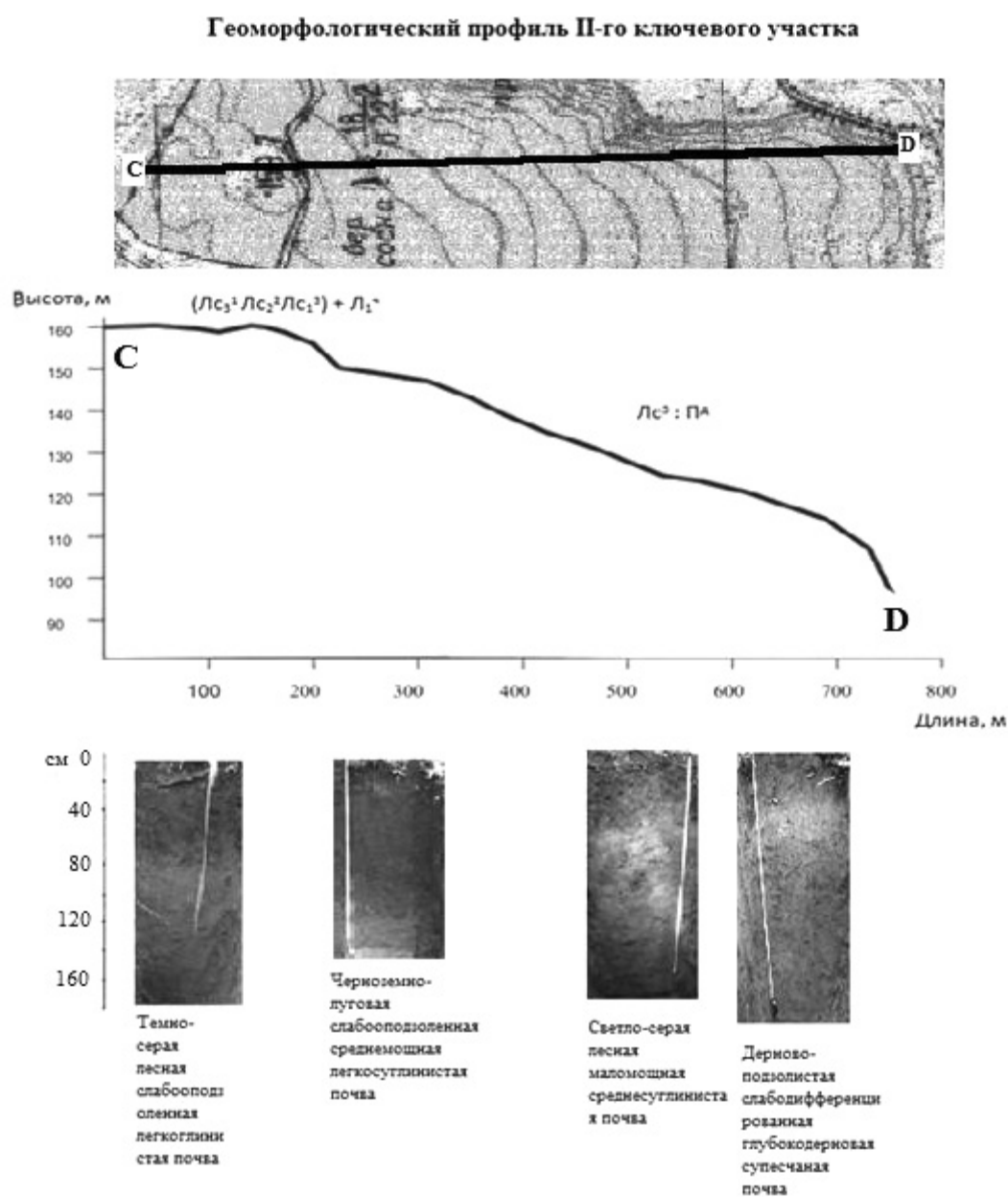


Рис. 3. Геоморфологические профили II-го ключевого участка

Так, все исследуемые почвы по гранулометрическому составу представляют собой мелкопесчано-иловатые легкие глины или песчано-пылеватые тяжелые суглинки. Процесс оподзоливания, вызывая перемещение отдельных фракций гранулометрических частиц по профилю почв, обуславливает собой неоднородность гранулометрического состава отдельных горизонтов. Изменения в соотношении фракций песка, пыли и глины по профилю почв свидетельствует о слабом проявлении процесса оподзоливания в темно-серой лесной почве, более сильно развитом процессе оподзоливания в серой почве и наиболее резко выраженном – в светло-серой лесной почве.

Повышенное содержание гумуса во многих разностях этих почв обусловлено характером растительности и климатическими особенностями. Наибольшим содержанием гумуса отличается темно-серая слабооподзоленная почва. По мере развития процесса оподзоливания количество его падает.

Светло-серая лесная сильнооподзоленная почва характеризуется наименьшим запасом гумуса. Характер распределения гумуса по профилю отдельных разностей неодинаков и сопряжен в связи со степенью выраженности процесса оподзоливания в них. Более равномерное распределение – в темносерой лесной слабооподзоленной почве.

Для серой, и особенно для светло-серой почвы характерно ясно выраженное уменьшение количества гумуса при переходе от перегнойно-аккумулятивного горизонта к элювиальному. По мере развития процесса оподзоливания и разрушения почвенного поглощающего комплекса, реакция среды сдвигается в кислую сторону и уменьшается степень насыщенности почв основаниями.

Данные почвы являются ведущими фоновыми компонентами почвенного покрова мезорельефа, пересеченного профилем: пологого склона, имеющего вогнутую по простираению поверхность, с ложбиной переходящей в балку. На плоском днище балки под снытьево-крапивной ассоциацией ПП однородный и представлен черноземно-луговыми слабооподзоленными почвами, характеризующимися сравнительно мощным гумусовым горизонтом, достигающим 45–55 см, и почти черной его окраской, которая книзу постепенно ослабевает, переходя сначала в темно-серую, а затем в серую.

Изменение в содержании обменного кальция, магния и их суммы по профилю черноземно-луговой почвы происходит постепенно. Но в иллювиальном горизонте наблюдается некоторое увеличение (до 36,1%) обменного кальция по сравнению с вышележащими горизонтами, что говорит об определенной степени оподзоленности.

Участок профиля ПП образован сочетанием серых лесных и черноземно-луговых оподзоленных почв. Вниз по склону увеличивается доля участия светло-серых лесных почв и появляются дерново-подзолистые, образующие между собой слабоконтрастные комбинации – ташеты, формирование которых связано с чередованием березово-осинового / сосново-березового леса (под которыми развиваются светло-серые лесные почвы) и вторичного осиново-березового / соснового леса (с образованием дерново-подзолистых почв).

Таким образом, рельеф и растительность – это наиболее репрезентативные ландшафтные индикаторы. Быстрота реакции их на динамику природной обстановки неодинакова. Рельеф в целом консервативнее; он эволюционирует

медленнее, чем растительность, но смена разных форм рельефа заметнее, чем изменения растительности.

Особое место в системе внутриландшафтных связей занимает почва. Важные характеристики, такие как ПП, СПП в данной работе диагностировались с помощью как раз таки применения ландшафтно-индикационного метода. Было выявлено, что структура почвенного покрова территории Академгородка (г. Томска) является поликомбинационной, по Б. А. Смоленцеву [5. С. 5], т.е. «представляет собой набор нескольких почвенных комбинаций»: комплексов темно-серых и серых лесных почв; сочетаний, образованных серыми лесными оподзоленными и грунтово-глееватыми почвами; мозаик дерново-сильнопodzolistых, дерново-среднеpodzolistых почв и дерново-слабоpodzolistых почв; сочетаний серых лесных и черноземно-луговых оподзоленных почв и ташетов светло-серых лесных оподзоленных и дерново-podzolistых почв.

Процесс оподзоливания определяется, главным образом, внутриландшафтными генетико-геохимическими связями. Так, темно-, серые лесные почвы, расположенные на элювиальных геохимически автономных плоских наиболее возвышенных элементах рельефа, получают различные вещества и энергию преимущественно из атмосферы, боковой приток с поверхностными водами отсутствует или незначителен. Светло-серые лесные оподзоленные почвы, приуроченные к трансэлювиальным геохимически подчиненным ландшафтам средних частей склонов и дерново-podzolistые почвы, развивающиеся на транссупераквальных геохимически подчиненных ландшафтах нижних частей склонов, получают вещества дополнительно к атмосферному за счет бокового притока с территорий, занятых серыми и темно-серыми лесными оподзоленными почвами. В частности, за счет латерального стока интенсивность проявления процессов выноса из верхних горизонтов почвы глинистых частиц, и полуторных оксидов увеличивается и, следовательно, сам процесс оподзоливания имеет более яркое проявление.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, ст. преп. О. Э. Мерзляков.*

#### **Литература**

1. Васильев, С. В., Чикишев, А. Г. Ландшафтная индикация / С. В. Васильев, А. Г. Чикишев. М. : Наука, 1985. 96 с.
2. Фридланд, В. М. Структура почвенного покрова / В. М. Фридланд. М. : Мысль, 1972. 422 с.
3. Втюрин, Г. М. О структуре почвенного покрова таежной зоны / Г. М. Втюрин // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2007. № 9. С. 2–9.
4. Шалькевич, Ф. Е., Топаз, А. А., Шалькевич, М. Ф. Структура почвенного покрова поймы Припяти и ее типизация на основе материалов дистанционных съемок / Ф. Е. Шалькевич, А. А. Топаз, М. Ф. Шалькевич // Земля Беларуси: научно-производственный журнал. 2010. № 2. С. 42–48.
5. Смоленцев, Б. А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов / Б. А. Смоленцев. Новосибирск : СО РАН, 2002. 117 с.

## СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ И ИСЧИСЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Н. Ю. Серая

*Томский государственный университет*

Электроэнергетика как составная часть топливно-энергетического комплекса России является одной из ведущих, определяющих развитие страны. Одной из приоритетных федеральных программ названо энергосбережение. Важный аспект энергосбережения – рациональное (оптимальное) использование световых ресурсов. Оно может быть определено как соответствие рабочего времени с максимальной освещенностью, а времени отдыха – с минимальной освещенностью или её отсутствием.

Основными показателями расхода энергии являются температура воздуха и освещенность. Освещенность определяется суммой прямой и рассеянной радиации, т.е. суммарной солнечной радиацией ( $Q$ ). Состав суммарной радиации меняется в зависимости от высоты солнца, прозрачности атмосферы и облачности. Суточный и годовой ход суммарной радиации определяется, главным образом, изменением высоты солнца. Но влияние облачности и прозрачности воздуха сильно усложняет эту простую зависимость и нарушает плавный ход суммарной радиации. Суммарная радиация существенно зависит также от широты места. С уменьшением широты ее суточные суммы увеличиваются, а амплитуда ее годового хода уменьшается.

Актинометрические наблюдения выполняются по среднему солнечному времени, определяющему положение Солнца над горизонтом и соответственно приходом суммарной радиации. Вопросы естественной освещенности зависят от огромного количества астрономических, географических, метеорологических факторов.

Известно, что с 1930 г. Россия живет по декретному времени, в соответствии с которым к поясному времени добавлен один час с целью более полного использования дневного света в течение рабочего дня и экономии электроэнергии. С 1981 г. было введено летнее и зимнее время. Зимнее время – это поясное декретное время. Летнее – это поясное декретное время и плюс один час. До марта 2011 г. в России каждый год в последнее воскресенье октября стрелки часов переводились на один час назад, а в последнее воскресенье марта – на один час вперед, т.е. регулярно осуществлялся переход от декретного (зимнего) времени к летнему и наоборот. Считается, что введение летнего времени обеспечивает дополнительный час в светлое время суток и позволяет более рационально использовать утренний свет. По подсчетам специалистов, один «летний» час дает экономию более 2 млрд киловатт-часов ежегодно. Декретное же и летнее время вместе позволяют сэкономить примерно 7 млрд киловатт-часов в год.

Тем не менее, последние три года в России идут ожесточенные споры на тему обоснованности переходов на летнее время. Встает вопрос о соответствии декретного времени биологическим процессам, об экономических аспектах при использовании современного исчисления времени в России.

По заключению врачей, основанному на специально проведенных исследованиях, перевод стрелки часов вперед на самочувствие людей не оказывает влияния. Наоборот, «лишний час» дневного света сокращает так называемое «световое голодание», в частности меньше нагрузок выпадает на зрение. Переход

с летнего времени на зимнее также никаких неудобств в повседневную жизнь людей не вносит [1]. Альтернативная точка зрения – переход на летнее и зимнее время дважды в году приводит к различным проблемам в здоровье населения, вызывает проблемы с расписанием движения всех видов транспорта и не дает экономии электроэнергии.

Целью данной работы является оценка целесообразности перехода на зимнее и летнее время.

Для выполнения поставленной цели были использованы данные по суммарной солнечной радиации ( $Q$ ) по 3 станциям: Огурцово (Новосибирск), Александровское (Томская область) и Москва. На станции Томск актинометрические наблюдения не проводятся.

Данные по метеостанциям Огурцово, Александровское были выписаны из Научно-прикладного справочника, где приведены средние многолетние значения по суммарной радиации (часовые) при средних условиях облачности [2]. Данные по станции Москва были взяты из Справочника по климату СССР (часовые суммы суммарной радиации) [3]. Данные представлены в МДж/(м<sup>2</sup>·ч).

Расчеты выполнены для всех месяцев. Время переведено в поясное декретное зимнее (ПДЗВ) и поясное декретное летнее (ПДЛВ). Были построены графики суточного хода  $Q$  для поясного декретного зимнего и летнего времени.

Графики суточного хода  $Q$  для всех рассматриваемых станций были аппроксимированы полиномом второй степени (параболой) что позволило рассчитывать суммарную солнечную радиацию за любые временные интервалы с большой точностью [4].

Для каждой станции за каждый месяц было рассчитано время ( $x_1$  и  $x_2$ ), когда суммарная радиация переходит через 0.

Найдены теоретические значения суточной величины  $Q$ . По теоретической зависимости с помощью определенного интеграла находилась площадь параболы, которая соответствовала сумме суммарной солнечной радиации за соответствующий временной интервал. В работе были взяты 2 временных интервала: период рабочего времени – от 09 до 18 часов и период с 07 до 23 часов, который считается временем бодрствования (в отличие от времени отдыха, которое принято санитарными нормами с 23 до 07 часов). Таким образом, получены значения суммарной солнечной радиации за время бодрствования и рабочее время для поясного декретного зимнего и летнего времени.

Для решения вопроса о том, какое время наиболее оптимально использует естественный солнечный свет, по рассчитанным данным нашли относительную разность  $Q_{\text{отн}}$  для ПДЗВ и ПДЛВ для рассматриваемых станций за 2 временных интервала:

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q(\text{ПДЗВ}) - Q(\text{ПДЛВ})}{Q_{\text{факт}}} 100\%,$$

где  $Q_{\text{факт}}$  – фактические суточные значения  $Q$ .

Данные представлены в табл. 1, а фактические значения  $Q$  – в табл. 2.

Из табл. 1 видно, что для времени бодрствования лучшие результаты достигаются при использовании поясного декретного летнего времени (разности

отрицательные), для рабочего времени – наиболее оптимально практически в течение всего года использование поясного декретного зимнего времени (разности положительные). В целом же различия для зимнего и летнего времени несущественны – не превышают 10–11% от фактических значений  $Q$ .

Т а б л и ц а 1

**Относительная разность в значениях суммарной солнечной радиации  
для поясного декретного зимнего и летнего времени (%)**

Месяц	Огурцово		Москва		Александровское	
	07–23	09–18	07–23	09–18	07–23	09–18
Январь	–3,8	–1,2	–6,4	6,7	–6,4	–4,9
Февраль	–2,1	5,1	–7,5	9,6	–2,6	–0,5
Март	0,1	4,7	–16,4	–1,8	–1,4	0,0
Апрель	–2,3	1,7	–1,5	3,9	–3,6	–0,3
Май	–0,9	1,5	–2,2	2,1	–5,7	0,2
Июнь	–2,3	1,5	–2,4	2,5	–4,4	0,4
Июль	–2,4	1,7	–2,5	2,0	–3,8	–0,1
Август	–0,3	2,5	–10,0	22,2	–1,6	0,6
Сентябрь	0,1	2,3	–2,1	4,0	0,2	1,3
Октябрь	–5,2	4,3	–3,4	8,2	–7,4	0,7
Ноябрь	–3,8	0,6	–13,8	7,4	0,0	0,0
Декабрь	–11,7	–4,6	–8,5	4,0	0,0	0,0

Т а б л и ц а 2

**Средние суточные значения суммарной солнечной радиации, МДж/(м<sup>2</sup>·сутки)**

Месяц	Москва	Александровское	Огурцово
Январь	1,88	1,36	2,86
Февраль	4,40	4,54	6,25
Март	9,71	10,08	11,66
Апрель	14,49	15,91	15,88
Май	18,21	18,42	19,45
Июнь	19,55	19,70	21,51
Июль	19,34	19,92	21,13
Август	14,32	14,08	16,13
Сентябрь	9,46	8,37	11,12
Октябрь	4,69	4,04	5,49
Ноябрь	2,26	1,78	3,03
Декабрь	1,42	0,80	2,04

Общий вывод, который можно сделать по результатам расчетов: жителям Томской области и ближайшего соседа – Новосибирской области, а также москвичам – примерно равнозначно пользоваться либо поясным декретным зимним, либо летним временем и нет смысла дважды в году менять время.

*Научный руководитель: канд. геогр. наук, доцент Л. И. Кижнер.*



### Литература

1. *Либрусек*: Время и календарь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lib.rus.ec/>
2. *Научно-прикладной справочник по климату СССР* : В 27 вып. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. Вып. 20. 718 с.
3. *Справочник по климату СССР* : В 34 вып., 5 ч. Л. : Гидрометеиздат, 1966. Вып. 8. 323 с.
4. *Вишняков, С. В., Кижнер, Л. И.* Суммарная солнечная радиация и современное исчисление времени / С. В. Вишняков, Л. И. Кижнер // Актуальные вопросы географии и экологии: материалы Всероссийской молодежной научной конференции 10–13 октября 2010 г. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2010. С. 143–145.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ВОСПИТАНИЯ В СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ РОССИИ**

Ю. С. Скокшина, Е. Ю. Петрова

*Томский государственный педагогический университет*

Под экологическим образованием понимают целенаправленно организованный, непрерывный, планомерно и систематически осуществляемый процесс овладения экологическими, знаниями, умениями и навыками [1. С. 1–2]. В свою очередь экологическое воспитание призвано формировать активную природоохранную позицию с помощью комплекса природоохранного и экологического обучения.

В современном мире вопросы традиционного взаимодействия природы и человека выросли в глобальную экологическую проблему. В связи с этим возросла и актуальность экологического образования и воспитания. Экологическое образование выступает той областью знаний, где обучение и воспитание подрастающего поколения является наиболее эффективным. Люди, ориентирующиеся на экологические ценности, отличаются готовностью к практическим действиям и, как правило, больше других интересуются социально-политической ситуацией в своей стране и мире.

Главным принципом современного экологического образования и воспитания в России является его непрерывность, которая выражается в систематическом формировании экологических знаний, начиная с дошкольных учреждений и заканчивая высшими учебными заведениями.

Огромная роль в становлении экологически образованной личности играют средние учебные заведения. Обусловлено это в первую очередь тем, что в школе у учащихся начинает формироваться ответственное отношение к себе, своему здоровью и природной среде.

К основным принципам экологического образования и воспитания в средних общеобразовательных учреждениях относятся [1. С. 3–4]:

1) *принцип научности*, который предполагает знакомство учащихся преимущественно начальных классов с совокупностью элементарных экологических знаний, которые в свою очередь служат основой формирования мотивации действий школьника, развития познавательного интереса, формирования основ его мировоззрения;

2) *принцип гуманистичности* связан с развитием эмоций у школьника, умения сочувствовать, удивляться, сопереживать, заботиться о живых организмах, воспринимать их как братьев по природе, уметь видеть красоту окружающего мира;

3) *принцип прогностичности*, который означает, что в результате экологического образования у учащихся формируются умение прогнозировать свои действия по отношению к окружающей среде, навыки рационального использования ресурсов, представления о существующих в природе взаимосвязях и как результат «чувство ответственности за состояние всей планеты»;

4) *принцип деятельности*, исходя из которого, учащимся необходимо принимать участие в посильных экологически ориентированных видах деятельности (например, участие в различных экологических проектах);

5) *принцип системности*, согласно которому важна последовательность усвоения экологических знаний, когда каждое последующее формирующееся представление или понятие вытекает из предыдущего;

6) *принцип преемственности*, т.е. преемственность всех звеньев системы экологического образования, когда преемственность предполагает, что содержание экологического образования школьников должно иметь тесную связь со всеми ступенями системы непрерывного экологического образования (детский сад, вуз и послевузовское образование).

Экологическая составляющая учебных дисциплин на разных ступенях школьного образования различна. Так, в начальных классах происходит закрепление и развитие знаний об окружающей природной и социальной среде, полученных школьником в семье и в дошкольных учреждениях [2. С. 1–3]. Преподавание ведется строго, логично, обязательны также образные формы обучения, обращение к искусству и художественной литературе. В этом возрасте закладываются основы экологической культуры, целостного представления о природе, формируется научное отношение к природной среде, создается необходимость ее охраны, усваиваются нормы поведения в окружающей среде и навыки элементарных экологически грамотных действий.

Каждый предмет, изучаемый в начальной школе (русский язык, чтение, математика, окружающий мир, рисование и др.), по-новому раскрывает природоведческий материал, обогащает и помогает развивать навыки общения с природными объектами [3. С. 67–70]. Так, например, на уроках русского языка учащиеся пишут свои первые художественные произведения – сочинения и сказки о природе и природных явлениях (на основе впечатлений, полученных от экскурсии, наблюдений за животными и др.). На уроках математики учащиеся составляют задачи на основе экологических знаний. Вопросы взаимодействия человека с окружающей средой находят отражением в текстовых задачах и игровых моментах для устного счета [4. С. 57–58]. На уроках изобразительно искусства с помощью красок учащиеся передают образы русской природы, пишут плакаты экологического содержания.

В среднем школьном звене главная роль в экологическом образовании отводится курсу «Естествознание» с привлечением задач по экологии, различных игровых технологий, а также некоторых видов практического общения с природой (озеленение территории, уборка мусора и т.д.) [5. С. 3]. Одной из форм практического общения с природой могут выступать экскурсии к природным объектам,

которые способствуют формированию у учащихся позитивного отношения к окружающей среде. Это происходит, главным образом, на уроках географии и биологии, путем изучения экологической составляющей каждого из этих курсов.

В старших классах некоторых школ в образовательную программу, помимо основных предметов, включено изучение так называемых интегрированных курсов по экологии – «Здоровье и окружающая среда», «Биосфера и человек», «Основы экологии», «Экология человека», «Природа и культура», «Охрана окружающей среды», на которых закрепляется и совершенствуется нравственная ориентация школьника в его отношениях с природой [5. С. 3–4]. Здесь закладываются основы диалектического понимания единства природы и общества, а охрана природы рассматривается как часть общей культуры человека. На этом этапе у школьников формируется современное мировоззрение, строящееся на интегрированных знаниях об окружающем мире и проявляющееся в ответственном, деятельностном поведении, основанном на убежденности в необходимости охраны природной среды.

Специалисты по школьному экологическому образованию особое внимание уделяют планируемой последовательности преподавания учебного материала, который тематически и методически строится следующим образом [1. С. 4]:

- 1) выяснение конкретного опыта общения школьника с природой;
- 2) ознакомление с историей возникновения и развития экологической проблемы;
- 3) формирование проблемы в современном понимании;
- 4) четкое обозначение трудностей в ее решении;
- 5) привитие правовых и этических норм общения человека с природой и соответствующая этому конкретная экологическая практика;
- 6) развитие самостоятельности и творческого отношения к предмету;
- 7) формирование у учащихся ответственного отношения к природе в целом.

Уровень современного школьного образования в России во многом зависит от внедрения в постоянную практику новых оригинальных методов и приемов обучения и воспитания [6. С. 50–57]. Так, например, в ряде школ работают «летние экологические лагеря» или, начиная с младших классов, реализуются проектные уроки: «Лес – мой друг», «Город моей мечты», «Экомагазин», «Экотеатр», «Природа и искусство» и др. Среди новых методов можно назвать повсеместную и непрерывную (от младших до выпускных классов) компьютеризацию экологического образования.

В настоящее время появилось много альтернативных средних учебных заведений дополнительного экологического образования, к которым относятся «фермерские» школы в сельской местности, целью которых является воспитание у учащихся любви к природе и бережного отношения к ней, к воспитательному процессу в таких школах привлекаются специалисты, руководители и работники передовых крестьянских (фермерских) хозяйств. Также к альтернативным средним учебным заведениям относятся заочные экологические лицеи для учеников сельских школ и малых городов, лагеря и школы по отдельным направлениям экологического и биологического образования и т.д.

Примером реализации экологического образования и воспитания в школе может служить урок-лекция по теме «Внимание, батарейки!», который был проведен в рамках экологической акции Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды среди учащихся 5–7 классов г. Томска.

Цель урока: показать насколько опасна использованная батарейка для окружающей природной среды. Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи:

- 1) рассказать о строении батареек и их видах;
- 2) показать, как утилизируются батарейки в разных странах;
- 3) охарактеризовать экологические проблемы от использованной батареек и выявить пути их решения;
- 4) дать практические советы по использованию батареек с целью уменьшения их экологического вреда.

В начале урока был проведен опрос с целью выявления первоначальных знаний об использованных батарейках, который показал, что учащиеся не знают насколько может быть опасна для окружающей среды отработавшая свой срок батарейка.

В лекции рассказывалось о вреде использованных батареек для здоровья человека и окружающей среды, после которой с учащимися проводилась игровая кругосветка на закрепление полученных знаний о батарейках. В заключение урока давались практические советы по использованию батареек, с целью уменьшения их экологического вреда, например: использовать перезаряжающиеся аккумуляторные батарейки, покупать батарейки с маркировкой «без ртути», «без кадмия», никогда не выбрасывать батарейки вместе с другим мусором, а воспользоваться специальными емкостями в пунктах сбора, если таковые имеются и др.

Опрос, проведенный после урока-лекции, свидетельствует об изменении знаний и представлений школьников о вреде использованных батареек. Так, большая часть учащихся были серьезно заинтересованы данной проблемой и обещали в будущем ответственно относиться как к выбору покупаемой батарейки, так и к утилизации использованной батарейки.

Таким образом, среди множества форм реализации экологического образования и воспитания, наиболее распространенной в педагогической практике является урок. Данный урок позволяет утверждать, что интересный материал, раскрывающий какую-либо экологическую проблему, а также нетрадиционная его подача способствуют экологическому образованию и воспитанию школьников.

*Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент Е. Ю. Петрова.*

#### **Литература**

1. *Экологическое образование: опыт и перспективы развития* [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Режим доступа: [http://www.mnr.gov.ru/old\\_site/part/actmoreid=661](http://www.mnr.gov.ru/old_site/part/actmoreid=661)
2. *Экологическое образование и воспитание* [Электронный ресурс] // Экологический портал. Режим доступа: <http://ecology-portal.ru/publ/9>
3. *Экологическое образование школьников: проекты и программы ОУ Томской области* / под ред. Т.В. Хахалкиной. Томск : РЦРО, 2007. С. 80.
4. *Амелькович, Е. Л.* Неделя экологии в школе / Е. Л. Амелькович // География в школе. 2006. № 2. С. 70.
5. *Принципы экологического образования в России* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ecorisks.ru/2009/10/ekologo-obrazovatelnyj-process.htm>
6. *Тюмасева, З. И.* Почему экологическое образование не выполняет свою основную функцию / З. И. Тюмасева // Народное образование. 2003. № 2 (1325). С. 60.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ГОРОДИЩА РЮЗАКОВО

Н. А. Студенкова

*Томский государственный университет*

Городище Рюзаково (Духовое) находится в пределах Томь-Обского междуречья. Оно расположено на коренной террасе р. Томи. Городище мысовое, образованное Иштанской протокой р. Томи, которая омывает его с северо-востока и небольшим безымянным внутренним озером, омывающим мыс с северо-запада. Высота террасы относительно поймы в месте расположения памятника составляет 15–18 м. В периоды обширного весеннего паводка озеро затопляется, сливается с протокой и образует обширный залив не менее 0,25 км в ширину, который врезается в берег на 0,5 км. Внутренняя площадка памятника представлена относительно ровным рельефом. Площадь городища имеет уклон, где наиболее возвышенной является южная его часть. К западу, рельеф постепенно понижается, плавно переходя в склон. Перепад высот между южной и северной, частями памятника составляет 1,5 м.

Памятник активно разрушается осыпью берега Иштанской протоки р. Томи, кроме того, центральная часть памятника частично повреждена при проведении лесохозяйственных работ моряковским лесничеством. С юга к городищу примыкает поселение [1. С. 23–30].

Большая часть территории исследования покрыта разновозрастным сосняком зеленомошниковым. Широкому распространению сосняков благоприятствуют песчаные отложения, которые выступают в качестве почвообразующих. Подлесок негустой, но разнообразный по видовому составу: редко встречается рябина, акация. Напочвенный покров представлен преимущественно зеленым мхом, среди которого редко встречаются кустарнички, костяника, хвощ лесной, лесная осочка и майник двулистный. Климат благоприятен для роста и развития лесной древесной растительности, и обеспечивает её довольно высокую биомассу. Большое количество осадков создает, особенно в понижениях рельефа, избыточное увлажнение. Преобладание летних осадков, совпадающих с периодами максимальных температур воздуха, обеспечивает высокую интенсивность микробиологических процессов, что создает благоприятную обстановку не только для гумификации органических веществ, но и их минерализации.

В полевой сезон 2009–2010 гг., на территории городища Рюзаково (Духовое) были заложены почвенные разрезы на разных высотных отметках. Рассмотрим на примере двух почвенных разрезов. Разрез 1 (координаты 56°44'100" с.ш., 084°35'316" в.д.), согласно Классификации и диагностики почв СССР [2. С. 223] представлен подзолистой псевдофибровой глубокоподзоленной песчаной почвой. Разрез 2 заложен в нижней трети склона (координаты 56°44'005" с.ш., 084°35'569" в.д.) и представлен дерново-подзолистой псевдофибровой глубокоподзоленной супесчаной почвой.

Исследованные подзолистые песчаные (разрез 1) и супесчаные (разрез 2) почвы, характеризуются отчетливой дифференциацией почвенного профиля. При морфологическом обследовании под слоем лесной подстилки ( $A_0$ ) мощностью 4–6 см в почве, представленной разрезом 2, выделен маломощный гумусовый горизонт ( $A_1$ ), свидетельствующий о присутствии слабо проявляющегося

процесса гумусонакопления. В белесых, обогащенные кремнеземом элювиальных горизонтах ( $A_2$ ), встречаются мелкие включения угля, свидетельствующих о лесных пожарах. Кремнеземистая присыпка из элювиального горизонта по трещинам и ходам корней проникает в верхнюю часть иллювиального горизонта. Иллювиальный горизонт (Bt) обладает наибольшей во всем профиле плотностью за счет вымывания в него илистой фракции из элювиальной толщи. Горизонт имеет характерную бурую окраску с чередующимися ржавыми и ржаво-оранжевыми псевдофибровыми прослойками, цементированными полутонкими окислами. Е.М. Непряхин [3. С. 440] отмечает, что их образование тесно связано с передвижением в песчаной толще железистых коллоидных растворов, которые фильтруются через почвенную толщу и задерживаются в более тонкозернистых песчаных слоях, но со временем происходит потеря воды и полутонкие окислы выпадают в форме геля, образуя ортзанды. Нижняя часть почвенного профиля имеет признаки глубинного оглеения, об этом свидетельствуют сизоватые пятна. Появление ярких железисто-марганцевых конкреций есть следствие чередующихся восстановительных и окислительных процессов в период медленного весеннего оттаивания почвы.

Подзолистые почвы района исследования сформированы на слоистых породах супесчано-песчаного состава. Характеризуя гранулометрический состав почв, следует отметить преобладание песчаных фракций, наследованных от почвообразующих пород. Профильное распределение илистой фракции носит элювиально-иллювиальный характер, что свидетельствует о проявлении подзолообразовательного процесса, особенно в дерново-подзолистой почве.

Главным источником гумусовых веществ в подзолистых и дерново-подзолистых почвах является поверхностное поступление опада из хвои, отмерших частей мхов, листьев и отмерших мелких корней травянистой растительности. В подзолистой почве абсолютное количество гумуса составляет 1,56% и резко убывает вглубь профиля до 0,06%. Содержание гумуса в дерново-подзолистой псевдофибровой глубокоподзоленной почве в 2 раза выше, чем в подзолистой и составляет 3,38%, но характер профильного распределения одинаков. Этот факт объясняется тем, что напочвенный покров первой представлен преимущественно мхами, в то время как во второй присутствует небольшое количество высшей травянистой растительности, обеспечивающий слабое проявление дернового процесса, способствующего формированию гумусового горизонта, накоплению гумуса и интенсивности биологической аккумуляции веществ. Содержание валовых форм азота и фосфора низкое, что согласуется с профильным распределением гумуса.

Элювиально-иллювиальный процесс в подзолистых почвах обуславливает кислую реакцию среды, особенно органогенных и элювиальных горизонтов, в которых происходит образование агрессивных фульвокислот и низкомолекулярных органических кислот, способных к разрушению первичных и вторичных минералов. Кислые продукты частично нейтрализуются основаниями из опада и почвы, что приводит к уменьшению кислотности с глубиной. В подзолистой почве, представленной разрезом 1, pH солевой вытяжки составляет 3,18 и увеличивается с глубиной до 4,9. И.М. Гаджиев [4. С. 152], исследуя подзолистые почвы средней тайги Западной Сибири, отмечал, что видимо переход реакции среды в иллювиальном горизонте в менее кислый интервал объясняется конденсацией

приносимого сюда органического вещества и последующим его осаждением. В дерново-подзолистой почве (разрез 2) профильное распределение рН солевой вытяжки равномерное, варьирует в узких пределах от 4,01 до 4,83.

При разложении наземного и подземного опада образуются органические кислоты, которые обуславливают проявления гидролитической кислотности. Наиболее высокая гидролитическая кислотность обнаруживается в верхней 30-сантиметровой толще, где наиболее ярко проявляется подзолообразовательный процесс. Степень насыщенности основаниями в верхней части профиля низкая, и увеличивается к почвообразующей породе.

Таким образом, наряду с генетической общностью подзолистых почв городища Рюзаково (Духовое), выявляются и различия, которые определяются качественным набором почвообразовательных процессов.

*Научные руководители: канд. биол. наук, доцент Т.П. Соловьева; ст. науч. сотр. Д. Ю. Рыбаков (Музей г. Северска).*

### **Литература**

1. Рыбаков, Д. Ю. Городище Рюзаково (Духовое) – памятник кулайской эпохи / Д. Ю. Рыбаков. Томск : Изд-во ТГПУ, 2004. С. 23–30.
2. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 233 с.
3. Непряхин, Е. М. Почвы Томской области / Е. М. Непряхин. Томск : Изд-во ТГУ, 1977. 440 с.
4. Гаджиев, И. М., Овчинников, С. М. Почвы средней тайги Западной Сибири / И. М. Гаджиев, С. М. Овчинников. Новосибирск : Наука, 1977. 152 с.

## **ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ТОМСКОГО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

**А. И. Судникова, Е. С. Волкова, Н. В. Алпатова**  
*Томский государственный педагогический университет*

Томск – старейший за Уралом образовательный и научный центр России, второе неофициальное название Томска – Сибирские Афины. В нем начиналось становление высшего многопрофильного образования в Азиатской части России от Урала до Тихого океана. Крупнейшие вузы Томска имеют более чем столетнюю историю: в 1888 г. был открыт первый за Уралом вуз – Императорский Томский университет (ныне Томский государственный университет); в 1900 г. – первый технический вуз – Технологический институт императора Николая II (ныне Томский политехнический университет), в 1902 г. – первый педагогический – Томский учительский институт (ныне Томский государственный педагогический университет) [1; 2].

Проблема регионализации науки и формирования научных «центров» и «периферий» осмысливалась уже с конца XIX в. [3]. Вектор научных стратегий в XX в. был связан с усилением тенденций к децентрализации управления. Во второй половине 50-х гг. XX в. советские руководящие органы приняли решение об ускоренном освоении Сибирского региона [4]. В связи с этим учеными Академии наук СССР (АН СССР, в настоящее время Российская академия наук –

РАН) были разработаны экономические и научные обоснования этого масштабного проекта. В целях успешного развития производительных сил Сибири в 1957 г. было создано Сибирское отделение Академии наук СССР (СО АН СССР, ныне СО РАН), которое впоследствии обеспечило развитие наукоемких технологий и внедрение их в народное хозяйство. В рамках расширения региональной сети СО АН СССР, в г. Томске была создана группа научно-исследовательских учреждений (НИУ), позже на их базе был открыт Томский филиал (ТФ СО АН СССР, сейчас Томский научный центр СО РАН – ТНЦ СО РАН).

Постепенно в Томске организовывались группы научно-исследовательских учреждений СО АН СССР. Так, первым НИИ стал Институт оптики атмосферы СО АН СССР, созданный в 1969 г. В последующие годы были организованы: Институт химии нефти СО АН СССР (1970 г.), Специальное конструкторское бюро научного приборостроения «Оптика» (СКБ НП «Оптика», 1972 г.), лаборатория бонитировки почв Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР (1972 г., сейчас лаборатория бонитировки и экологии почв ИМКЭС СО РАН), Институт сильноточной электроники СО АН СССР (ИСЭ СО АН СССР, 1977 г.), отдел экспериментальных геофизических исследований в составе ИХН СО АН СССР (1978 г., сейчас ТФ ИГНГ СО РАН). Таким образом, можно говорить о том, что к началу 1980-х гг. Томск представлял собой крупный научный комплекс.

Открытые в период с 1969 по 1979 г. томские академические институты увеличивали свою численность за счет создаваемых структурных подразделений и расширения полезных площадей для проведения научных исследований. Всего к моменту открытия филиала в его академических учреждениях работало 313 научных сотрудников, в том числе один член-корреспондент АН СССР, 5 докторов и 103 кандидата наук [4]. Ведущие томские ученые постоянно участвовали в работе международных научных организаций. Академические НИУ г. Томска проводили фундаментальные исследования и занимались разработками прикладного характера, которые были востребованы разными отраслями народного хозяйства страны.

На современном этапе развития научно-образовательный комплекс Томска по праву является одним из важных секторов экономики, представляя ее особые возможности и интеллектуальные ресурсы [5]. Он уникален по своему составу, интеграционной основой взаимодействия университетской и академической науки. В настоящее время томский научно-образовательный комплекс включает: 9 вузов (из них 6 университетов), 6 научных организаций СО РАН, 6 научных организаций СО РАМН, 7 научных институтов при университетах, 13 проектных и отраслевых институтов. В них преподают и проводят исследования 5 402 докторов и кандидатов наук [6]. Томск является одним из немногих городов в мире с уникально высоким процентом не только исследователей, но и студентов (каждый пятый житель – студент) [7]. Высшее образование имеет каждый третий житель области.

Начиная с 2005 г. на фоне усиления финансирования профессионального образования и науки стал существенно возрастать и объем наукоемкой продукции. В значительной степени это связано с тем, что на протяжении многих лет в Томской области системно формируется инновационная инфраструктура, которая, безусловно, способствует интенсивному развитию наукоемкого бизнеса. Прежде всего, в нее входит фундаментальная наука, поскольку именно наука –



это та база, без которой просто бессмысленно говорить об инновационной деятельности. В области выстроена и функционирует вся цепочка модели инновационного развития региона: образование – научные исследования – инновационный продукт – рынок [8].

Образовательному блоку принадлежит главная роль. Томские университеты являются одновременно и поставщиками кадров для всей системы инновационного движения научных разработок и источником инноваций, генератором новых идей. В 2006–2008 гг. три томских вуза – ТГУ, ТПУ, ТУСУР стали победителями федерального конкурса, проводимого Министерством образования и науки РФ, по направлению «Поддержка вузов, внедряющих инновационные образовательные программы» [9].

В мае 2006 г. в рамках приоритетного национального проекта «Образование» ТУСУР стал победителем в конкурсе образовательных учреждений высшего профессионального образования, внедряющих инновационные образовательные программы. В ТУСУРе создана инфраструктура «Учебно-научный-инновационный комплекс ТУСУР» (УНИК ТУСУР), который составляют научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, студенческие конструкторские бюро, Инжиниринговый центр, первый в стране научно-технологический парк, студенческий бизнес-инкубатор, научные лаборатории и наукоемкие фирмы.

В 2009 г. ТПУ вошел в число победителей конкурса «Национальный исследовательский университет», получившим категорию «НИУ». ТПУ является учредителем некоммерческого партнерства по научной и инновационной деятельности «Томский атомный центр» и межведомственного центра нанотехнологий «Томскнанотех». В университете осуществляется подготовка элитных специалистов и команд профессионалов мирового уровня по приоритетным направлениям науки, техники и технологий. Сформированы системные решения по семи центрам опережающей подготовки элитных специалистов и команд профессионалов мирового уровня: материаловедение, наноматериалы и нанотехнологии, атомная энергетика, ядерный топливный цикл, технологии водородной энергетики, энергосбережение и возобновляемые источники энергии, рациональное природопользование и экологически безопасные технологии, разработка месторождений, транспортировка, переработка нефти и газа.

В 2010 г. ТГУ стал победителем конкурса по отбору программ развития университетов, в отношении которых устанавливается категория «Национальный исследовательский университет». В настоящее время университет обладает развитой инновационной инфраструктурой, включающей учебные, научные, внедренческие центры. Предусмотрена постоянная модернизация содержания преподаваемых дисциплин, достигающаяся путем введения в образовательные программы результатов научных исследований, практикоориентированных подходов, повышение профессионализма преподавательского состава, реконструкция учебных помещений и лабораторий. При этом особое внимание уделяется образовательным программам по приоритетным направлениям науки и техники: «Информационно-коммуникационные системы», «Индустрия наносистем и материалы», «Живые системы», «Рациональное природопользование».

Эффективность работы томского научно-образовательного подтверждается созданием на территории области в 2005 г. Особой экономической зоны Технико-внедренческого типа, основные направления работы которой совпадают

с приоритетными направлениями развития Томской области: новые материалы и нанотехнологии; промышленная электроника и приборостроение; исследования в области биотехнологий [10; 11]. Сформированная в области инновационная инфраструктура обеспечивает системную поддержку инновационной деятельности, включая коммерциализацию результатов научной деятельности (офисы коммерциализации разработок и центры трансфера технологий), генерацию наукоемкого бизнеса (бизнес-инкубаторы и инновационно-технологические центры) и заканчивая широким спектром консалтинговых услуг инновационно активным организациям (в сфере инновационного бизнеса). По итогам заседания Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России, состоявшегося в г. Томске 11 февраля 2010 г., ее членами было отмечено, что территория Томской области располагает одними из лучших в России инновационным потенциалом и инфраструктурой для реализации высокотехнологичных проектов [12].

В настоящее время разработаны концептуальные основы формирования в регионе «Федерального центра образования, исследований и разработок», объединяющего в единую систему действующие на территории элементы образовательной, научной, инновационной инфраструктуры. В рамках данного комплекса планируется создать уникальную предпринимательскую среду, обеспечивающую генерацию новых знаний и прорыв по приоритетным направлениям модернизации России. В рамках программы «Иннотомск 2020» рассматриваются территориальные возможности Томска для развития инновационной среды города. Территориальным ресурсом здесь выступает Левобережье, которое может стать экспериментальной площадкой для внедрения этой модели градостроительной организации инновационной среды.

Таким образом, Томск обладает высоким потенциалом для развития науки, образования и высокотехнологичного инновационного бизнеса, так как он является не только исторически сложившимся, но и одним из ведущих крупных научных центров России, университеты которого входят в пятерку лучших учебных заведений страны. Ключевыми преимуществами города выступают высокий уровень развития многопрофильного научно-образовательного комплекса, обеспечивающий соответствующий кадровый и научный потенциал территории; динамичное развитие технико-внедренческой деятельности, в том числе по наиболее приоритетным для РФ направлениям (новые материалы и нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии, медицинское приборостроение, телекоммуникации и точное приборостроение); действующая система поддержки инновационного предпринимательства, включая соответствующую инновационную инфраструктуру. Все это является особенностями регионального развития Томского научно-образовательного комплекса.

*Научные руководители: канд. геогр. наук, доцент Е. С. Волкова, ассистент Н. В. Алпатова.*

#### **Литература**

1. Волкова, Е. С. Эволюция социально-экономической системы Томской области: историко-географический аспект / Е. С. Волкова // География и природные ресурсы. 2008. № 4. С. 111–116.
2. Научно-образовательный комплекс Томской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://investintomsk.com/ru/tomsk/personnel.html>

3. *Узбекова, Ю. И.* «Центр» и «Периферия» в развитии академической науки в восточных регионах страны в XX в. / Ю. И. Узбекова. Томск, 2009. 23 с.
4. *Матвеев, Д. М.* История академических учреждений Сибирского отделения Академии наук СССР г. Томска: от Института оптики атмосферы до Научного центра (1968–1991 гг.) / Д. М. Матвеев. Томск, 2006. 24 с.
5. *Кобзев, А. В.* Университеты – питательная среда инновационного развития территории / А. В. Кобзев // IX Всесибирский инновационный форум. Томск, 11–13 октября 2006 г. Тверской Инноцентр, 2007. С. 94–104.
6. *Независимое* рейтинговое агентство в сфере образования НРА РейтОР. Рейтинг российских вузов по научным достижениям. Москва, 2009. 13 с.
7. *Псахье, С. Г.* Томский научно-образовательный комплекс как основа инновационного развития региона / С. Г. Псахье // Наука в Сибири. Томск, 2009. 6 с.
8. *Доклад* Губернатора Томской области В. М. Кресса на торжественном собрании, посвященном празднованию Дню науки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kress.tomsk.ru/publications/speeches>
9. *Приоритетный* национальный проект «Образование» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://investintomsk.com>
10. *Алпатова, Н. В., Шадрин, А. И.* Формы территориальной организации науки (зарубежный и отечественный опыт) / Н. В. Алпатова, А. И. Шадрин // География и геоэкология Сибири: материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню Земли, Году учителя – 2010 в рамках национальной образовательной инициативы «Наша новая школа» 22 апреля 2010 г. Красноярск, Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск, 2010. Вып. 5. С. 330–332.
11. ОЭЗ (технико-внедренческая зона) в Томске [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://obzor.westsib.ru/event/44>
12. *Электронный ресурс*: <http://investintomsk.com>

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕСТНОСТИ НА КОНВЕКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АТМОСФЕРЫ**

Е. Л. Тунаев, \*Д. А. Константинова  
*Томский государственный университет*  
*\*Институт физики высоких напряжений, ТПУ*

Гроза – это одно из основных проявлений атмосферного электричества. Как известно, грозы представляют большую опасность для авиатранспорта, газо- и нефтепроводов и высоковольтных линий электропередачи. Громадный ущерб народному хозяйству и экономике наносят лесные пожары, вызванные грозами. Известно также, что грозовые процессы вызывают у людей обострение сердечно-сосудистых заболеваний. Вместе с тем нельзя не отметить положительную роль гроз – они являются генераторами озона, а каждый разряд на землю приносит тонны диоксида азота.

Любое изменение климата приводит к изменению характеристик грозовой деятельности в различных географических регионах. Поэтому очень актуальны исследования и оценка параметров гроз и воздействия на них различных естественных и антропогенных факторов [1].

До настоящего времени на территории юга Западной Сибири не проводилось полноценных долгосрочных исследований грозовой активности, а если они и проводились, то были незначительными и носили эпизодический характер. Но для

описания климата рассматриваемой территории необходимы не только данные о полях основных метеорологических величин, таких как температура и влажность воздуха, давление, скорость и направление ветра, но и данные о грозовой активности. Изменение ее по территории носит крайне неоднородный характер. Одним из важных факторов, влияющих на распределение грозовой активности, является физико-географическое положение рассматриваемой территории.

В настоящей работе проведена оценка влияния физико-географических особенностей местности на конвективный потенциал атмосферы на юго-восточной территории Западной Сибири. Трудности прогнозов развития опасных конвективных явлений обусловлены тем, что пороговые значения энергии неустойчивости или других, характеризующих неустойчивость атмосферы величин, начиная с которых появляется значительная вероятность развития того или иного опасного конвективного явления зависят от местных условий.

Целью настоящего исследования является выявление закономерностей влияния физико-географических особенностей на конвективный потенциал атмосферы, а также анализ термодинамических характеристик состояния атмосферы по данным аэрологического зондирования атмосферы в восьми пунктах юго-восточной территории Западной Сибири. Координаты станций и высоты над уровнем моря приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Координаты станций и высота над уровнем моря**

Станция	Широта места (с.ш.)	Долгота места (в.д.)	Высота станции над уровнем моря (м)
Абакан	53°43'	91°25'	248
Александровское	60°26'	77°54'	48
Барабинск	55°21'	78°21'	120
Барнаул	53°21'	83°47'	184
Горно-Алтайск	51°57'	85°58'	294
Енисейск	58°28'	92°08'	79
Колпашево	58°19'	82°55'	75
Новосибирск	55°02'	82°55'	111

В целом, на рассматриваемой территории прослеживается повышение высоты над уровнем моря (рельефа) в направлении с северо-запада на юго-восток.

Термодинамические характеристики состояния атмосферы, полученные на основе данных радиозондирования в пунктах Западной Сибири: Абакан, Александровское, Барабинск, Барнаул, Горно-Алтайск, Енисейск, Колпашево и Новосибирск, за сроки 00 и 12 часов ВСВ (всемирное скоординированное время) доступны на сайте [2].

В работе рассмотрены пять термодинамических характеристик состояния атмосферы [3–6]: индекс SHOW (Showalter index) основан на свойствах уровней 850 и 500 гПа:

$$\text{SHOW} = T_{500} - T_{\text{parcel}}, \quad (1)$$

где  $T_{500}$  – температура на уровне 500 гПа, °С;  $T_{\text{parcel}}$  – температура частицы на уровне 500 гПа, поднимающейся с уровня 850 гПа, °С.

Индекс LIFT оценивает степень стабильности:

$$\text{LIFT} = T_{500} - T_{\text{parcel2}}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{parcel2}}$  – температура частицы на уровне 500 гПа, поднимающейся с уровня 500 м над земной поверхностью при среднем давлении, температуре и точке росы, °С.

Индекс TOTL оценивает как статическую стабильность, так и влажность на уровне 850 гПа.

$$\text{TOTL} = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{500}), \quad (3)$$

где  $T_{850}$  – температура на уровне 850 гПа, °С;  $TD_{850}$  – температура точки росы на уровне 850 гПа, °С.

Индекс SWEAT оценивает потенциал (вероятность) неблагоприятных явлений погоды:

$$\text{SWEAT} = 12TD_{850} + 20(\text{TOTL} - 49) + 2SKT_{850} + SKT_{500} + \text{SHEAR}, \quad (4)$$

где  $SKT_{850}$  и  $SKT_{500}$  – скорости ветра в узлах на уровнях 850 и 500 гПа;  $\text{SHEAR}$  – сдвиг ветра между уровнями 500 и 850 гПа.

Индекс KIND (K index) оценивает возможность возникновения гроз, основанную на вертикальном градиенте температуры и вертикальной протяженности уровня влажности:

$$\text{KIND} = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700}), \quad (5)$$

где  $T_{700}$  – температура на уровне 700 гПа, °С;  $TD_{700}$  – температура точки росы, на уровне 700 гПа, °С.

По изменениям индексов SHOW и LIFT, описывающих латентную нестабильность, за три летних месяца можно выделить очаги пониженных значений индексов (рис. 1), что соответствует наибольшей неустойчивости атмосферы в данных районах. Так в июне наблюдаются лишь очаги с незначительной активностью, которые располагаются на востоке территории от Енисейска на севере до Абакана на юге. В июле возможна неустойчивость атмосферы в районе Барабинска и Новосибирска (наблюдаются минимальные за весь летний период значения 1,4 и 1,6 соответственно). В августе незначительная активность наблюдается на юге и юго-востоке территории в районе Новосибирска и Абакана.

По изменениям индексов SWEAT, KIND и TOTL за три летних месяца было выявлено следующее (рис. 2): KIND и TOTL показывают, что в июне и августе незначительная активность атмосферы на западе и юго-востоке территории в районе Барабинска и Абакана. В июле неустойчивость атмосферы больше всего проявляется в центральных районах территории (Новосибирск, Барнаул), наблюдаются максимальные за весь летний период значения 140, 28,5 и 48 соответственно.

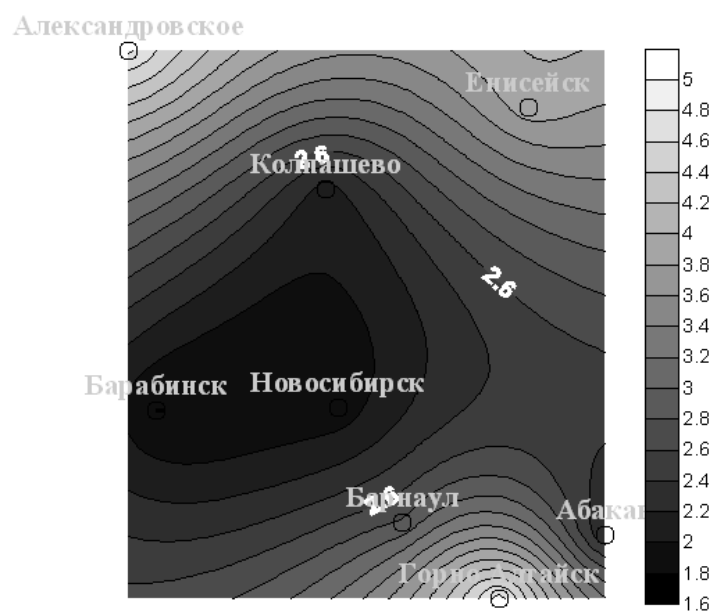


Рис. 1. Очаги пониженных значений индекса LIFT в июле

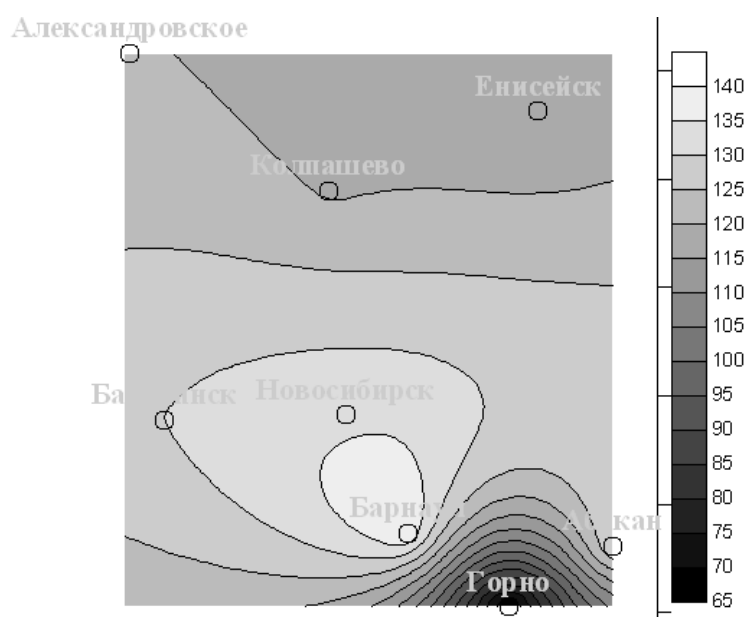


Рис. 2. Очаги повышенных значений индекса SWEAT в июле

При анализе корреляционной зависимости между средними значениями аэрологических индексов и высотой станций (рельефом) получилось следующее (табл. 2):

Т а б л и ц а 2

**Корреляционная зависимость значений основных индексов от рельефа территории**

00 часов				
Индексы	LIFT	SWEAT	KIND	TOTL
июнь	0,96	−0,50	−0,12	0,98
июль	0,15	−0,46	−0,17	0,16
август	0,29	−0,79	−0,56	0,22

За срок 00 часов: в июне наибольшая корреляция наблюдается у индексов LIFT, TOTL и SWEAT (0,96; 0,50 и 0,98 соответственно). В июле наибольшая корреляция наблюдается только у SWEAT и имеет обратную зависимость и составляет менее 0,5 ниже нуля. В августе значительная отрицательная корреляция наблюдается у SWEAT и KIND (–0,79 и –0,56 соответственно). В остальных случаях корреляция была незначительной и не превышала 0,35 выше и ниже нуля.

Таким образом, было выявлено:

1. Наиболее полно корреляционная зависимость значений индексов от физико-географических особенностей местности проявляется в срок 00 часов, так как в срок 12 часов сказывается влияние дополнительного нагрева вследствие солнечного излучения.

2. Среди представленных индексов наибольшей зависимостью от рельефа в июне обладают LIFT и TOTL, а в августе SWEAT и KIND.

3. В июне у индексов LIFT и TOTL наблюдаются положительные значения корреляции: 0,96 и 0,98 соответственно.

4. В июле корреляционная связь между рельефом территории и значениями индексов не прослеживается.

5. В августе наблюдаются отрицательные значения корреляции индексов SWEAT и KIND (0,96 и 0,98 соответственно).

*Научный руководитель: канд. геогр. наук, проф. В. П. Горбатенко.*

#### **Литература**

1. Бериташвили, Б. Ш., Мкурналидзе, И. П., Амиранашвили, А. Г. Исследование пространственно-временных изменений числа дней с грозой на территории Грузии / Б. Ш. Бериташвили, И. П. Мкурналидзе, А. Г. Амиранашвили // Вопросы физики облаков. Облака, осадки и грозовое электричество: сб. статей. СПб. : Гидрометеиздат, 2004. С. 155–168.

2. Электронный ресурс: <http://www.weather.uwyo.edu>

3. Andersson, T. Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden / T. Andersson // Meteorol. Mag. 1989. 116. P. 141–146.

4. Kunz, M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms / M. Kunz // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 7. P. 327–342.

5. Schulz, P. Relationships of several stability indices to convective weather events in northeast Colorado / P. Schulz // Wea. Forecasting. 1989. 4. P. 73–80.

6. Johns, R. H., Doswell, C. A. Severe local storms forecasting / R. H. Johns, C. A. Doswell // Wea. Forecasting. 1992. P. 558–612.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ВОСПИТАНИЕ ШКОЛЬНИКОВ ПОСРЕДСТВОМ ЭКСКУРСИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Е. В. Холодова, Е. Ю. Петрова**

*Томский государственный педагогический университет*

Приобщение человека к природе через ее познание всегда служило средством формирования его мировоззрения. Природоведческое образование стало особо важным на современном этапе исторического развития общества, когда хозяйственная деятельность человека чрезвычайно изменила природный облик земли.

На первый план выдвинулась задача формирования научно-обоснованного взгляда на природу, опирающегося на полноценное интеллектуальное и нравственное развитие подрастающего поколения [1. С. 26].

Экологическое воспитание – составная часть нравственного воспитания. Под ним понимается единство экологического сознания и поведения, гармоничного с природой. Это целенаправленный процесс формирования ответственного отношения дошкольников, школьников и студентов к окружающей природной среде во всех видах деятельности и общения с природой [1. С. 34].

Функциональное назначение системы непрерывного экологического образования и воспитания – формирование новой личности с экологическим мировоззрением, которое позволяет жить в гармонии с природой и исключает острые социальные конфликты. Экологическое образование и воспитание являются научным и нравственным гарантом экологической безопасности – защищенности жизненно важных интересов личности, общества, природы и государства от реальных и потенциальных угроз, создаваемых антропогенным или естественным воздействием на окружающую среду [2. С. 63].

Одной из форм экологического образования и воспитания является экскурсия. Экскурсия – особая форма учебной и внеучебной работы, в которой осуществляется совместная деятельность учителя-экскурсовода и руководимых им школьников-экскурсантов в процессе изучения явлений действительности, наблюдаемых в естественных условиях или в специально созданных хранилищах коллекций.

Экскурсии дают материал для воспитания эстетических чувств, мировоззрения, понимания, экологических связей, единства и целостности природных комплексов. Основная их цель – формирование представлений о предметах и явлениях природы в реальной обстановке [3. С. 28].

Наблюдая различные природные явления в естественных условиях, школьники приобретают экологические знания, у них развивается восприятие разнообразных красок и звуков родной природы, они отмечают также сезонные изменения, происходящие в природе и антропогенное влияние человека на неё.

Наиболее доступный вид экологических экскурсий в природе для школьников – это учебная тропа. Цель создания тропы заключается в обучении и воспитании посетителей. По словам известного американского эколога Олдо Леопольда, «каждый участок леса должен давать своему владельцу не только доски, дрова и столбы, но еще и образование. Этот урожай мудрости всегда под рукой, однако, его не всегда пожинают» [4. С. 124].

С одной стороны, задачей тропы является расширение у экскурсантов элементарных сведений об объектах, процессах и явлениях окружающей природы. С другой стороны, задача экскурсоводов и проводников – научить своих слушателей видеть, замечать различные проявления антропогенного фактора, которые можно наблюдать в зоне маршрута тропы, и уметь комплексно оценивать эти результаты воздействия человека на окружающую среду. Третья, главная задача учебных троп – способствовать воспитанию экологической культуры поведения человека как части общей культуры взаимоотношений людей друг с другом и отношения человека к природе [3. С. 23].

Особенно широко тропы природы позволяют развернуть экологическое образование и воспитание среди школьников. Не всегда родителям удастся привить



детям любовь к природе, желание ее беречь и, что еще сложнее, возбудить у каждого будущего гражданина чувство ответственности за ее судьбу [5. С. 26–27].

Особенность процесса экологического обучения и воспитания на тропах природы состоит в том, что он строится на основе не дидактически-назидательного, а непринужденного усвоения информации, ценностных ориентации и идеалов, норм поведения в природном окружении. Достигается это путем органического сочетания отдыха и познания во время движения по маршруту тропы [2. С. 63].

Примерами таких троп могут служить: экологическая тропа по острову Петрова и в бухту Песчаная, расположенные в Лазовском заповеднике (Приморский край), экологическая тропа по Куршской косе в одноименном национальном парке (Калининградская область). В Томской области, в рамках образовательных проектов, проводимых Департаментом природных ресурсов и охраны окружающей среды, осуществляются регулярные экологические экскурсии: экологические тропы «Звездный Ключ», «Таловские чаши», «Ларинская дайка».

Так, в 2010 г., по заданию отдела информационного обеспечения экологического образования и воспитания Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, с целью расширения кругозора и воспитания экологического мышления детей была разработана и проведена экскурсия в виде экологической тропы для школьников 5–8 классов «Травы Ларинского заказника». Цель экскурсии: дать представление о составе и значении травянистых растений Ларинского заказника. Задачи: изучить основные виды растений данной территории и рассмотреть их основные свойства; ознакомиться с правилами бережного отношения к растениям и природе в целом.

Учебная тропа проходила по маршруту от ДООЛ «Эколог» (Томская обл., в 35 км от Томска, в 12 км от с. Батурино, в пределах Ларинского заказника) вверх по течению реки Тугояковки до места произрастания папоротника Пузырника ломкого, занесенного в Красную книгу Томской области. Протяженность маршрута 2 км, продолжительность – 1 час.

На маршруте школьники наблюдают смену растительных сообществ в живой природе (от луговой растительности, до представителей хвойных и разреженных лесов), самостоятельно пытаются определить их границы.

Во время движения предусмотрены остановки (точки наблюдения), на которых экскурсанты имеют возможность в непосредственной близости рассмотреть тот или иной вид растения. В это время экскурсовод сообщает необходимые сведения: название, морфологические признаки, ареал произрастания, применение и др.

На точке наблюдения 1 ученики наблюдают заросли крапивы, которые являются следствием недавней хозяйственной деятельности человека на данном участке, последствия заброшенном. На точке наблюдения 2 представлена луговая растительность – различные злаки, кормовые растения (тимopheевка, ежа сборная и др.). Встречаются также лекарственные растения: борщевик, купырь лесной, лютик однолистный, герань луговая, вероника дубравная, клевер луговой, манжетка обыкновенная. На точке наблюдения 3 – лекарственные растения – душица и зверобой. На точке наблюдения 4 растительность представлена съедобным растением снытью обыкновенной. На точке наблюдения 5 – травянистые растения таежного леса. В условиях низкой освещенности и высокой влажности леса, луговая растительность сменяется лесными травами. Точка наблюдения 6 –

скальное обнажение (диабазовая дайка) – единственное место в Томской области, на котором произрастает папоротник Пузырник ломкий, занесенный в Красную книгу Томской области.

При движении по тропе учащиеся делали записи в дневнике наблюдений, фотографировали растения, записывали данные о свойствах наблюдаемых растений. В завершении экскурсии школьникам было предложено отгадать кроссворд по изученной теме.

В результате проведенной экскурсии у подростков сложилось представление о травах, произрастающих в Томской области, об их статусе (если это краснокнижное растение), о применении в народной, лечебной медицине, уязвимости растительного сообщества. Ребята проявили интерес к изучению растений и научились бережному отношению к ним, что является важнейшей задачей экологического образования и воспитания.

Таким образом, в настоящее время экологическое образование и воспитание направленно на формирование у каждого человека и общества в целом ясного экологического мировоззрения, основанного на знании законов развития природы, и ее реакции на антропогенное воздействие, на высокой духовности и нравственности, на коллективном (социальном) сознании.

*Научный руководитель: канд. пед. наук, доцент Е. Ю. Петрова.*

#### **Литература**

1. Кайманова, Т. А. Экскурсоведение / Т. А. Кайманова. Пенза : Изд-во Пензенского гос. ун-та, 2004. 185 с.
2. Зятькова, А. В. Опыт работы на экологической тропе «К истокам» / А. В. Зятькова // География в школе. 2009. № 3. С. 63.
3. Емельянов, Б. В. Экскурсоведение / Б. В. Емельянов. М. : Советский спорт, 2008. 216 с.
4. Учебные тропы природы / В. П. Чинова, А. В. Добров, А. Н. Захлебный. М. : Агропромиздат, 1990. 159 с.
5. Арманд, А. А. Географические тропы / А. А. Арманд // Знание – сила. 1995. № 5. С. 26–27.

**СЕКЦИЯ  
ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**



# ВИДОВАЯ И ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МАЛЯРИЙНЫХ КОМАРОВ (DIPTERA, CULICIDAE) РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Н. М. Ахметова, В. П. Перевозкин

*Томский государственный педагогический университет*

Комары рода *Anopheles* (Diptera, Culicidae) входят в состав гнуса и являются переносчиками множества инфекционных заболеваний, прежде всего малярии. Именно поэтому к этой группе насекомых постоянно приковано внимание многих специалистов. Для успешного применения противомаларийных мероприятий важно знать видовой состав и распределение представителей в любом регионе. Малярийные комары также интересны в аспекте изучения генетических механизмов микроэволюции. У *Anopheles* обнаружены политенные хромосомы, которые удобны для идентификации видов и изучения популяционно-генетической структуры популяций. Их уместно использовать как маркерные цитогенетические системы в отношении воздействия на комаров различных факторов среды.

Карелия в настоящее время является одной из туристических Мекк России. Это предопределяет повышение интенсивности людских потоков в летний период, что может привести к локальным вспышкам малярии. В связи с этим целью настоящей работы было изучение видовой и кариотипической структуры малярийных комаров в республике Карелия.

Материалом для работы послужили личинки 4-го возраста рода *Anopheles*, отловленные в Карелии в период с 10 по 16 августа 2010 г. Выборки производились по долготной трансекте в следующих населённых пунктах: г. Петрозаводск, г. Кондопога, г. Медвежьегорск, г. Сегежа, г. Кемь, г. Беломорск, ст. Лоухи. Личинок фиксировали спирт уксусной смесью 3:1 для последующего цитогенетического анализа. В камеральных условиях готовили препараты политенных хромосом по лактоацеторсеиновой методике [1] и определяли видовой и инверсионный состав малярийных комаров, согласно хромосомным картам [2]. Изготовлен и идентифицирован 331 препарат.

В ходе настоящих исследований было установлено, что на территории республики Карелия обитают три вида малярийных комаров комплекса «*maculipennis*»: *A. messeae* Fall, *A. beklemishevi* Stegniy and Kabanova и *A. maculipennis* Mg. Граница их распространения в регионе проходит на уровне 65° с.ш. В самой северной точке исследований – ст. Лоухи, находящейся вблизи границы Полярного круга (ок. 67° с.ш.) – комары рода *Anopheles* не обнаружены [2, 3].

Видовая структура во всех изученных биотопах оказалась специфичной, при этом каждый представитель рода имел определенные зоны доминирования в исследованном регионе.

На распределение комаров в первую очередь влияет климатический режим Карелии. Климат здесь умеренно-континентальный (более выражен на юге) с чертами морского (на северо-востоке). Меньшая суровость климата в сравнении с другими регионами России, расположенными на тех же широтах, обусловливается влиянием Атлантики и Нордкапского течения [4]. В то же время, северное положение определяет значительное влияние холодных арктических

воздушных масс и относительно небольшую величину солнечной радиации, участвующей в климатообразующих процессах.

*A. maculipennis* обнаружен почти во всех изученных биотопах, кроме Беломорска. Его доминирование отмечено в двух крайних точках региона исследования: г. Петрозаводск – на юге республики; г. Кемь – на севере (табл. 1). В то же время, по трансекте с юга на север в целом наблюдается снижение доли личинок этого вида, вплоть до полного отсутствия в г. Беломорске. Очевидно, данный вид тяготеет к относительно теплему температурному режиму и повышенной влажности, как в районе Петрозаводска и Кемь. В последнем случае в самой северной точке обитания комаров благоприятный для вида режим, прежде всего зимовки, задается, вероятнее всего, воздействием Атлантики.

Т а б л и ц а 1

**Видовая структура личинок малярийных комаров  
в исследованных биотопах республики Карелия**

Точки сбора комаров	Видовой состав	Доли видов $f \pm s_f$ , %	<i>n</i>
Петрозаводск	<i>A. maculipennis</i> <i>A. beklemishevi</i> <i>A. messeae</i>	71,2±5,3 1,4±1,4 27,4±5,3	73
Кондопога	<i>A. maculipennis</i> <i>A. beklemishevi</i> <i>A. messeae</i>	14,6±5,2 0 85,4±5,2	48
Медвежьегорск	<i>A. maculipennis</i> <i>A. beklemishevi</i> <i>A. messeae</i>	25,5±6,4 14,9±5,3 59,6±7,2	47
Сегежа	<i>A. maculipennis</i> <i>A. beklemishevi</i> <i>A. messeae</i>	4,1±2,9 59,1±7,1 36,8±7,0	49
Беломорск	<i>A. maculipennis</i> <i>A. beklemishevi</i> <i>A. messeae</i>	0 21,7±6,1 78,3±6,1	46
Кемь	<i>A. maculipennis</i> <i>A. beklemishevi</i> <i>A. messeae</i>	80,9±5,8 19,1±5,8 0	47

Примечание: *n* – число особей в выборке.

*A. messeae* также обнаружен почти повсеместно в регионе, кроме г. Кемь (табл. 1). Как было уже отмечено, этот район характеризуется влажным морским климатом, облачностью и сильной заболоченностью, что, по всей видимости, препятствует его продвижению на север. Доминирование *A. messeae* в личиночных сообществах малярийных комаров установлено в трех точках сбора: г. Кондопога, г. Медвежьегорск, г. Беломорск.

*A. beklemishevi* обнаружен в 5 биотопах из 6. Однако доминировал вид только в одном исследованном водоеме в г. Сегежа. В районе Медвежьегорска и Сегежи находится плоскогорье, возвышающееся на 300 м над уровнем моря. Отметим, что наибольшее видовое разнообразие характерно именно для этих двух точек сбора, где совместно обитают все три вида *Anopheles*. В остальных биотопах установлена симпатрия только 2 видов в разных сочетаниях. Это можно объяснить

тем, что рельеф плоскогорья и граница двух климатических зон – умеренно-континентальной с юга и морской с северо-востока – создает в районе Медвежьегорска и Сегежи более разнообразные условия для обитания комаров.

Цитогенетические исследования личинок комаров региона выявили внутривидовой хромосомный полиморфизм у всех трех видов.

У самок *A. beklemishevi* отмечены две известные инверсии по половой хромосоме в гетерозиготном состоянии [2]:  $XL_1$  ( $2c-5a$ );  $XL_2$  ( $2a-3a$ ). Первая, встречающаяся, в том числе, и на востоке ареала вида, в Западной Сибири, была нами обнаружена в Карелии у одной особи только в г. Беломорске. Вторая инверсия, приуроченная только к европейским популяциям вида, также определена у одной личинки в г. Медвежьегорске.

У *A. maculipennis* впервые обнаружена инверсия в гетерозиготном состоянии по половой хромосоме, включающая участок  $3a-5c$ , согласно стандартной карте хромосом [2].

Наиболее широко внутривидовой хромосомный полиморфизм представлен у личинок *A. messeae*. Обнаружены все широко распространенные по ареалу вида инверсии:  $XL_0$ ,  $XL_1$ ,  $2R_0$ ,  $2R_1$ ,  $3R_0$ ,  $3R_1$ ,  $3L_0$ ,  $3L_1$ . Однако некоторые варианты гомозигот ( $2R_{11}$ ,  $3L_{11}$ ) отсутствуют во всем регионе исследований, несмотря на то, что данные инверсии встречаются в составе гетерозигот.

В целом можно отметить снижение инверсионного разнообразия в популяциях *A. messeae* с юга на север – от Петрозаводска до Сегежи, и вновь его повышение в самой северной точке обитания вида – в Беломорске.

Учитывая характер хромосомного распределения, а также особенности климата и видовую структуру *Anopheles* в Карелии, всю исследованную часть республики разделили на три района: южный, центральный и северный. Наибольшие различия по инверсионному составу в личиночных популяциях комаров наблюдаются между южным и северным районами (табл. 2). Еще раз подчеркнем адаптивную роль инверсий у малярийных комаров [2].

Т а б л и ц а 2

**Попарное сравнение состава инверсий *A. messeae*  
в трех выделенных районах Карелии методом  $\chi^2$  ( $p = 0,05$ )**

Районы	Значения $\chi^2$	
	Центр	Север
Юг	$\text{♂}XL = 3,83$ ( $n' = 1$ ) $\text{♀}XL = 3,99$ ( $n' = 2$ ) $2R = 2,79$ ( $n' = 1$ ) $3R = 1,00$ ( $n' = 2$ ) $3L = 1,10$ ( $n' = 1$ )	$\text{♂}XL = 0$ ( $n' = 1$ ) $\text{♀}XL = 13,56$ ( $n' = 2$ ) $2R = 1,53$ ( $n' = 1$ ) $3R = 6,12$ ( $n' = 2$ ) $3L = 4,54$ ( $n' = 1$ )
Центр	–	$\text{♂}XL = 2,05$ ( $n' = 1$ ) $\text{♀}XL = 2,43$ ( $n' = 2$ ) $2R = 24,32$ ( $n' = 1$ ) $3R = 2,70$ ( $n' = 2$ ) $3L = 0,9$ ( $n' = 1$ )

*Примечание.* Юг включает Петрозаводск и Кондопогу; Центр – Медвежьегорск и Сегежу; Север – Беломорск.  $n'$  – число степеней свободы.

Интересными с точки зрения оценки структуры популяций представляются данные по уровню кариотипического разнообразия у личинок комаров. Для этого была использована формула определения индекса разнообразия ( $I$ ) [5]:

$$I = \frac{100\% - m}{(N - 1)m},$$

где  $m$  – максимальная частота (%) из  $N$  возможных (или выделенных) кариотипических классов выборки.

Для изученных биотопов Карелии индексы кариотипического разнообразия в популяциях *A. messeae* представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

**Доминирующие кариотипы и индексы кариотипического разнообразия  
в популяциях *A. messeae* Карелии**

Точки сбора	Количество вариантов кариотипов	Кариотипы с максимальной частотой $m$	$I$
Петрозаводск	13	$XL_{00} 2R_{00} 3R_{01} 3L_{00}$	0,18
Кондопога	15	$XL_{00} 2R_{00} 3R_{00} 3L_{00}$	0,12
Медвежьегорск	9	$XL_{00} 2R_{00} 3R_{00} 3L_{00}$	0,06
Сегежа	7	$XL_{00} 2R_{00} 3R_{00} 3L_{00}$	0,09
Беломорск	10	$XL_{00} 2R_{00} 3R_{00} 3L_{00}$	0,15

*Примечание.* Общее для всех точек сбора количество вариантов кариотипов – 23.

Максимальные индексы характерны для периферийных районов Карелии. Относительно низкие индексы характерны для центрального района. Таким образом, биотопы с максимальным видовым разнообразием отличаются наименьшими показателями инверсионного и кариотипического разнообразия у *A. messeae*. Очевидно, эта корреляция связана с жесткими конкурентными отношениями внутри сообществ комаров на фоне специфических климатических факторов в каждом местообитании.

Таким образом, в ходе работы было установлено, что на территории республики Карелия обитают три вида малярийных комаров: *A. messeae*, *A. beklemishevi* и *A. maculipennis*. Северная граница их распространения в регионе проходит на уровне 65° с.ш. Наибольшее видовое разнообразие характерно для центрального района исследований. Для личинок комаров региона выявлен внутривидовой хромосомный полиморфизм у всех трех видов. У *A. maculipennis* впервые обнаружена инверсия по половой хромосоме. Наибольшие различия по инверсионному составу в личиночных популяциях *A. messeae* наблюдаются между южным и северным районами исследованного региона. Максимальные индексы кариотипического разнообразия в популяциях *A. messeae* характерны для периферийных районов Карелии. Биотопы центрального района с максимальным видовым разнообразием *Anopheles* отличаются наименьшим инверсионным и кариотипическим разнообразием у *A. messeae*.



### Литература

1. Кабанова, В. М., Карташова, Н. Н., Стегний, В. Н. Кариологическое исследование природных популяций малярийного комара в Среднем Приобье. 1. Характеристика кариотипа *Anopheles maculipennis messeae* Fall. / В. М. Кабанова, Н. Н. Карташова, В. Н. Стегний // Цитология. 1972. Т. 14, № 5. С. 630–636.
2. Стегний, В. Н. Популяционная генетика и эволюция малярийных комаров / В. Н. Стегний. Томск : Изд-во Томск. ун-та, 1991. 136 с.
3. Беклемишев, В. Н. Экология малярийного комара / В. Н. Беклемишев. М. : Медгиз, 1944. 299 с.
4. Электронный ресурс: <http://tours-karelia.ru/klimat-i-pogoda.html>
5. Перевозкин, В. П., Гордеев, М. И., Бондарчук, С. С. Хромосомный полиморфизм и закономерности формирования субпопуляционной организации малярийных комаров *Anopheles* (Diptera, Culicidae) в местообитаниях Томской области / В. П. Перевозкин, М. И. Гордеев, С. С. Бондарчук // Генетика. 2009. Т. 45, № 4. С. 478–487.

## **АКТИВНОСТЬ МЕТАНОГЕНОВ И МЕТАНОТРОФОВ В ЭФТРОФНОМ БОЛОТЕ «ТАГАН»**

М. В. Бенц, М. А. Сергеева

*Томский государственный педагогический университет*

Одна из важнейших задач современной экологии состоит в объяснении и прогнозировании климатических изменений, связанных с увеличением содержания в атмосфере так называемых «парниковых» газов, которые определяют современное изменение климата на Земле. Основными парниковыми газами считаются диоксид углерода и метан.

Метан – микропримесная газовая составляющая атмосферы, концентрация которого ежегодно возрастает на 1,0–1,1% [1]. Повышенное внимание к метану как компоненту газов атмосферы, активно влияющих на ее радиационно-термический баланс, связано с актуальной необходимостью прогнозирования антропогенного воздействия на изменение климата планеты.

Большинство исследователей считает, что метан обуславливает третью часть «парникового эффекта». В этой связи изучение распределения и интенсивности источников образования и особенностей перераспределения во многом позволяет познать его глобальный цикл в атмосфере.

Одним из глобальных источников метана являются болотистые ландшафты северного полушария. Биологическое образование метана – геохимически важный процесс, который является результатом метаболической активности небольшой и высокоспециализированной группы бактерий – метаногенов, играющих роль конечных звеньев трофической цепи – они превращают продукты брожения, образованные другими анаэробами в метан [5]. Окисление метана осуществляет тоже строго специфическая группа – метанотрофы. Таким образом, получается вполне замкнутый цикл метана.

Целью работы было проследить изменение численности и активности метаногенов и метанотрофов в торфяной залежи эвтрофного болота.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились в течение вегетационного периода 2010 г. на торфяном болоте Таган (Томский район, Томская область) [3].

Для проведения исследований было выбрано два наблюдательных пункта. Один из них (пункт 2) представляет собой участок с агролесомелиорацией, второй участок болота (пункт 3) является естественным. Мощность торфяных залежей пунктов наблюдений составляет около 3 м, торфяной профиль сложен преимущественно травяными, древесно-травяными и древесными торфами и подстилается заиленными песками.

В отобранных образцах определялась активность метаногенов и метанотрофов в соответствии с общепринятыми методиками [2], разработанными Институтом микробиологии РАН. Микробиологические исследования проводились в трех повторностях, обработка результатов проводилась с использованием программы «Excel».

**Результаты исследований.** Численность метаногенов в среднем за вегетационный период с глубиной увеличивается. Наименьшее количество метаногенов было зафиксировано в верхних горизонтах (0–100 см), сложенных вахтовым типом торфа. В торфяной залежи (ТЗ) п. 2 на этих глубинах численность метанообразующих микроорганизмов изменяется от  $18,33$  до  $65,00 \times 10^3$  КОЕ/г с.в., в ТЗ п. 3 этих микроорганизмов в 1,5 раза больше ( $35,00$ – $100,00 \times 10^3$  КОЕ/г с.в.). В придонных горизонтах ТЗ п. 2 и 3 численность метаногенов различаются в 2–3 раза. В п. 2. в горизонтах от 150 см и ниже численность метаногенов изменяется от  $281,66$  до  $333,33 \times 10^3$  КОЕ/г с.в., при этом следует отметить, что торфа на этой глубине представлены древесно-травяными остатками. В придонных горизонтах п. 3, сложенных торфами травяного и осокового типов, численность метаногенов изменяется от  $320,00$  до  $753,33 \times 10^3$  КОЕ/г с.в. (рис. 1).

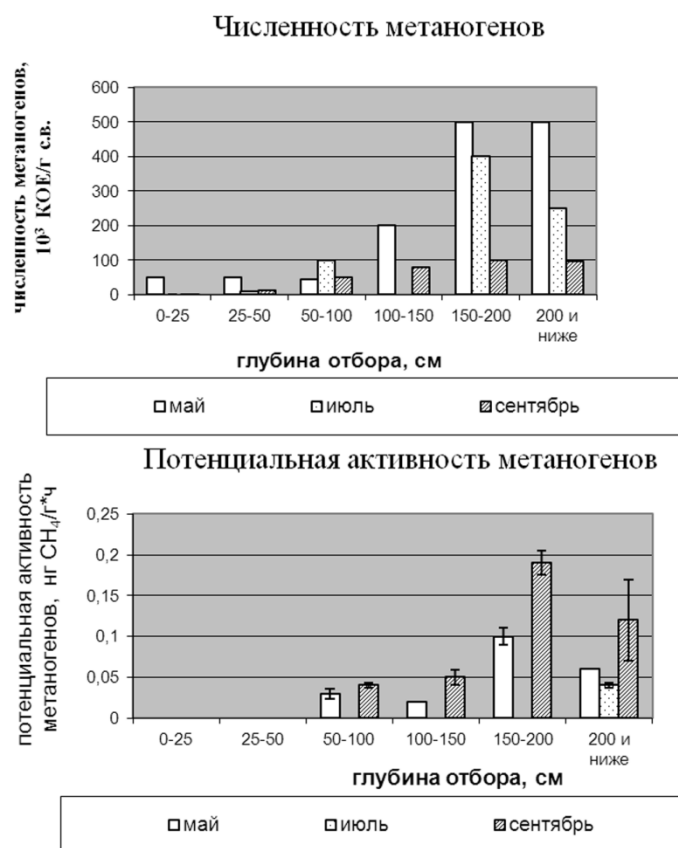


Рис. 1. Численность и активность метаногенов в торфяной залежи пункта 2

Низкая численность метаногенов в вахтовом торфе, вероятно, объясняется хорошей аэрацией этих горизонтов на протяжении всего сезона измерений. Полученные выводы подтверждаются изучением активности метаногенов.

В ТЗ обоих пунктов метаногены не проявляют активность от поверхности до глубины 50 см, что объясняется, либо отсутствием воды на этой глубине (уровень болотных вод (УБВ) = –15 см), либо, как в мае, ее проточностью. В обоих случаях верхние горизонты обогащены кислородом, который подавляет и рост, и активность метанобразующей микрофлоры. В придонных горизонтах (200–300 см) активность метаногенов в среднем в 1,5 раза выше. В целом активность метаногенов, как и их численность, выше в профиле ТЗ естественной точки (п. 3).

Метаноокисляющие бактерии вместе с другими микроорганизмами, перехватывающими  $\text{CH}_4$ , поступающим из анаэробной зоны, образуют так называемый «бактериальный» фильтр у поверхности торфяных почв [1].

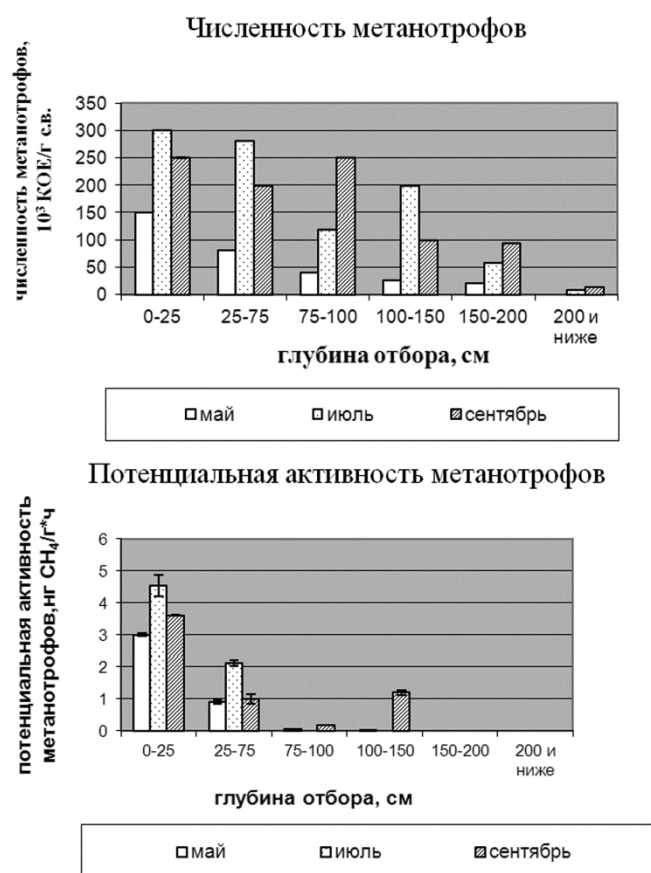


Рис. 2. Численность и активность метанотрофов в торфяной залежи пункта 2

Проведенные исследования показали, что в среднем за вегетационный период численность метанотрофов с глубиной уменьшается. Наибольшее количество метанотрофов было зафиксировано в верхних горизонтах (0–100 см), характеризующихся более высоким содержанием кислорода. В ТЗ п. 2 на этих глубинах численность метанотрофов изменяется от 233,33 до  $108,66 \times 10^3$  КОЕ/г с.в., в ТЗ п. 3 численность метанотрофов в 2–3 раза больше. Активность метанотрофов в верхних горизонтах (0–150 см) больше по сравнению с более глубокими слоями, в среднем в 2–3 раза. В ТЗ п. 2 на глубине 0–25 см, она достигает 3,73 нг  $\text{CH}_4$ /г·ч,

в п. 3 на аналогичной глубине – 14,5 нг  $\text{CH}_4/\text{г}\cdot\text{ч}$ . Численность метанотрофов в глубоких слоях ТЗ п. 2 и 3 примерно в 2–3 раза ниже по сравнению с верхними горизонтами. Например, в ТЗ п. 2. в горизонтах от 150 см и ниже численность метанотрофов изменяется от 58,00 до  $8,33 \times 10^3$  КОЕ/г с.в., но при этом обнаруженные микроорганизмы в естественных условиях неактивны. В ТЗ обоих пунктов в горизонтах 150 см и ниже метанотрофы в течение недели не проявляли активности и не проводили окисление метана (рис. 2).

Основным фактором, влияющим на развитие метаногенов и метанотрофов в торфяных залежах, является аэрация. Обогащение залежи кислородом связано с изменением уровня болотных вод за вегетационный период [6]. Рассматриваемый период исследований характеризуется относительно низким УБВ на обоих пунктах, что является следствием относительно небольшого количества осадков в весенне-летний период 2010 г.

Проследим, как колебания УБВ повлияли на численность и активность микроорганизмов на примере торфяной залежи естественной точки. В ТЗ п. 2, почти на всех глубинах, наиболее высокая численность метаногенов фиксировалась в мае, который характеризовался более высоким УБВ по сравнению с последующими месяцами. Наименьшая численность этой группы микроорганизмов фиксировалась в сентябре, когда УБВ опустился до отметки 60 см ниже поверхности, и в пределах 100 см ТЗ характеризовалась аэробными условиями, неблагоприятными для развития метанобразующих микроорганизмов. Анализ активности метаногенов за вегетационный период 2010 г. показал иную картину. Несмотря на высокую численность метаногенов в мае, их активность в этот период была минимальна. В то же время в сентябре, при относительно низкой численности метаногенов, в слоях глубже 50 см отмечается более высокая метаногенная активность (0,04–0,19 нг  $\text{CH}_4/\text{г}\cdot\text{ч}$ ), в среднем в 1,5 раза выше по сравнению с майскими значениями (0,03–0,1 нг  $\text{CH}_4/\text{г}\cdot\text{ч}$ ) (рис. 1).

Проследим, как колебания УБВ повлияли на изменение численности и активности метанотрофов. В ТЗ п. 2 наиболее высокая численность метанотрофов отмечалась в июле и сентябре, когда УБВ опустился до отметки 60 см ниже поверхности, и в пределах 100 см ТЗ характеризовалась аэробными условиями. Кроме аэробных условий для более активного развития метанотрофов в почвах нужна температура выше 10° С [4]. В мае ТЗ п. 2 характеризовалась более высоким УБВ и более низкими температурами, что не способствовало развитию метаноокисляющих микроорганизмов. Наиболее высокая активность метанотрофов в 2010 г. отмечалась в июле (2,13–4,54 нг  $\text{CH}_4/\text{г}\cdot\text{ч}$ ), в мае и сентябре активность была примерно в 1,5 раза ниже по сравнению с июльскими значениями, 0,02–3,01 и 0,2–3,65 нг  $\text{CH}_4/\text{г}\cdot\text{ч}$  соответственно (рис. 2).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В торфяных залежах т.м. Таган численность метаногенов изменяется от 0,00 до  $1\,000 \times 10^3$  КОЕ/г с.в., увеличиваясь с глубиной в 1,5–2 раза. Численность метанотрофов изменяется от 0,00 до  $520 \times 10^3$  КОЕ/г с.в., максимумы зафиксированы в поверхностных горизонтах. Наиболее высокая средняя за вегетационный период 2010 г. численность обеих групп микроорганизмов была отмечена в профиле торфяной залежи естественного пункта (п. 3).

2. Активность метаногенов и метанотрофов соответствует численности этих микроорганизмов. Наиболее высокая активность метаногенов отмечается в при-

донных горизонтах, метанотрофов – в поверхностных. В среднем за рассматриваемый вегетационный период активность метаногенов и метанотрофов выше в торфяной залежи естественного пункта, соответственно в 2 и 6 раз.

3. Метаногены проявляют более высокую активность весной (май) и осенью (сентябрь), что объясняется сезонными конвекциями воды, приводящими к переувлажнению более высоких горизонтов и снижению их аэрации. Наиболее высокая активность метанотрофов отмечается летом (июль), что связано с улучшением аэрации в этот период.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента (НШ 3938.2008.5).*

#### Литература

1. Гальченко, В. Ф. Метанотрофные бактерии / В. Ф. Гальченко. М. : ГЕОС, 2001. 500 с.
2. Коцюрбенко, О. Р. Метаногенные микробные сообщества холодных наземных экосистем / О. Р. Коцюрбенко. М. : Наука, 2004. С. 213–234.
3. Инишева, Л. И., Виноградов, В. Ю., Голубина и др. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета : коллективная монография / Л. И. Инишева, В. Ю. Виноградов, О. А. Голубина, Г. В. Ларина, Е. В. Порохина, Н. А. Шинкеева, М. В. Шурова. Томск : Изд-во ТГПУ, 2010. 148 с.
4. Звягинцев, Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев. М. : МГУ, 1991. 304 с.
5. Кравченко, И. К., Быкова, С. А. Окисление атмосферного метана микроорганизмами аэробных почв / И. К. Кравченко, С. А. Быкова. М. : Наука, 2004. С. 235–248.
6. Дедыш, С. Н. Ацидофильные метанотрофные бактерии / С. Н. Дедыш. М. : Наука, 2004. С. 109–125.

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОКАЛКИ ШИХТЫ НА КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛЮМИНОФОРА ZnS:Cu**

И. А. Зятиков

*Муниципальное общеобразовательное учреждение гимназия № 24  
им. М. В. Октябрьской, 11 класс, Томская область, г. Томск*

Несмотря на многочисленные исследования, посвященные люминофорам, поиск люминофоров с характеристиками, удовлетворяющими экспериментаторов, продолжается. Среди электролюминофоров (ЭЛФ), выпускаемых российской и зарубежной промышленностью, наиболее высокой яркостью и стабильностью обладают цинксulfидные люминофоры зеленого цвета свечения. Однако при синтезе электролюминофоров, удовлетворяющих современным требованиям, возникает ряд проблем, которые связаны с недостаточностью данных о влиянии некоторых параметров. Большое значение имеет исследование поверхностных свойств люминофоров, которые во многом определяют электрофизические процессы в твердом теле, включая перенос заряда и люминесценцию. Поиск закономерностей изменения поверхностных свойств люминофора в зависимости от условий синтеза и корреляций этих свойств с электрооптическими характеристиками ЭЛФ позволит существенно повысить эффективность люминесценции и даст дополнительный метод контроля качества.

В связи с этим целью данной работы явилось изучение кислотно-основных свойств поверхности цинксульфидных люминофоров методом рН-метрии и сравнение их с электрооптическими характеристиками исследованных соединений.

В последнее время большое значение приобрела люминесценция, возбуждаемая электрическим полем, – электролюминесценция. Электролюминесценция представляет собой излучение света материалом, обычно кристаллическим, возникающее под действием электрического поля. Энергия, необходимая для появления люминесценции, поставляется электрическим полем, которое изменяет потенциальную или кинетическую энергию электронов в твердом теле. При электролюминесценции происходит непосредственное преобразование электрической энергии в световую.

Электролюминофоры принято классифицировать по способу их возбуждения. Различают электролюминофоры, возбуждаемые переменным электрическим полем (ЭЛФ) и постоянным электрическим полем (ЭЛПТ). При этом различны механизмы электролюминесценции и особенности синтеза [1].

Электролюминесценция в переменном поле, особенно, когда отсутствует влияние постоянного тока, происходит в объеме кристалла, не связана по фазе с напряжением и током и не сильно зависит от природы контактов. Отличительной чертой электролюминофоров, возбуждаемых постоянным электрическим полем, является процесс формовки, сводящийся к созданию барьера, ответственного за электролюминесценцию.

Основной матрицей для порошковых ЭЛФ, используемых в промышленности, является сульфид цинка, активированный медью ( $\text{ZnS}:\text{Cu}$ ).

При синтезе электролюминофоров, возбуждаемых переменным электрическим полем, для образования проводящей фазы  $\text{Cu}_{2-x}\text{S}$ , медь вводят в состав шихты в количествах, существенно превышающих предел ее растворимости в основе  $\text{ZnS}$ . После высокотемпературного отжига на стадии охлаждения данная проводящая фаза появляется на внутренних дефектах микрокристаллов (дислокации, микротрещины), а затем происходит ее образование на поверхности кристаллов. В результате на поверхности зерен люминофора образуется избыточное количество проводящего слоя  $\text{Cu}_{2-x}\text{S}$ , что приводит к снижению эффективности электролюминофора [2]. Кроме того, этот слой поглощает значительную часть света, излучаемого кристаллом. В целях увеличения яркости свечения электролюминофоров переменного поля с поверхности кристаллов необходимо удалить часть сульфида меди. Такая обработка повышает яркость свечения и уменьшает проводимость ЭЛФ.

Состояние поверхности электролюминофоров, которое зависит от способа получения, способа обработки и влияет на их люминесцентные характеристики, может быть изучено разными способами, одним из которых является определение кислотно-основных параметров поверхности.

Существует несколько различных методов исследования поверхностной кислотности твердых тел, однако, большинство из них связано в той или иной форме с адсорбцией (ионный обмен, потенциометрическое титрование, адсорбция газообразных реагентов, методы оптической и ИК-спектроскопии, индикаторный метод) [3].

В общем случае, все методы определения кислотности и основности поверхности можно разделить на три большие группы. Первая включает в себя методы,

основанные на ионном обмене и адсорбции из водных сред. Вторая группа методов основана на адсорбции на поверхности твердого тела слабых кислот и оснований из неводных сред. Третья группа методов – адсорбция кислот и оснований из газовой среды.

В данной работе использовался метод pH-метрии.

Известно, что, если порошкообразное твердое вещество привести в соприкосновение с водой или раствором электролита, происходит изменение pH суспензии ( $\text{pH}_{\text{сусп}}$ ) во времени. Индивидуальность кинетических кривых  $\text{pH}_{\text{сусп}} = f(t)$  является отражением кислотно-основных свойств поверхности твердого тела и используется для приближенной оценки интегральной кислотности поверхности, как по общему ходу кривых, так и по значениям pH в экстремальных точках ( $\text{pH}_{\text{экт}}$ ) или в момент равновесия ( $\text{pH}_{\infty}$ ).

Контроль за изменением pH среды во времени, начиная с первых 5–10 с контакта твердого тела с растворителем, осуществляли следующим образом: в потенциометрическую ячейку вводили 10 мл бидистиллированной воды и после стабилизации потенциала стеклянного электрода одновременно с включением секундомера высыпали навеску (0,2 г) образца. Суспензия непрерывно перемешивалась с помощью магнитной мешалки. Измерения pH среды проводили на иономере ИПЛ – 101 с электродами ЭС-100 и ЭВЛ-208 (стеклянным и хлоридсеребряным). Информационная связь с ЭВМ осуществлялась через COM порт.

В работе были исследованы образцы цинксульфидных электролюминофоров, шихта которых была прокалена в разных условиях и при разных температурах (образцы люминофоров изготовлены в Ставропольском государственном университете):

1. Шихта стандартная  $\text{ZnS}:\text{Cu}$ , прокалена в обычных условиях 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900 °С, время стандартное.

2. Шихта стандартная  $\text{ZnS}:\text{Cu}$ , прокалена в контейнере 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900 °С, время стандартное.

Процесс получения ЭЛФ можно изобразить с помощью следующей схемы:

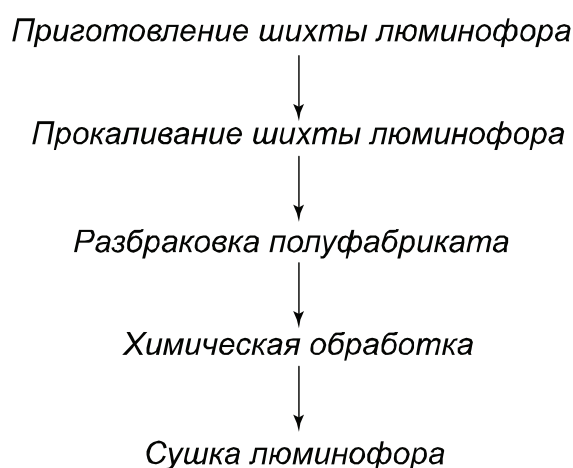
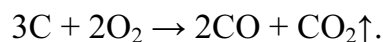


Рис. 1. Технологическая схема синтеза люминофора

Люминофор зеленого цвета свечения представляет собой сульфид цинка, активированный медью, коактивированный алюминием.

Получение люминофора сводится к прокаливанию шихты, состоящей из сульфида цинка, активатора меди (в виде хлорида одновалентной меди), алюминия (в виде концентрированной шихты хлорида трехвалентного алюминия) под слоем угля БАУ. Уголь БАУ предназначен для поддержания слабовосстановительной среды при температуре, обеспечивающей внедрение активатора в сульфид цинка, их рекристаллизацию и образование твердых растворов. Слабовосстановительная среда создается за счет взаимодействия угля БАУ с кислородом воздуха:



Образующиеся газы препятствуют проникновению кислорода воздуха к шихте и предотвращают окисление сульфида цинка.

Добавление аммония бромистого в качестве плавня в шихту обеспечивает образование бромида цинка:



который, имея сравнительно низкую температуру плавления ( $T_{пл.} ZnBr_2 = 392\text{ }^{\circ}C$ ), легко диффундирует в объеме поликристаллов сульфида цинка до начала их рекристаллизации.

Процесс образования люминофора может быть представлен схемой:



Для получения люминофора шихта прокаливалась в печи при определенной температуре в обычных тиглях или в контейнерах, при ограниченном доступе кислорода.

Результаты исследований представлены на рис. 2 и 3.

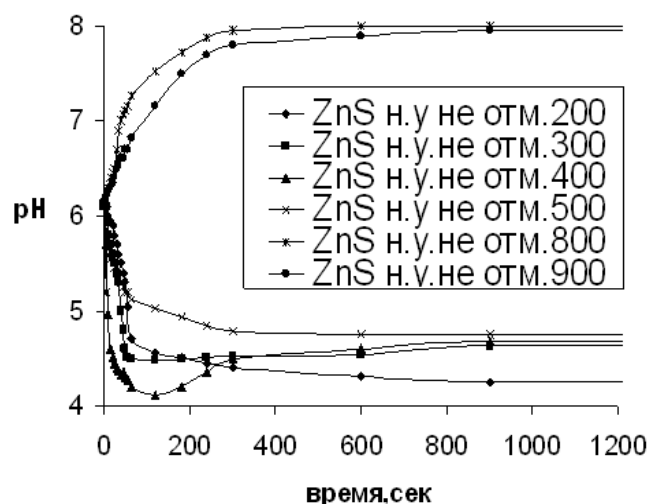


Рис. 2. Кинетические кривые зависимости pH водной суспензии ZnS\*Cu (шихта прокалена в обычных условиях не отмытая)



Исследование кислотных свойств указанных образцов методом рН-метрии показали, что увеличение температуры прокаливания шихты приводит к снижению кислотности поверхности и увеличению основности. Поверхность люминофоров от довольно кислых с  $\text{pH}_{\text{инс}}$  от 3,9, преобразуется в нейтральную или даже в слабо-основную с  $\text{pH}_{\text{инс}}$  равной 7,6. Это видно из рис. 2, кинетических кривых суспензии  $\text{ZnS}^*\text{Cu}$ .

Образцы, прокаленные в контейнерах, имеют  $\text{pH}_{\text{инс}}$  ниже, чем прокаленные в обычных условиях, так как при прокаливании в контейнерах уменьшен доступ кислорода и образуется меньше оксида цинка.  $\text{ZnO}$  имеет более основной характер по сравнению с  $\text{ZnS}$ .

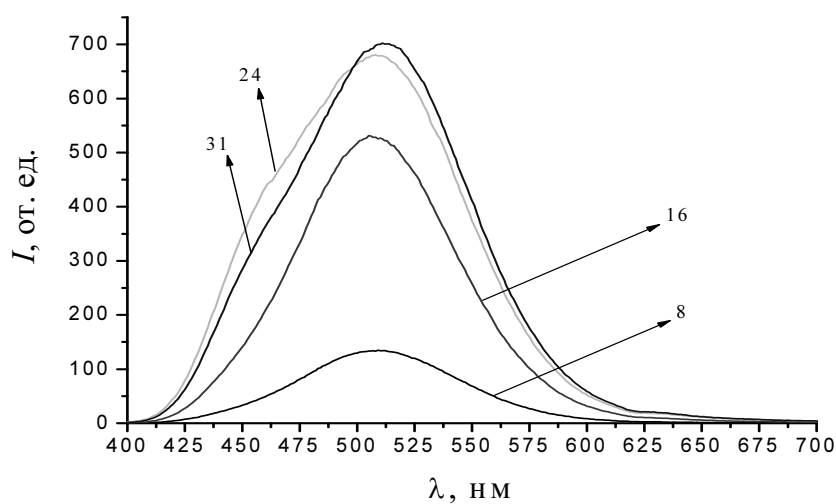


Рис. 3. Спектр фотолюминесценции  $\text{ZnS}^*\text{Cu}$  (шихта прокалена в разных условиях при  $T = 900^\circ\text{C}$ ): 8 –  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  900C, обычные условия (отмытая); 16 –  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  900C, обычные условия (не отмытая); 24 –  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  900C, контейнер (не отмытая); 31 –  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  900C, контейнер (отмытая)

Сравнение люминесцентных (рис. 3) и кислотно-основных свойств изученных электролюминофоров показало, что наилучшими люминесцентными характеристиками обладают люминофоры с нейтральной или слабоосновной поверхностью, шихта которых прокалена в контейнере.

*Руководители: учитель химии Л. А. Матасова; профессор ТГУ Т. С. Минакова.*

#### Литература

1. Казанкин, О. Н., Марковский, Л. Я., Миронов, И. Неорганические люминофоры / О. Н. Казанкин, Л. Я. Марковский, И. Миронов. Л. : Химия, 1975. 192 с.
2. Гусев, А. С. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ставрополь, 2003. 23 с.
3. Минакова, Т. С. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел / Т. С. Минакова. Томск : Изд-во Томского университета, 2007. 284 с.

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ ПАМЯТИ У СТУДЕНТОВ ТГПУ

Е. С. Платонова

*Томский государственный педагогический университет*

Память – это свойство нервной системы на короткое или длительное время сохранять информацию, полученную при восприятии предметов, явлений окружающего мира. Обучение и память лежат в основе адаптивного поведения человека и животных. Память проявляется в процессах *запоминания* и *сохранения* того, что было воспринято, в *извлечении* и *воспроизведении* этой информации, в *узнавании* того, что было ранее. Различают несколько видов памяти по различным критериям.

По происхождению в фило- и онтогенезе и в зависимости от способа накопления опыта различают:

1) *филогенетическую* (наследственную, видовую), которая содержит опыт, накопленный в ходе эволюционного развития. Этот вид памяти лежит в основе всей безусловно-рефлекторной деятельности организма, включая инстинкты;

2) *онтогенетическую* (индивидуальную), содержащую весь накопленный индивидуумом опыт. Основу этого вида памяти составляют выработанные в онтогенезе условные рефлексы. У людей она различается по объему, скорости и прочности запоминания.

По проявлениям различают:

1) *образную* память (оперирует представлениями, образами), она включает в себя зрительную, слуховую, моторную, вкусовую и т.д.;

2) *эмоциональную* память, когда аналогичная ситуация вызывает эмоции, сопровождавшие события, происходившие ранее в этой ситуации;

3) *словесно-логическую* память, она оперирует в основном понятиями и свойственна только человеку.

У разных людей в зависимости от жизненного опыта, вида работы преобладает тот или иной вид памяти [1].

По длительности хранения информации и механизму возникновения различают: мгновенную, кратковременную и долговременную память

*Мгновенная* память обеспечивает удержание полученной информации в течение 0,1–0,5 с. Этот вид памяти индивидуален, зависит от функционального состояния организма, но не зависит от воли человека, не подвергается контролю со стороны сознания. Поскольку мгновенная память связана с ощущениями, ее называют еще *сенсорной* памятью. Наиболее длительное время сохраняются зрительные образы. Стирание следов мгновенной памяти происходит в среднем в течение 150 мс. Мгновенная память является *начальным этапом переработки* полученной организмом информации. На ее базе формируется кратковременная память.

*Кратковременная* память, обеспечивает удержание *ограниченной части* полученной информации в течение более длительного времени, в среднем около 20 с (может быть до нескольких минут). Она в отличие от мгновенной памяти

позволяет воспроизвести какую-то часть оперативной информации. Большинство нейрофизиологов полагает, что в основе этого вида памяти лежит *реверберация возбуждения* (многократная циркуляция нервных импульсов) по кольцевым замкнутым связям. Исследования показали, что между таламусом, гиппокампом, височной, теменной и лобной долями коры головного мозга существуют сложнейшие нейронные цепи, по которым длительное время циркулирует возбуждение. Циркуляция длится в течение минут, и в ЦНС сохраняется нейрональный след о воздействии того или иного раздражителя на организм. В это время происходит *отбор* (селекция) *информации, более существенная ее часть переходит из кратковременной памяти в долговременную память.*

Долговременная память обеспечивает сохранение информации в течение неограниченного времени, ее объем практически безграничен, она устойчива при мозговых нарушениях, в то время как кратковременная память в этих случаях нарушается. В основе долговременной памяти лежат *структурные и биохимические изменения* в нейронах, по которым циркулируют нервные импульсы. Определенную роль в запоминании информации играют клетки нейроглии, окружающие нейроны. Они синтезируют особые химические вещества, повышающие возбудимость нейронов и облегчающие синаптическую передачу [2].

Целью нашей работы было определение уровня кратковременной зрительной памяти у студентов ТГПУ. В эксперименте участвовало 40 студентов: 20 чел. – студенты III курса биолого-химического факультета (БХФ) и 20 чел. – студенты I курса педагогического факультета (ПФ).

Испытуемым предлагался набор тестов для определения скорости запоминания и точности воспроизведения слов, текста, фигур. На выполнение каждого теста выделялось определенное время, в течение которого испытуемые внимательно изучали и запоминали предложенную информацию, после чего по памяти записывали ее в тетради. После выполнения каждого теста рассчитывалась продуктивность запоминания в процентах по формуле:

$$\% = \frac{\text{количество правильно воспроизводимой информации} \times 100\%}{\text{количество предлагаемой информации}}.$$

Объем словесно-логической памяти определялся по тексту, в котором нужно было запомнить в указанной последовательности 10 главных мыслей, выделенных заглавными буквами. Объем образной памяти определялся по воспроизведению и узнаванию геометрических фигур [3].

Полученные результаты статистически обработаны с использованием критерия Стьюдента.

Анализ полученных данных показал, что *% средней продуктивности кратковременной зрительной памяти по всем тестам* у студентов обоих факультетов колеблется в пределах 50–70%, что расценивается как хороший результат. Но у студентов БХФ он достоверно выше, чем у студентов ПФ ( $67,75 \pm 1,3\%$  БХФ, против  $57,6 \pm 3\%$  ПФ,  $P < 0,05$ , см. рис. 1).

Аналогичные достоверные различия ( $P < 0,05$ ) отмечены и при сравнении уровней словесно-логической и образной памяти. По состоянию *словесно-логической памяти* средний показатель составляет у студентов БХФ  $51,5 \pm 1,5\%$ ,

у студентов ПФ –  $43,4 \pm 2,9\%$ , индивидуальные показатели колеблются от 17,5 до 65%.

В большей степени выражены различия в состоянии уровня образной памяти, у студентов БХФ % памяти воспроизведения и узнавания составляет  $84 \pm 2,2\%$ , у ПФ –  $71,8 \pm 4,1\%$ .

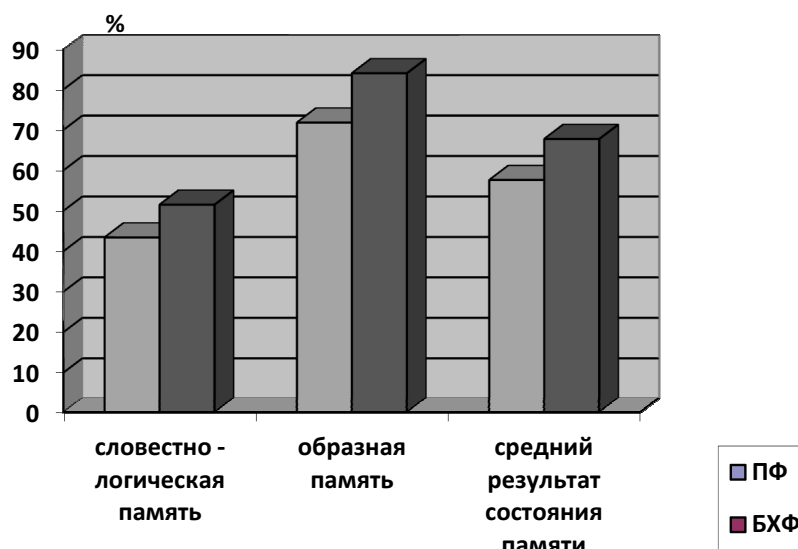


Рис. 1. Уровень кратковременной памяти в % у студентов биолого-химического и педагогического факультетов

Мы склонны предполагать, что эти различия связаны со спецификой обучения студентов БХФ. На практических занятиях по ботанике, зоологии беспозвоночных и позвоночных животных, на этих же занятиях на полевой практике биологам приходится много рисовать, что стимулирует развитие образной памяти.

*Научный руководитель: доцент Л. Ф. Казионова.*

### Литература

1. *Память*. Электронный ресурс: <http://ru.wikipedia.org> (Википедия свободная энциклопедия)
2. Смирнов, В. М. Нейрофизиология и высшая нервная деятельность детей и подростков / В. М. Смирнов. М. : АCADEMA, 2000. С. 265–276.
3. Казионова, Л. Ф. Физиология человека и животных «Высшая нервная деятельность и сенсорные системы». Практикум / Л. Ф. Казионова. Томск, 2005. С. 21–24.

## **СОДЕРЖАНИЕ ВИТАМИНОВ В РАЗНЫХ ВИДАХ ОВОЩЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА КУЛИНАРНОЙ ОБРАБОТКИ**

Ю. А. Порфирьева

*Томский государственный педагогический университет*

Витамины представляют собой жизненно необходимые низкомолекулярные органические соединения, которые в минимальных дозах оказывают на организм человека мощное биологическое воздействие через участие в деятельности

ферментов и гормонов. Водорастворимые витамины не накапливаются в организме, поэтому они должны постоянно поступать в него с пищей [1].

Литературные данные свидетельствуют о том, что в овощах и фруктах под действием кислорода, температуры, срока хранения со временем происходит разрушение витаминов [2]. Чтобы обеспечить содержание достаточного количества витаминов в пищевом рационе, важно знать не только, какие пищевые продукты богаты витаминами, но и как влияют на сохранность витаминов способы обработки продуктов. Неправильная кулинарная обработка при изготовлении пищи может привести к их полному разрушению [3–5]. Важным условием является то, что витамин С и витамин Р – это неустойчивые соединения [1]. Поэтому представляет интерес исследовать влияние способа обработки на сохранность этих витаминов.

Целью работы являлось исследование влияния способов кулинарной обработки и срока хранения на сохранность витаминов С и Р.

**Методика.** В работе использовали *Lactuca sativa* L. (салат посевной), *Petroselinum sativum* Hoffm. (петрушка огородная), *Brassica oleracea* L. (капуста белокочанная), *Cucurbita pepo* L. (тыква обыкновенная), *Anethum graveolens* L. (укроп огородный), *Allium cepa* L. (лук репчатый), *Allium sativum* L. (чеснок посевной). Определение содержания витаминов производили в растениях, подвергнувшихся различным способам кулинарной обработки: заморозка (при температуре минус 20 °С), высушивание при комнатной температуре 23 °С и при температуре 104 °С, квашение, а также после длительного хранения (в течение 3 месяцев).

**Результаты и обсуждение.** Результаты исследований показали, что содержание аскорбиновой кислоты (АК), прежде всего, зависит от видовой принадлежности объекта. Так, максимальное количество витамина С содержится в зелени петрушки, минимальное – в листьях салата. Причем в петрушке содержание аскорбиновой кислоты в 3 раза больше, чем в листьях салата и капусты, и в 2 раза больше, чем в зелени укропа (табл. 1, рис. 1).

Т а б л и ц а 1

**Содержание аскорбиновой кислоты в разных видах овощей**

Объект	Содержание АК, мг/100 г сырой массы			
Способ обработки	контроль (свежий)	заморозка	сушка при 23 °С	сушка при 104 °С
Петрушка	28,18 ± 2,92	18,49 ± 2,47	12,03 ± 0,89	8,55 ± 0,83
Укроп	13,50 ± 1,63	9,51 ± 1,04	6,07 ± 1,75	2,35 ± 0,62
Капуста белокочанная	свежая	свежая*	квашеная	
	10,00 ± 0,62	4,11 ± 0,62	7,34 ± 0,90	
Чеснок озимый	свежий		после хранения**	
	18,3 ± 1,80		4,99 ± 0,46	
Зеленые листья репчатого лука	18,62 ± 1,63			
Салат листовой	9,97 ± 0,61			
Тыква	18,3 ± 0,45			

*Примечание.* \* – после хранения в течение 3-х месяцев при температуре 5–6 °С; \*\* – после хранения в течение 3-х месяцев при комнатной температуре.

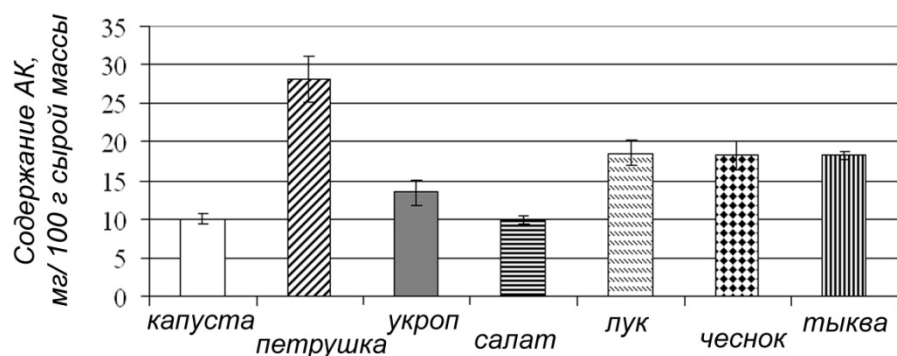


Рис. 1. Содержание АК в разных видах овощей

У всех исследуемых видов растений наибольшее количество витамина С содержится в свежем (необработанном) виде (табл. 1), что подтверждается литературными данными [6]. При заморозке растений петрушки и укропа количество витамина С уменьшается на 35 и 30% соответственно, что связано с его разрушением под действием отрицательных температур. При высушивании зелени (при 23 °С) содержание витамина С сокращается на 55% (укроп) и 58% (петрушка). Тогда как при термической обработке (более 100 °С) зелени петрушки теряется 70% витамина С, а зелени укропа – 80% (табл. 1, рис. 2).

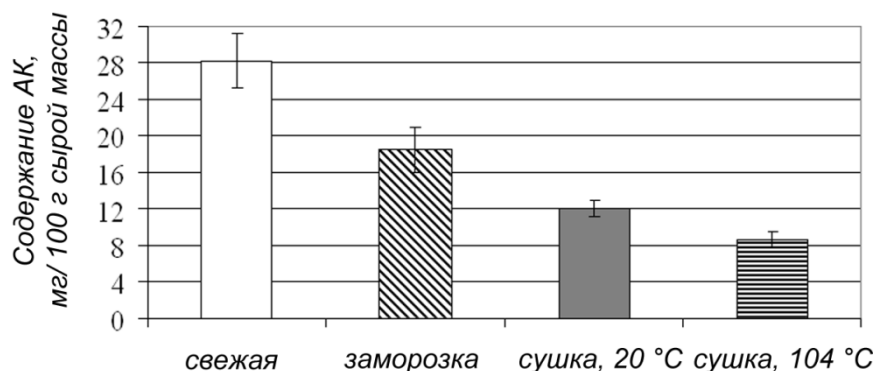


Рис. 2. Содержание АК в зелени петрушки

Т а б л и ц а 2

Содержание витамина Р в разных видах овощей

Объект	Содержание витамина Р, мг/100 г сырой массы			
Способ обработки	свежий	заморозка	сушка при 23 °С	сушка при 104 °С
Петрушка	0,035 ± 0,007	0,028 ± 0,003	0,017 ± 0,002	0,015 ± 0,001
Укроп	0,046 ± 0,003	0,044 ± 0,009	0,029 ± 0,003	0,018 ± 0,002
Капуста белокочанная	свежая		квашеная	
	0,016 ± 0,00		0,028 ± 0,004	
Чеснок	0,036 ± 0,003			
Зеленые листья лука	0,15 ± 0,01			
Салат	0,08 ± 0,018			

При длительном хранении белокочанной капусты наблюдается уменьшение количества аскорбиновой кислоты на 59% по сравнению с контролем, тогда как в квашеной капусте потери составили лишь 26,6%. Подобная закономерность характерна и для озимого чеснока. После длительного хранения луковиц чеснока количество витамина С уменьшилось в 3,5 раза (табл. 1).

Таким образом, любой вид кулинарной обработки, а также длительное хранение свежих овощей приводит к значительному уменьшению содержания в них витамина С. При этом уровень содержания аскорбиновой кислоты в разных видах овощей отличается [7].

Так же как и в случае с витамином С, у всех исследуемых видов растений наибольшее количество витамина Р содержится в свежей зелени. Максимальное количество витамина Р наблюдали в зеленых листьях лука и салата, а минимальное – в листьях белокочанной капусты (табл. 2., рис. 3).

При заморозке свежей зелени петрушки и укропа количество витамина Р уменьшилось на 20 и 4% соответственно, по сравнению с контролем (табл. 2), что связано с его разрушением под действием отрицательных температур. Значительные различия в уменьшении количества рутина в зелени петрушки и укропа при заморозке, вероятнее всего, обусловлено их видовыми особенностями.

При высушивании зелени петрушки при комнатной температуре содержание витамина Р сокращается на 51%, по сравнению с контролем, тогда как у растений укропа – на 36,9%. При термической обработке (выше 100 °С) овощей теряется максимальное количество витамина Р – в зелени петрушки на 57%, в зелени укропа – на 61% (табл. 2).

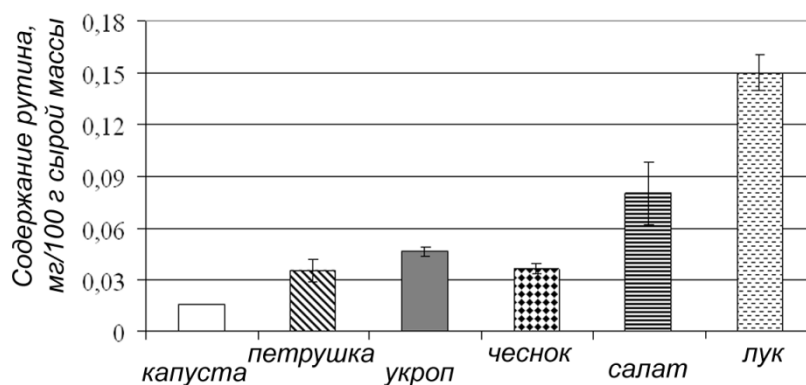


Рис. 3. Содержание рутина в разных видах овощей

В квашеной капусте наблюдали значительное увеличение содержания рутина (в 1,5 раза) по сравнению со свежей капустой (табл. 1), что можно объяснить тем, что в кислой среде витамины наиболее устойчивы, что позволяет сократить количественные потери во время проведения эксперимента.

Итак, как и в случае с аскорбиновой кислотой любой вид кулинарной обработки свежих овощей приводит к разрушению витамина Р, и соответственно к уменьшению его содержания в овощах.

Таким образом, самым лучшим способом хранения овощей в течение длительного времени с целью сохранения в них максимального количества аскорбиновой кислоты и рутина является заморозка. При длительном хранении

в условиях низких положительных температур теряется более 50% витаминов. Наиболее губительно на витамины С и Р действует термическая обработка овощей высокими температурами [7], при этом степень разрушения витаминов зависит от видовых особенностей растения.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Н. С. Зеленчукова.*

### Литература

1. Ермолаев, М. В. Биологическая химия / М. В. Ермолаев. М. : Медицина, 1983. 163 с.
2. Сабуров, Н. В. и др. Хранение и простейшие способы переработки овощей и плодов / Н. В. Сабуров и др. М. : Сельхозгиз, 1953. 290 с.
3. Трисвятский, Л. А. и др. Хранение и технология переработки сельскохозяйственных продуктов / Л. А. Трисвятский и др. М. : Агропромиздат, 1991. 31 с.
4. Марх, А. Т. Химико-технический контроль консервного производства / А. Т. Марх. М. : Пищепромиздат, 1955. 84 с.
5. Морозкина, Т. С. Витамины. Краткое руководство для врачей и студентов вузов / Т. С. Морозкина. М. : Медицина, 2002. С. 67–70.
6. Кретович, В. Л. Основы биохимии растений / В. Л. Кретович; изд. 5-е., исп. и доп.. М. : Высшая школа, 1971. С. 350–360.
7. Иваненко, А. С. Хранение и переработка овощей, плодов и ягод в домашних условиях / А. С. Иваненко. Екатеринбург : Средне-Уральское книжное издательство, 1993. 192 с.

## **ВЛИЯНИЕ НА МОРФОГЕНЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ *LACTUCA SATIVA* L. ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ПЛЕНОК**

**Н. Н. Потехина, Н. Л. Пермякова, К. А. Батракова**  
*Томский государственный педагогический университет*

Флуоресцентные пленки, содержащие в своем составе фотолуминофоры на основе соединений европия, нашли широкое применение в сельском хозяйстве в качестве укрытий теплиц и парников [1]. Фотолуминофоры, используемые для изготовления таких пленок, преобразуют часть УФ радиации в излучение красной области спектра [2–4]. Однако фотолуминофоры, используемые для изготовления флуоресцентных пленок, люминесцируют с различными максимумами длин волн [1–4]. Это может по-разному влиять на морфогенез и продуктивность растений в защищенном грунте [1–4].

*Целью работы* – исследование изменений морфогенеза и продуктивности *Lactuca sativa* L. под флуоресцентными пленками с различным максимумом длины волны люминесцентного излучения.

**Методика.** В качестве объекта исследования использовали растение *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый из семейства *Asteraceae* (отдел *Angiospermae* класс *Dicotylédones* порядок *Asterales*). Испытания проводили на агробиологической станции Томского государственного педагогического университета (ТГПУ) в период с 1 июня по 10 июля 2010 г. Растения *Lactuca sativa* L. выращивали в сооружениях защищённого грунта размерами 1 м<sup>2</sup> высотой 0,6 м.



Сооружения укрывали полиэтиленовыми плёнками с различными фотофизическими свойствами: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (опыт). Флуоресцентные плёнки содержали в своем составе разные люминофоры различающиеся максимумами длин волн люминесценции – оксид иттрия активированного европием (612 нм), на основе комплекса нитрата европия с 1,10-фенантролином (615 нм) и на основе фосфат-ванадата иттрия активированного европием (619 нм).

В процессе роста и развития *Lactuca sativa* L. проводили морфометрические и биохимические измерения, определяли продуктивность растений. Статистическую обработку результатов проводили с помощью специализированного пакета «Statistic for Windows» (программа «Excel») с доверительным интервалом 0,95 (уровень значимости – 0,05, уровень надежности – 95 %). На рисунках приведены данные в виде средних арифметических значений с двухсторонним доверительным интервалом.

**Результаты и обсуждение.** Изменения в ростовых реакциях у растений *Lactuca sativa* L. отметили на начальном этапе онтогенеза. Так, у опытных растений к 9-м суткам отметили торможение роста гипокотилия по сравнению с контролем. Длина гипокотилия у опытных растений была меньше контрольных в 1,4 в 2,2 и в 1,1 раза соответственно под пленками с люминесцентным излучением 612, 615 и 619 нм (рис. 1).

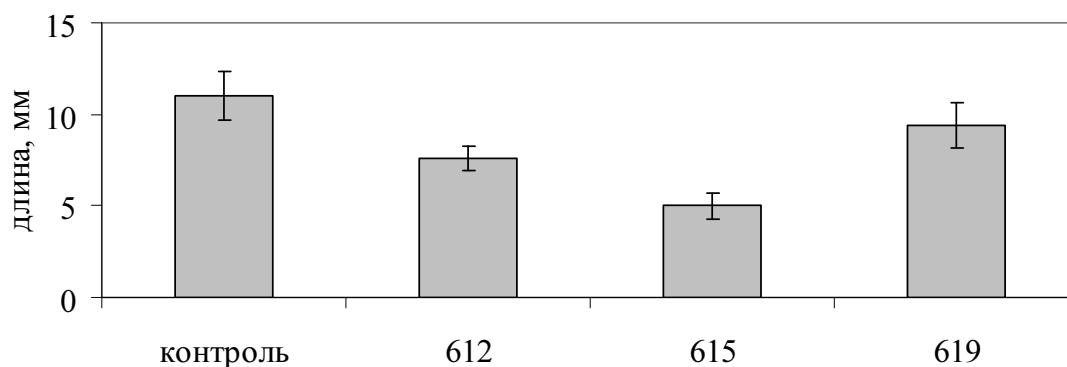


Рис. 1. Длина гипокотилия 9-суточного *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения: 612, 615 и 619 нм

В дальнейшем наблюдали более активное развитие растений в опыте по сравнению с контролем, сопровождавшееся увеличением площади поверхности листьев, их количеством, удлинением высоты розетки листьев, что в дальнейшем привело к повышению продуктивности *Lactuca sativa* L. (рис. 2–4).

Динамика развития растений показала, что максимальное активирование продукционного процесса наблюдается у *Lactuca sativa* L. под флуоресцентной пленкой с длиной волны 615 нм. Так у опытных растений под пленкой с длиной волны 615 нм в возрасте 19, 29 и 39 суток по сравнению с контролем наблюдали достоверное увеличение высоты розетки и площади поверхности листьев (рис. 2–4). Под пленками с длиной волны 612 и 619 нм также происходило увеличение ростовых параметров относительно контроля (рис. 2–4). Однако эти изменения были меньше, чем под пленкой с длиной волны 615 нм (см. рис. 2–4).

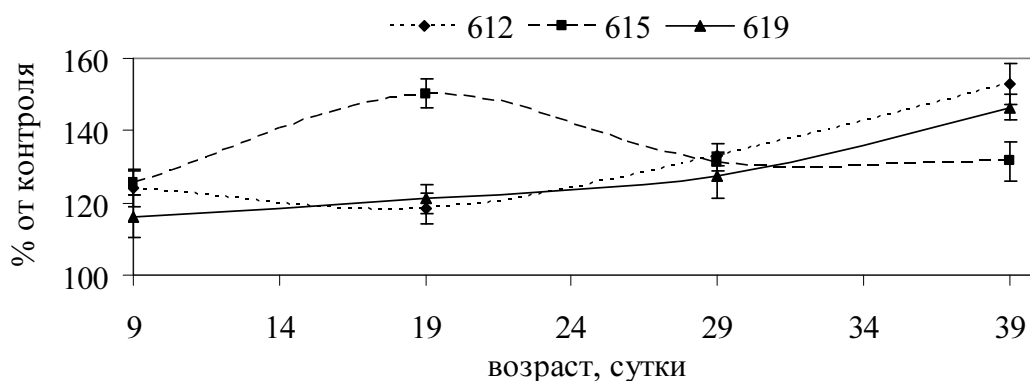


Рис. 2. Динамика площади поверхности листьев *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения: 612, 615 и 619 нм

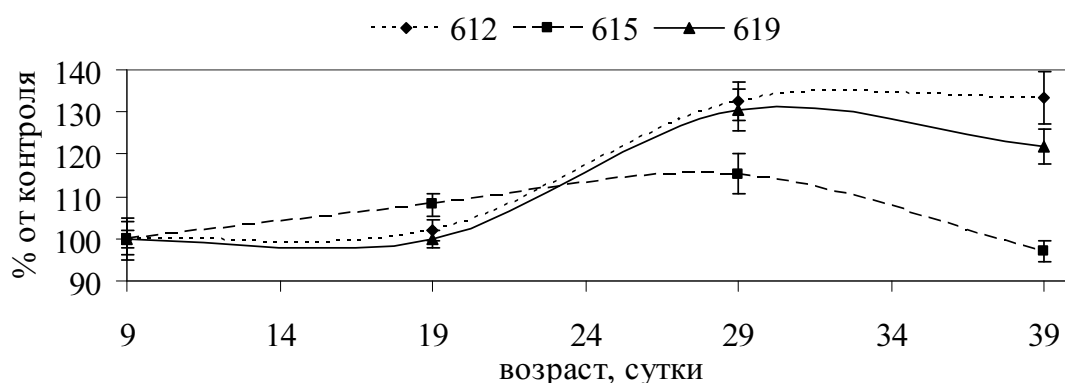


Рис. 3. Динамика числа листьев в розетке *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения: 612, 615 и 619 нм

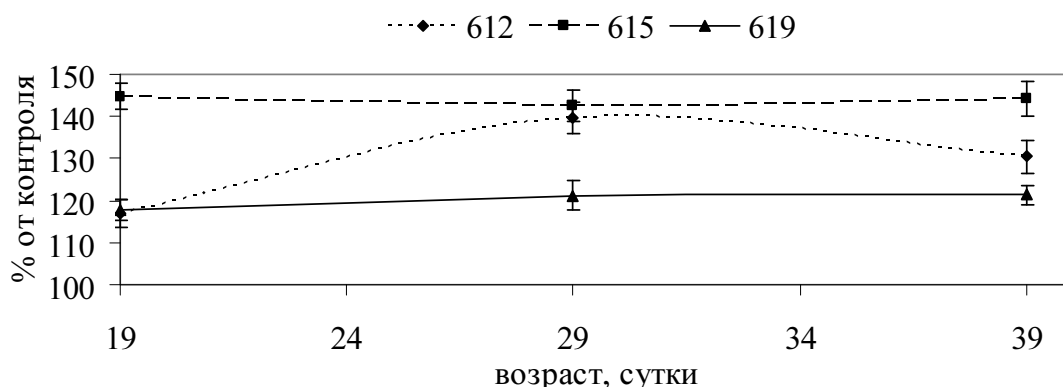


Рис. 4. Динамика высоты розетки листьев *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения: 612, 615 и 619 нм

Динамика сырой массы и динамика массы сухого вещества всех опытных и контрольных растений сопряжены с изменениями габитуса (рис. 5, 6).

Одним из важнейших показателей связи ростовых процессов и изменением продуктивности растений является содержание в их листьях АК. Исследования показали, что накопление АК в листьях *Lactuca sativa* контрольных и опытных

растениях имеют динамику (рис. 7), сопряженную с изменениями продуктивности растений. Так под пленкой с длиной волны 615 нм на 19 сутки (период максимального различия в продуктивности опытных и контрольных растений), отметили минимальное содержание АК – в 2,2 раза меньше, чем в контроле. Пониженный уровень АК в опыте сопряжен с активацией ростовых реакций, так как АК принимает участие в биохимических превращениях, лежащих в основе роста, причем, чем выше содержание АК, тем медленнее рост растений [5]. Аналогичную зависимость отметили также для растений, выращенными под всеми пленками. Так минимальное содержание АК в листьях растений под флуоресцентными пленками с длиной волны 612 и 619 нм отметили при максимальном развитии листовой поверхности растений (на 39 сутки), а в контроле на 29 сутки – в момент активации роста и развития растений.

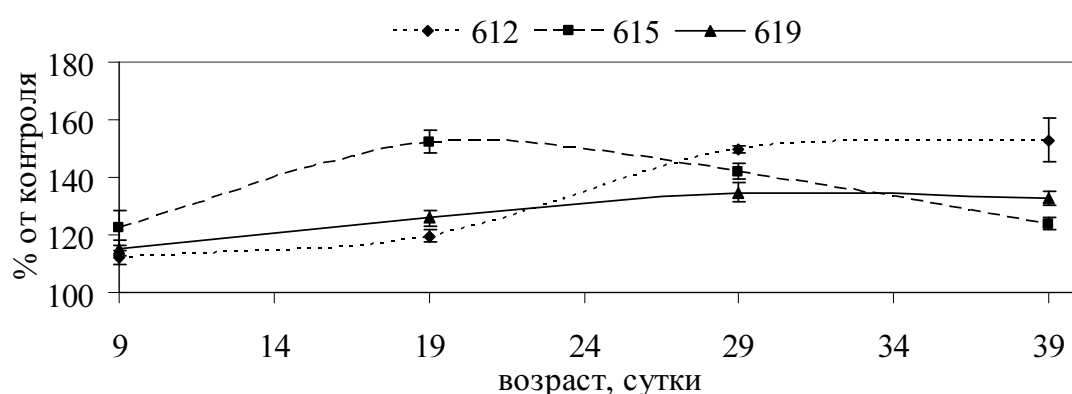


Рис. 5. Динамика сырой массы листьев *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения: 612, 615 и 619 нм

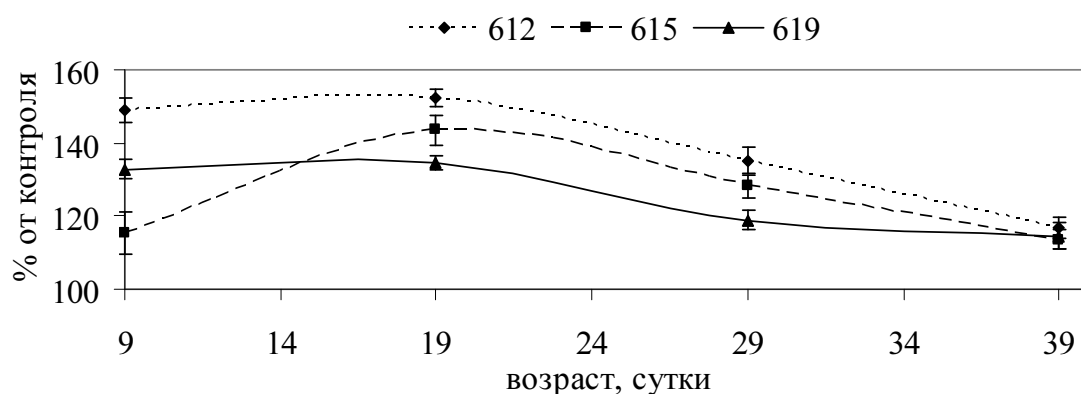


Рис. 6. Динамика массы сухого вещества листьев *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения: 612, 615 и 619 нм

Динамика ростовых параметров растений в опыте и контроле сопряжена с изменением уровня эндогенных гормонов (см. табл.).

Для опытных растений увеличение ростовых показателей и продуктивности было сопряжено со значительным повышением содержания свободной ИУК и уменьшением уровня свободной АБК по сравнению с контролем.

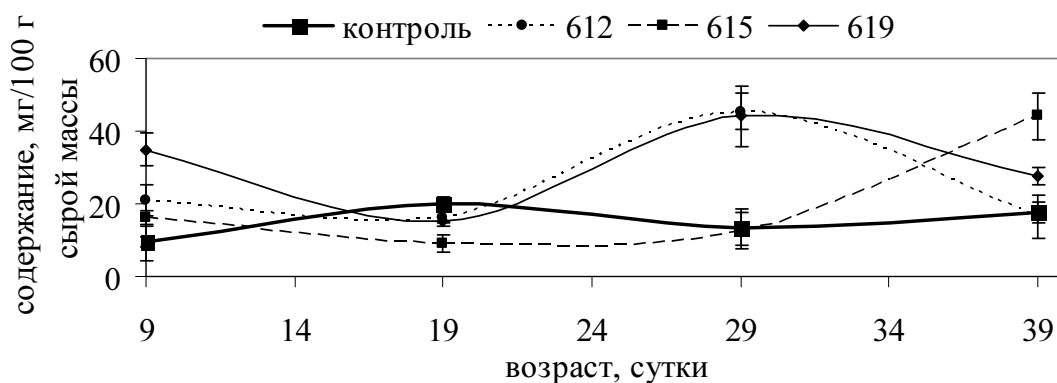


Рис. 7. Динамика содержания АК листьев *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый, под флуоресцентными пленками с максимумами длин волн люминесцентного излучения: 612, 615 и 619 нм

**Содержание эндогенных ИУК и АБК в *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под немодифицированной (ПЭВД) и флуоресцентными пленками с различным максимумом длин волн люминесцентного излучения**

Возраст растений, сутки	Содержание эндогенных гормонов, нг/растение							
	Свободная ИУК				Свободная АБК			
	ПЭВД	615	612	619	ПЭВД	615	612	619
9	следы	$2,93 \pm 0,29$	$1,29 \pm 0,14$	$1,46 \pm 0,13$	$0,88 \pm 0,35$	$0,44 \pm 0,02$	$0,62 \pm 0,06$	$0,18 \pm 0,03$
19	$0,19 \pm 0,01$	$0,47 \pm 0,09$	$2,04 \pm 0,32$	$0,53 \pm 0,08$	$0,26 \pm 0,05$	$0,18 \pm 0,03$	следы	следы
29	$0,47 \pm 0,08$	следы	$0,06 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,02$	$0,84 \pm 0,20$	$0,62 \pm 0,15$	$0,79 \pm 0,03$	$0,52 \pm 0,09$
39	следы	$1,17 \pm 0,29$	$5,94 \pm 0,32$	$11,68 \pm 2,12$	$6,17 \pm 0,93$	$0,31 \pm 0,07$	$0,09 \pm 0,01$	следы

Такие изменения у опытных растений салата под флуоресцентными пленками связаны, вероятно, с усилением активности фоторегуляторного аппарата, активирующегося под действием красной составляющей излучения, так как флуоресцентными пленками часть УФ-А света преобразуется в красную область спектра. Следовательно, люминесцентное излучение флуоресцентных пленок оказывает регуляторное действие на состояние гормонального баланса растений, меняя соотношение стимуляторов и ингибиторов роста, тем самым изменяет скорость ростовых реакций, что отражается на продуктивности растений.

Таким образом, люминесцентное излучение флуоресцентных пленок с максимумами излучения в красной области спектра 612, 615 и 619 нм оказывает положительное влияние на морфогенез и продуктивность *Lactuca sativa* L. Наибольшее влияние на продуктивность растений оказывает люминесцентное излучение с длиной волны 615 нм.

Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент И. Б. Минич.

**Литература**

1. Райда, В. С. и др. Исследование особенностей преобразования излучения солнца и видимого диапазонов светокорректирующими пленками с люминофорами на основе соединений европия / В. С. Райда и др. // Оптика атмосферы и океана. 16. № 12. С. 1126–1132.
2. Карасев, В. Е. Полисветаны – новые полимерные светотранспортирующие материалы для сельского хозяйства / В. Е. Карасев // Вестник Дальневост. отделения РАН. 1995. № 2 С. 66–73.

3. Щелоков, Р.Н. Полисветаны и полисветановый эффект / Р.Н. Щелоков // Известия РАН. 1986. № 6. С. 50–55.

4. Минич, А.С. и др. Биологическое тестирование светокорректирующих пленок в условиях закрытого грунта при выращивании белокочанной капусты / А.С. Минич и др. // Сельскохозяйств. биол. 2003. № 3. С. 112–115.

5. Чупахина, Г.Н. Система аскорбиновой кислоты растений / Г.Н. Чупахина. Калининград, 1997. 120 с.

## АКУСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛОВОГО ПОВЕДЕНИЯ МАЛЯРИЙНЫХ КОМАРОВ (DIPTERA, CULICIDAE)

А.А. Принцева, П.В. Масленников, С.С. Бондарчук, В.П. Перевозкин  
*Томский государственный педагогический университет*

Звуковая сигнализация широко распространена в классе насекомых. Изучение акустических особенностей насекомых имеет важное значение для понимания механизмов размножения, обеспечивающих встречу особей противоположного пола и репродуктивную изоляцию близких симпатрических видов [1, 2]. Несмотря на пристальное внимание к малярийным комарам со стороны специалистов, механизмы звуковой коммуникации у них изучены недостаточно, а исследования и публикации носят единичный характер. При этом С.П. Расницын, например, указывает, что широко распространенные запатентованные акустические приборы не эффективны для отпугивания комаров [3]. Очевидно, при разработке таких приборов не учитывались звуковые характеристики разных видов и их внутривидовых группировок. В то же время известно, что Министерство обороны США активно занималось разработкой акустических методов борьбы с комарами во время войны во Вьетнаме [4]. Эти работы продолжаются и в настоящее время. Таким образом исследование акустики комаров представляет собой не только теоретический интерес, но и практическое значение.

Целью настоящей работы являлось изучение акустических аспектов полового размножения некоторых видов малярийных комаров комплекса «*Anopheles maculipennis*».

Материалом для данной работы послужили имаго малярийных комаров 2 видов: *Anopheles messeae* Falleroni и *A. atroparvus* van Thiel. *A. atroparvus* использованы из лабораторной линии. Имаго *A. messeae* были выведены из потомства от гоноактивных самок, выборка которых была взята 04.08.2010 г. в с. Тегульдэт и доставлена в г. Томск. На стадии 4-го возраста из каждого потомства отбирали по 5 личинок для цитогенетического анализа [5]. Остальных личинок в потомствах выращивали до имаго, с которых снимались акустические характеристики. Для этого комаров усыпляли углекислым газом, приклеивали клеем «БФ-6» к препаровальной игле дорсальной стороной груди таким образом, чтобы не сковывались движения крыльев. Препаровальную иглу вместе с комаром помещали в звуковую камеру.

Аудиозапись производилась с использованием ноутбука и микрофона Sony F-V220. Для определения частотных характеристик звуков и их графического отображения использовалось свободное программное обеспечение Audacity. Для

выяснения частоты махов крыльев комаров производилась видеозапись на скоростной видеокамере «С100 Centurio».

Скрещивание комаров происходит в полете и не редко в темное время суток, поэтому первостепенное значение в видовой идентификации имеют акустические сигналы, которые издаются комарами за счет взмахов крыльев [6].

При анализе звуковых частот *Anopheles* выявлены отчетливые различия акустических параметров у самок и самцов обоих видов. У самок *A. atroparvus* в звуковом спектре выявлены три пика: первый, самый мощный пик – основная частота (среднее значение для выборки 293 Гц,  $n = 72$ ); второй и третий пики – гармоники, кратные значению главного пика (584 и 880 Гц, соответственно) (рис. 1, femina). У самцов два выраженных пика: первый пик (основная частота) – среднее значение для выборки – 444 Гц; средняя частота второго пика (гармоника) – 887 Гц ( $n = 29$ ) (рис. 1, mas). Таким образом, средняя основная частота самца выше, чем у самки на 151 Гц, соответственно различаются и гармоники.

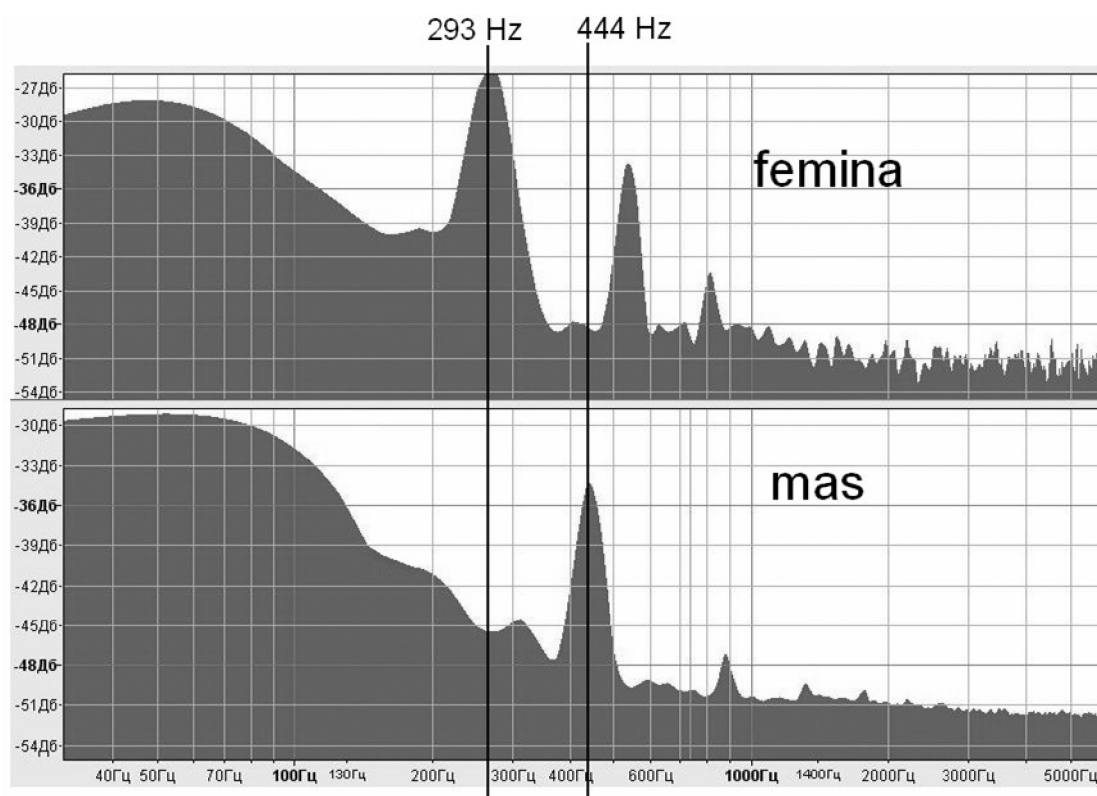


Рис. 1. Диаграммы частот звуковых сигналов самки (femina) и самца (mas) *A. atroparvus*.

Здесь и на рис. 2 черными линиями выделены пики основных частот самца и самки

Такая же закономерность отмечена и для разных полов *A. messeae*: самки жужжат значительно ниже, чем самцы. В то же время у самцов этого вида, также как и самок, отмечены три пика в спектре частот (рис. 2). Более того, для самцов с определенными кариотипами (см. ниже) наблюдаются сдвоенные пики обертонов, обозначенные как «пакеты». Для остальных ассоциаций инверсий характерны одинарные пики (рис. 2).

Характер распределения пиков у *A. messeae* гораздо сложнее, чем у *A. Atroparvus*. Очевидно, это связано с внутривидовым инверсионным полиморфизмом.

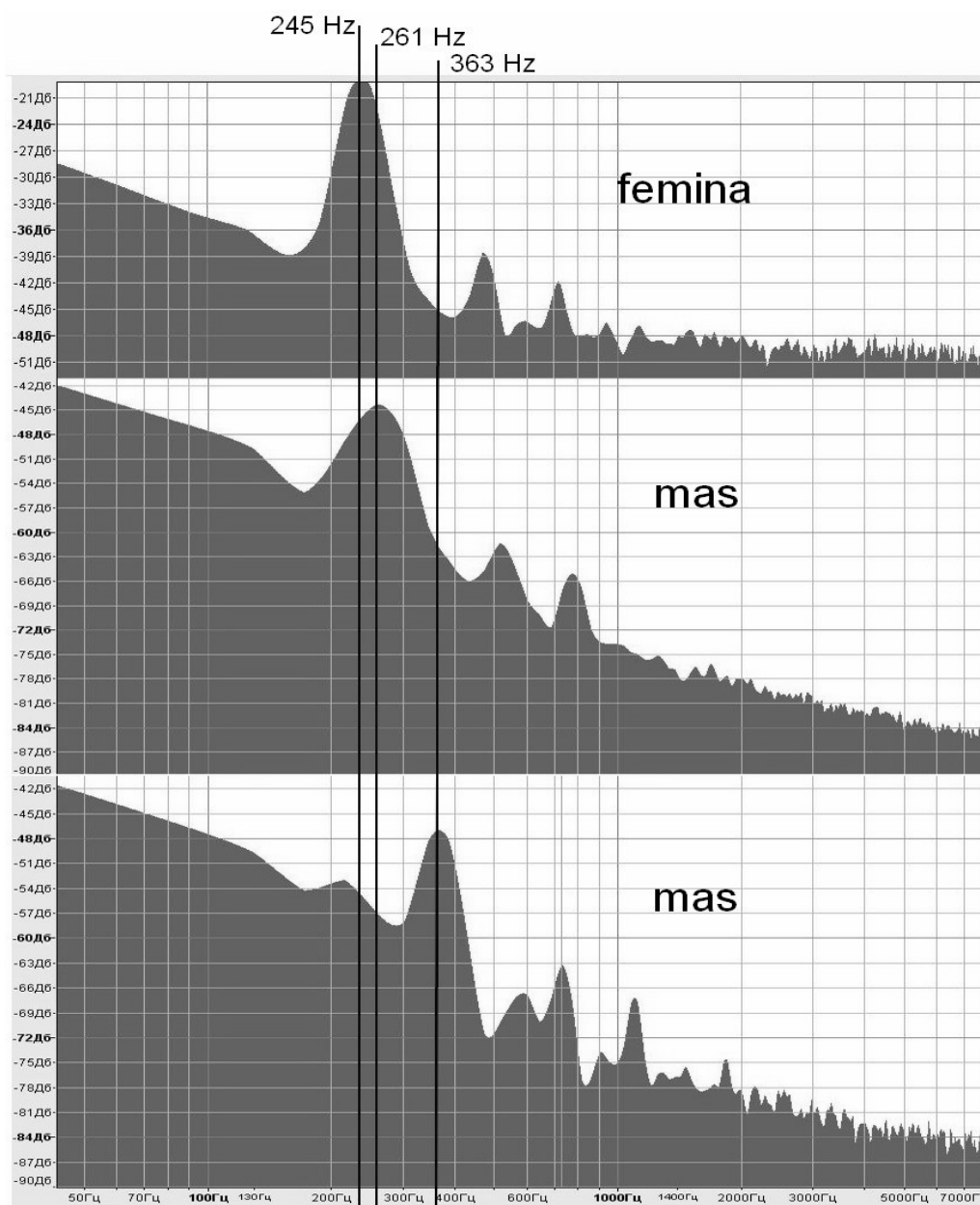


Рис. 2. Диаграммы частот звуковых сигналов самки (femina) и самца (mas) *A. messeae*. Для самцов представлены два типовых варианта спектра частот. На нижней диаграмме для каждого обертона выражен «предпик», образующий с ним «пакет»

Для сибирских популяций *A. messeae* выделены 6 классов кариотипов (см. табл.), которые встречаются чаще, чем это следует ожидать в панмиктической популяции [7]. При статистическом анализе посредством критерия Стьюдента не выявлено значимых различий по всем частотным пикам у самок *A. messeae* с различными кариотипами. В то же время у самцов установлены достоверные различия практически между всеми вариантами. Особенно четко отличаются между собой особи, которые распространены в разных частях ареала. Так, например, самцы с кариотипами  $XL_02R_{00}$  и  $XL_12R_{00}$  преимущественно встречаются на юго-западе ареала, а с кариотипами  $XL_12R_{11}$  и  $XL_22R_{11}$  – на северо-востоке. При этом в каждой паре выделенных кариотипов, встречающихся в популяциях юга и севера, имаго также отличаются между собой по акустическим характеристикам.

**Средние частоты основных пиков звукового спектра имаго *A. messeae*  
с разными сочетаниями инверсий**

Сочетания инверсий	1-й пик, основная частота	2-й пик, 1 гармоника	3-пик, 2 гармоника	<i>n</i>	1-й пик, основная частота	2-й пик, 1 гармоника	3-пик, 2 гармоника	<i>n</i>
	самки				самцы			
♀ $XL_{01}2R_{00}$	211	405	607	9				
♂ $XL_02R_{00}$					261	513	780	8
♀ $XL_{11}2R_{00}$	205	409	594	6				
♂ $XL_12R_{00}$					301	600		12
♀ $XL_{11}2R_{01}$	217	439	657	6				
♂ $XL_12R_{01}$					287	568	854	10
♂ $XL_22R_{01}$	–	–	–	–	326	652		8
♀ $XL_{22(12)}2R_{11}$	216	427	641	46				
♂ $XL_22R_{11}$					380	758		10
♀ $XL_{11}2R_{11}$	225	447	672	173				
♂ $XL_12R_{11}$					363	726	1095	38

*Примечание.* В кариотипах двойными нижними индексами для каждой хромосомы отмечены варианты инверсий для двух гомологов в зиготе. У самцов половая хромосома XL представлена одним гомологом, соответственно, обозначена одинарным индексом. «Пакеты» не указаны.

Таким образом, первостепенное значение при выборе полового партнера имеют самки. Известно, что самцы в вечернее время собираются в рои [8]. Самки в поисках самцов летят на гул роя, а окончательная идентификация полового партнера осуществляется уже внутри роя.

Акустические характеристики имаго указывают на то, что комары с более высокой частотой жужжания обитают в северных частях ареала, и, наоборот, «южные» формы характеризуются относительно низкими показателями. Это можно объяснить тем, что имаго, распространенные на севере ареала с коротким летом, имеют большие размеры, что позволяет откладывать больше яиц и быстро наращивать численность [9]. Южные комары имеют меньшие размеры и плодовитость. В таком случае более крупные северные особи в полете должны осуществлять более интенсивные махи крыльями (при равенности других параметров), и, как следствие, более высокие значения звуковых частот.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. В спектре звуковых сигналов двух видов малярийных комаров выявлены три пика – основная частота и две главные гармоники (кроме самцов *A. atroparvus*). Основная частота кратна значениям гармоник.

2. Виды-двойники *A. messeae* и *A. atroparvus* значимо отличаются по частотным звуковым характеристикам. В целом частоты *A. atroparvus* обоих полов выше, чем у *A. messeae*.

3. Выявлены различия частот между полами внутри каждого вида. Более крупные самки характеризуются меньшими значениями основной частоты, чем у самцов: для *A. atroparvus* основная частота звучания самцов выше, чем у самок на 151 Гц; для *A. messeae* – от 50 до 164 Гц для разных инверсионных сочетаний.

4. Наибольшие различия по частотным характеристикам имаго *A. messeae* отмечены у самцов с альтернативными кариотипами.



5. У *A. messeae* установлена корреляция между показателями звуковых частот особей с разными кариотипами и распространением их по ареалу. Комары северных популяций имеют более высокие значения основных частот (самцы 363–380 Гц, самки 216–225 Гц) по сравнению с южными формами (самцы 261–301 Гц; самки 205–211 Гц).

### Литература

1. Бертрам, С. М., Джонсон, Л. А., Кларк, Д., Чиф, К. Электронная система для регистрации общего времени, продолжительности и уровня звуковых сигналов, издаваемых насекомыми [Электронный ресурс] / С. М. Бертрам, Л. А. Джонсон, Д. Кларк, К. Чиф // Электронный журнал «Техническая акустика». 2004. 20. Режим доступа: <http://ejta.org>
2. Андреев, Н. Н. Об органах слуха у насекомых / Н. Н. Андреев // Проблемы физиологической акустики. 1955. Т. 3. С. 89–94.
3. Расницын, С. П. Отрицательные результаты испытания образцов звуковых генераторов, предназначенных для отпугивания комаров / С. П. Расницын // Мед. паразитол. и паразитарн. болезни. 1974. Т. 39, № 6. С. 106–109.
4. Электронный ресурс: <http://www.acoustics.org/press/132nd/3pab10.html>
5. Кабанова, В. М., Карташова, Н. Н., Стегний, В. Н. Кариологическое исследование природных популяций малярийного комара в Среднем Приобье. 1. Характеристика кариотипа *Anopheles maculipennis messeae* Fall. / В. М. Кабанова, Н. Н. Карташова, В. Н. Стегний // Цитология. 1972. Т. 14, № 5. С. 630–636.
6. Электронный ресурс: [http://www.gazeta.ru/science/2009/01/11\\_a\\_2922738.shtml](http://www.gazeta.ru/science/2009/01/11_a_2922738.shtml)
7. Новиков, Ю. М., Кабанова, В. М. Адаптивная ассоциация инверсий в природной популяции малярийного комара *Anopheles messeae* / Ю. М. Новиков, В. М. Кабанова // Генетика. 1979. Т. 15, № 6. С. 1033–1045.
8. Беклемишев, В. Н. Экология малярийного комара / В. Н. Беклемишев. М. : Медгиз, 1944. 299 с.
9. Гаузе, Г. Ф. Экология и некоторые проблемы происхождения видов / Г. Ф. Гаузе // Экология и эволюционная теория. Л. : Наука, 1984. С. 5–105.

## **ДИАГНОСТИКА ЗАРАЖЕНИЯ ИНВАЗИЕЙ МЯСНЫХ И РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ НА РЫНКАХ ТОМСКА**

И. А. Приставко

*Томский государственный педагогический университет*

В настоящее время существует проблема увеличения заражения людей зооантропонозными заболеваниями, в частности инвазионными [1]. Заражение людей происходит через контакт с животными или при употреблении в пищу мяса животных и рыбы. За последние годы отмечается динамика роста числа инвазионных заболеваний животных, которые могут служить источником заболевания людей [1]. Наиболее опасными, передающимися человеку с пищей заболеваниями животных, являются трихинеллез, цистицеркоз и эхинококкоз [2–6]. Эти заболевания у человека сложно диагностируются, и в большинстве случаев приводят к летальному исходу. Одним из решений проблемы является диагностика мясопродуктов на предмет выявления их заражения инвазией на продовольственных рынках.

Цель наших исследований заключалась в анализе изменений случаев обнаружения заражений инвазией, в поступающих для реализации мясо- и рыбопродуктах, на продовольственных рынках Томска.

**Методика.** Возбудителем трихинеллеза является волосоподобный глист *Trichinella spiralis* микроскопической величины, наличие которого определяли компрессорным методом [2–3]. Для анализа отбирали пробы массой 15 г из ножки диафрагмы. С пробы делали срезы вдоль мышечных волокон в количестве 24 шт., которые помещали на компрессориум. Затем каждый срез просматривали на трихинеллоскопе и визуально определяли наличие в срезах мышц инкапсулированной трихинеллы.

Цистицеркозы или финнозы вызываются личинками ленточных червей бычьего или свиного цепня – *Cisticercus bovis* или *Cisticercus cellulose*. Их наличие определяли визуально при осмотре внутренних органов, в частности сердца, жевательных мышц – массеторов, а также мышц лопатки [2–3].

Эхинококкоз вызывается личинками (эхинококковые пузыри) ленточного гельминта *Echinococcus granulosus*. Случаи заражения мяса выявляли визуально на паренхиматозных органах – на печени и легких [2–3].

**Результаты и обсуждение.** Результаты исследований в период 2003–2008 гг. представлены в таблице.

Из представленных в таблице данных видно, что число случаев выявления цистицеркозов в мясных продуктах в 2007–2008 гг. увеличилось в 2–3 раза по сравнению с 2003–2006 гг.

**Динамика числа выявленных случаев инвазионных заболеваний  
в мясных и рыбных продуктах на рынках г. Томска в период с 2003 по 2008 г.**

Заболевание	Количество выявленных случаев заражений мяса, шт.					
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Цистицеркоз (финноз)	23	36	30	21	77	79
Эхинококкоз	933	1032	755	798	976	1845
Трихинеллез	0	0	0	0	1	0
Другие инвазионные заболевания	2272	2457	5456	12083	4761	1177

Среди выявленных случаев цистицеркоза возрастает количество сильного поражения мышц и органов животного, которые идут на утилизацию в соответствии с Правилами ветеринарного осмотра убойных животных легких [7–8]. Так в 2007 г. в Томске было вынесено постановление об утилизации туши говядины весом 160 кг и 6 туш баранины общим весом 48 кг, пораженных финнозом. В 2008 г. 4 постановления об утилизации трех туш говядины и одной туши баранины общим весом 403 кг.

Аналогичную динамику установили по выявлению эхинококкоза. По сравнению с 2003–2007 г. в 2008 г. отметили двукратное повышение случаев выявления заражения мяса на рынках Томска данным заболеванием. Обращает на себя внимание 2007 г. Именно в этом году резко возросло количество выявленных случаев эхинококкоза и цистицеркоза по сравнению с 2003–2005 гг., а также впервые за много лет было выявлено трихинеллезом заражение свинины, привезенной из

Алтайского края, которая была уничтожена после проведения экспертизы. При этом наблюдали снижение численности другими инвазионными заболеваниями.

Увеличение количества инвазионных заболеваний в последние годы, по нашему мнению, не случайно. Способствующими факторами являются отсутствие предварительных и периодических медицинских осмотров при приеме работников в организации по выращиванию скота (фермерские хозяйства, агрофирмы, индивидуальные предприниматели), отсутствие запрета на подворный убой домашнего скота, рост количества бродячих собак, не контролируемый рост количества эмигрантов из ближнего и дальнего зарубежья, не благополучных по инвазионным заболеваниям. Когда речь идет об утилизации пищевой продукции, владельцы несут убытки. Именно поэтому они стараются обойти контролирующие организации и продать мясо, а это также является причиной ухудшения экологической обстановки и увеличения случаев заражения людей.

**Заключение.** Таким образом, в период с 2003 по 2008 г. установлена положительная динамика выявления случаев появления на рынках Томска зараженных мясных продуктов. Это может быть обусловлено двумя факторами. Во-первых, переоснащение лабораторий ветеринарно-санитарной экспертизы рынков Томска современным оборудованием позволяет проводить на более высоком уровне анализ поступающих на реализацию продуктов. Во-вторых, это может указывать на неблагоприятное состояние дел в фермерских и частных хозяйствах по содержанию и выращиванию скота.

*Научный руководитель: канд. хим. наук, доцент А. С. Минич.*

#### **Литература**

1. *Приставко, И. А.* Ветеринарно-санитарный надзор на продовольственных рынках Томска как способ обеспечения населения качественными экологически чистыми продуктами питания / И. А. Приставко, А. С. Минич // Вестник ТГПУ. 2010. Вып. 3 (93). С. 41–43.
2. *Уркхарт, Г.* Ветеринарная паразитология / Г. Уркхарт, Д. Эрмур, Д. Дункан и др. М. : Аквариум, 2000. 352 с.
3. *Макаров, В. А.* Справочник. Ветеринарно-санитарная экспертиза продуктов на рынках и в хозяйствах / В. А. Макаров. М. : Колос, 1992. 295 с.
4. *Соторов, П. П.* Ветеринарно-санитарная экспертиза пищевых продуктов животноводства, растениеводства и рыбоводства на рынках и хозяйствах: справочник / П. П. Соторов и др. Ростов н/Д : Изд-во НМЦ «Логос», 2007. 232 с.
5. *Сенченко, В. С.* Руководство по ветеринарно-санитарной экспертизе пищевых продуктов животноводства и растительного происхождения / В. С. Сенченко. Краснодар : Советская Кубань, 1988. 672 с.
6. *Ветеринарное законодательство* / под ред. А. Д. Третьякова. М. : Агропромиздат, 1988. Т. 4. 671 с.
7. *Костенко, Ю. Г.* Ветеринарно-санитарный осмотр продуктов убоя животных / Ю. Г. Костенко. М. : Минсельхознадзор, 2000. 108 с.
8. *Паразитология и инвазионные болезни сельскохозяйственных животных* / под ред. К. И. Абуладзе. М. : Колос, 1982. 495 с.

## К ИЗУЧЕНИЮ ИХТИОФАУНЫ РЕКИ ПАРАБЕЛЬ

А. А. Саиспаева, Г. В. Зингер

Томский государственный педагогический университет

Реки – это особые места обитания рыб, отличающиеся значительной специфичностью экологических условий. Прежде всего, это определяется проточностью воды, особым температурным режимом, газовым и минеральным составом. Экологическое состояние проточного водоема определяет формирование видового состава и разнообразие ихтиофауны, оказывает влияние на морфофизиологические параметры обитающих рыб.

Изучение специфики проточных водоемов и их ихтиофауны представляет не только теоретический интерес, но и практический, поскольку связано с рыбным хозяйством того или иного региона [3]. Рыбы составляют важную часть населения большинства рек, озер или водохранилищ.

Наша работа посвящена изучению ихтиофауны реки Парабель, левого притока Оби, которая образуется слиянием рек Кёнга и Чузик и протекает по территории Парабельского и Каркасоковского районов Томской области. Основные притоки р. Парабель: правые – Карза, Сочига, а левые – Омелич (Емельджа), Чарус, Верхняя Сенькина, Нижняя Сенькина, Тисат. Общая протяженность реки Парабель составляет 308 км, площадь бассейна – 25,5 тыс. км<sup>2</sup>, со среднемноголетним годовым стоком, равным 123 м<sup>3</sup>/с, или 3,9 км<sup>3</sup>/год [1].

По литературным источникам [2, 3], ихтиофауна бассейна р. Парабель насчитывает около 30 видов, которые относятся к разным систематическим группам. Более многочисленны елец, язь, плотва, налим, щука, судак, окунь и ерш. Ценными рыбами являются осетр, стерлядь, нельма, муксун, пелядь.

Наши исследования проведены в августе 2010 г. Всего было отловлено 67 экземпляров, которые были отнесены к 4 видам рыб: щука обыкновенная – *Esox lucius* (L.), плотва сибирская – *Rutilus rutilus lacustris* (Pall.), ерш обыкновенный – *Acerina cernua* (L.), окунь речной – *Perca fluviatilis* (L.). У отловленных рыб производили определение возраста, пола, биомассы, линейных и весовых параметров по общепринятой методике [4].

Детальные исследования были проведены в отношении одного из массовых видов данного бассейна – щуки обыкновенной. Всего было поймано 43 экземпляра этого вида, из них 8 самок и 9 самцов трехлетнего возраста, 6 самок и 5 самцов четырехлетнего возраста, 6 самок и 9 самцов пятилетнего возраста.

Определение биомассы показало, что у особей 3-летнего возраста её показатели варьировали в пределах от 34 до 77 г, что в среднем по группе составило  $58,5 \pm 8,1$ . Биомасса у 4-летних особей изменялась в пределах 82–148 г при среднем показателе  $112,9 \pm 14,0$ . У 5-летних особей этот параметр находился в пределах 158–348 г, что в среднем оказалось равно  $268,7 \pm 37,8$ .

При этом выяснилось, что в группе 5-летних особей имел место более значительный индивидуальный разброс по данному показателю, чем у 3- и 4-летних рыб. Средние значения по биомассе у 3-, 4- и 5-летних самцов щуки обыкновенной отображены на рис. 1. При этом выявлены достоверные отличия в показателях биомассы всех сравниваемых возрастных групп ( $p > 0,001$ ).

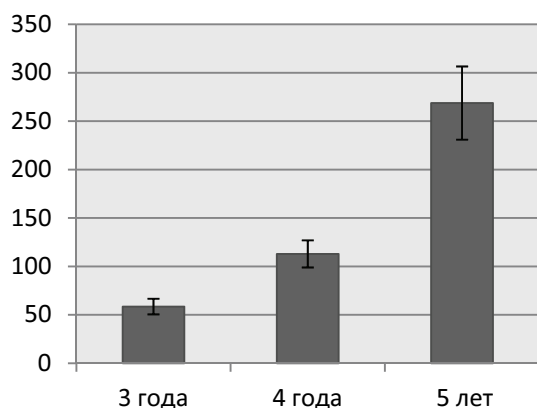


Рис. 1. Средняя масса тела 3-, 4- и 5-летних особей щуки обыкновенной

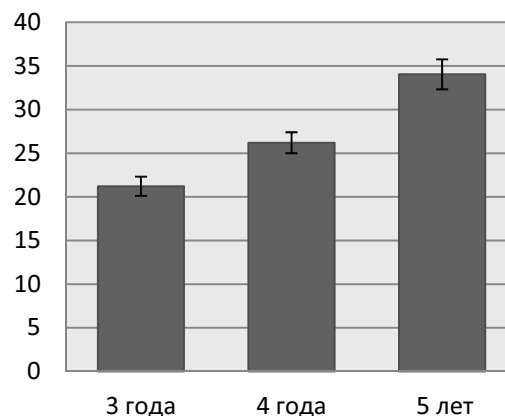


Рис. 2. Средняя абсолютная длина тела у 3-, 4- и 5-летних особей щуки обыкновенной

Достоверная разница ( $p > 0,001$ ) установлена и при сравнении биометрических показателей у рыб указанных возрастов. Средний показатель абсолютной длины тела у 5-летних особей был равен  $34,04 \pm 1,72$ . В группе 3-летних он составил  $21,22 \pm 1,1$ , а у 4-летних  $26,2 \pm 1,22$  (рис. 2).

Были проанализированы и другие линейные показатели: длина тела (без хвостового плавника), наибольшая высота тела, длина головы, расстояние между брюшными и анальными плавниками. Существенной индивидуальной вариативности этих показателей внутри каждой возрастной группы не выявлено.

В ходе исследований был проанализирован этот ряд параметров и у особей разного пола в тех же возрастных группах. Выяснилось, что наиболее вариативными показателями у самцов 3-летних, 4-летних и 5-летних особей щуки оказались биомасса, абсолютная длина тела и длина тела без хвостового плавника. В группе самок прослеживалась та же тенденция в проявлении значений, только выраженная в меньшей степени, по сравнению с самцами.

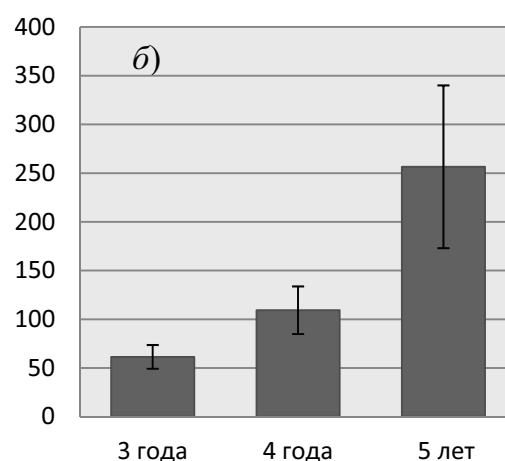
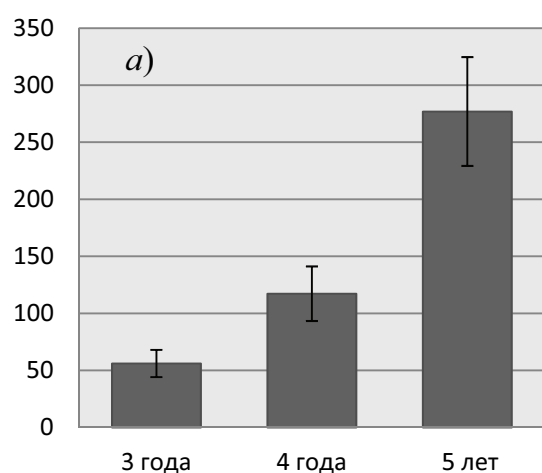


Рис. 3. Средняя масса тела самок (а) и самцов (б)

Средний показатель биомассы у самок 3-летнего возраста был равен  $61,4 \pm 12,17$  г, а у самцов этого возраста  $56,0 \pm 11,92$  г. У самок 4-летнего возраста он

составлял  $109,3 \pm 24,42$  г при средней биомассе самцов  $117,2 \pm 23,9$  г ( $p < 0,5$ ). У самок 5-летнего возраста данный показатель оказался равным  $256,5 \pm 83,6$ , тогда как у самцов этого же возраста биомасса была  $276,9 \pm 47,71$  ( $p = 0,5$ ).

Сравнение исследуемых значений не выявило достоверных половых различий по группам самцов и самок соответствующего возраста. Более подробно и наглядно, полученные результаты по сравниваемым параметрам отображены графически на рис. 3.

Аналогичным образом выглядели и показатели, отображающие линейные промеры (рис. 4).

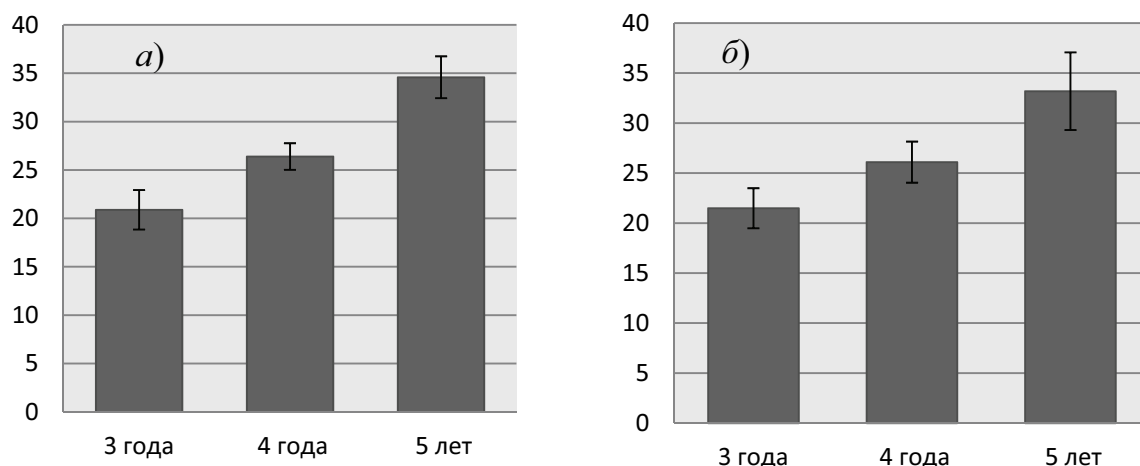


Рис. 4. Средняя длина тела самок (а) и самцов (б)

При средней абсолютной длине тела у 3-летних самок  $21,5 \pm 2,01$  см соответствующий показатель у 3-летних самцов равен  $20,9 \pm 2,04$  см ( $p = 0,5$ ). У 4-летних самок абсолютная длина тела равна  $26,1 \pm 1,03$  см, а у самцов  $26,4 \pm 1,38$  см ( $p = 0,5$ ). То же касается и 5-летних самок со средним значением абсолютной длины  $33,2 \pm 3,9$  см, у самцов  $34,6 \pm 2,17$  см ( $p = 0,5$ ).

Таким образом, наиболее вариабельным показателем у щуки обыкновенной являются абсолютная длина тела и биомасса. Другие линейные параметры не имеют значимых индивидуальных отличий внутри каждой группы. Различия в биомассе, линейных параметрах у 3-, 4- и 5-летних особей этого вида носят достоверный характер. Линейные параметры особей одного возраста не имеют достоверных половых различий.

#### Литература

1. Евсеева, Н. С. География Томской области (Природные условия и ресурсы) / Н. С. Евсеева. Томск, 2001. 223 с.
2. Земля парабельская: сб. научно-популярных очерков к 400-летию Нарыма / Администрация Парабельского района; ред. Я. А. Яковлев. Томск : Изд-во Томского университета, 1996. 335 с.
3. Иоганзен, Б. Г. Природа Томской области / Б. Г. Иоганзен. Новосибирск : Западно-Сиб. книжное издание, 1971. 175 с.
4. Романов, В. И., Петлина, А. П., Шаропина, И. Б. Методы исследования пресноводных рыб Сибири : учеб. пособие / В. И. Романов, А. П. Петлина, И. Б. Шаропина. Томск : Изд-во Томского университета, 2009. 220 с.

# ВЛИЯНИЕ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *LACTUCA SATIVA* L. ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ПЛЕНОК

Д. С. Сенникова, Н. Л. Пермякова, К. А. Батракова  
*Томский государственный педагогический университет*

В настоящее время в сельском хозяйстве широко применяются флуоресцентные пленки. В состав таких пленок вводят фотолюминофоры, которые за счет поглощения части УФ излучения люминесцируют в красной области спектра [1–5]. Использование флуоресцентных пленок в качестве покрытий сооружений защищенного грунта приводит к ускорению процессов роста, развития и повышению продуктивности растений под ними [6]. Однако до сих пор не установлено влияние интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок на продуктивность некоторых сельскохозяйственных культур, в частности *Lactuca sativa* L.

*Цель работы* – выяснение влияния люминесцентного излучения фотолюминесцентных полиэтиленовых пленок на рост, развитие и продуктивность *Lactuca sativa* L.

**Методика.** В качестве объекта исследования использовали растение *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый из семейства *Asteraceae* (отдел *Angiospermae* класс *Dicotylédones* порядок *Asterales*). Выбор обусловлен тем, что данный сорт широко выращивается в регионе Западной Сибири в культивационных сооружениях, как агропромышленного комплекса, так личных хозяйств. Испытания проводили на агробиологической станции Томского государственного педагогического университета (ТГПУ) в период с 1 июня по 10 июля 2010 г. Растения *Lactuca sativa* L. выращивали в сооружениях защищённого грунта размерами 1 м<sup>2</sup> высотой 0,6 м. Сооружения укрывали полиэтиленовыми плёнками с различными фотофизическими свойствами: немодифицированной (контроль) и флуоресцентными (опыт). Флуоресцентные плёнки люминесцируют с максимумом 615 нм за счет содержащегося в их составе люминофора на основе комплекса нитрата европия с 1,10-фенантролином (ФЕ). Вследствие разной концентрации люминофора в пленке (0,1, 0,3 и 0,5% масс.), последние имеют различную интенсивность люминесценции.

В процессе роста и развития *Lactuca sativa* L. проводили измерения морфометрических и некоторых биохимических показателей, определяли продуктивность растений. Статистическую обработку результатов проводили с помощью специализированного пакета «Statistic for Windows» (программа «Excel») с доверительным интервалом 0,95 (уровень значимости – 0,05, уровень надежности – 95%). На рисунках приведены данные в виде средних арифметических значений с двухсторонним доверительным интервалом.

**Результаты и обсуждение.** Результаты исследований показали, что относительно контроля под всеми выбранными опытными пленками происходит ускоренный рост и развитие растений *Lactuca sativa* L. Однако величина биологических ответов растений различна в зависимости от уровня интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок различается значительно. У всех

опытных растений салата наблюдали активный рост и развитие с начальных этапов вегетации. Это привело на 12–14 сутки вегетации к достоверным различиям продуктивности опытных растений относительно контроля. Максимальное повышение продуктивности отметили на 19–20 сутки онтогенеза, когда установили наибольшие различия большинства исследуемых морфометрических параметров контрольных и опытных растений. По сравнению с контролем под пленками ФЕ-0,1, ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5 площадь поверхности листьев салата была больше в 1,50; 1,37 и 1,28 раза, высота розетки листьев – в 1,45; 1,21 и 1,16 раза соответственно (рис. 1–2). Таким образом, у салата наибольшее изменение продуктивности установили под флуоресцентной пленкой ФЕ-0,1.

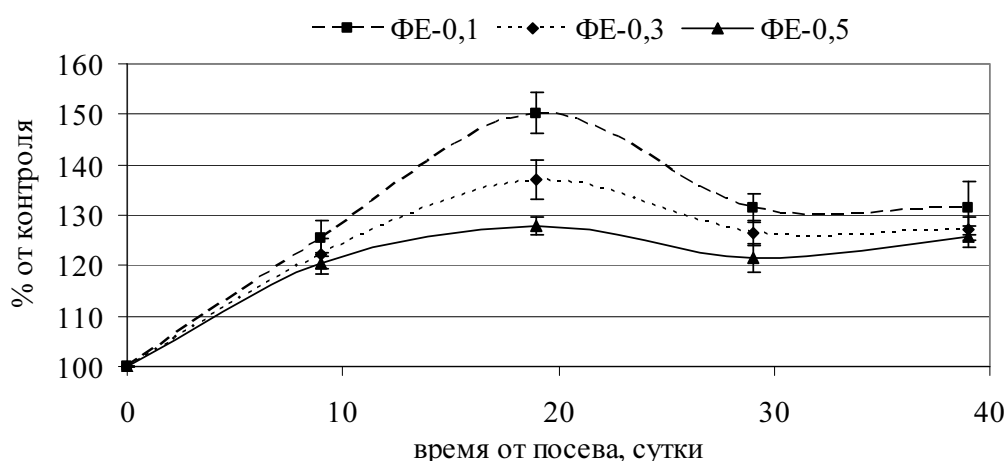


Рис. 1. Динамика площади поверхности листьев *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под флуоресцентными пленками ФЕ-0,1, ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5

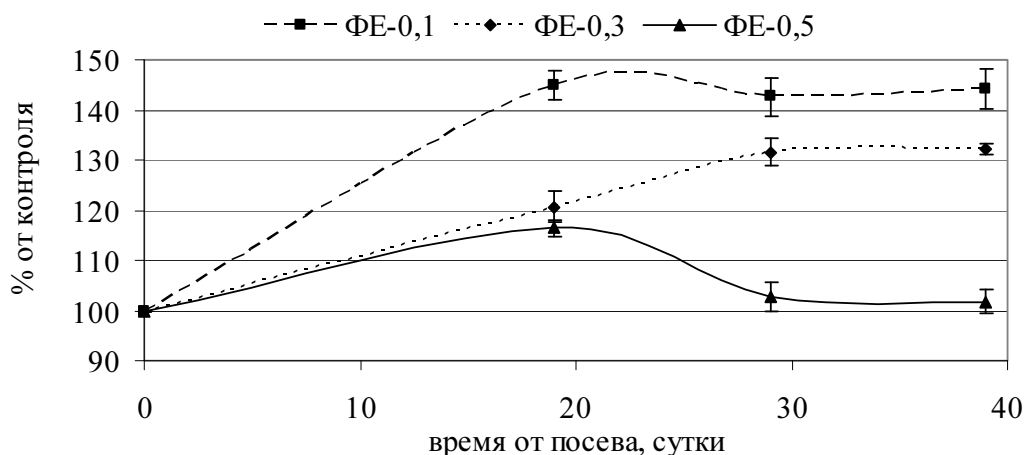


Рис. 2. Динамика высоты розетки листьев *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под флуоресцентными пленками ФЕ-0,1, ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5

Динамика площади ассимилирующей поверхности сопряжена с динамикой сырой массы и массы сухого вещества растений (рис. 3–4).

Через 29–30 суток у салата под флуоресцентными пленками отметили активное формирование новых листьев, но установили замедление развития растений



в целом, а у контрольных растений наблюдали интенсификацию роста и развития. Вследствие этого выявили менее значительные различия продуктивности в опыте и в контроле. Так площадь поверхности листьев салата под флуоресцентными пленками относительно контроля была больше в 1,31; 1,27 и 1,21 раза, чем в возрасте 19 суток (рис. 1). При этом максимальное замедление процессов развития под флуоресцентными пленками имело обратную тенденцию по отношению к активации ростовых процессов, т.е. торможение развития салата по отношению к контролю происходило быстрее у опытных растений, в которых интенсивность люминесценции флуоресцентных пленок была ниже.

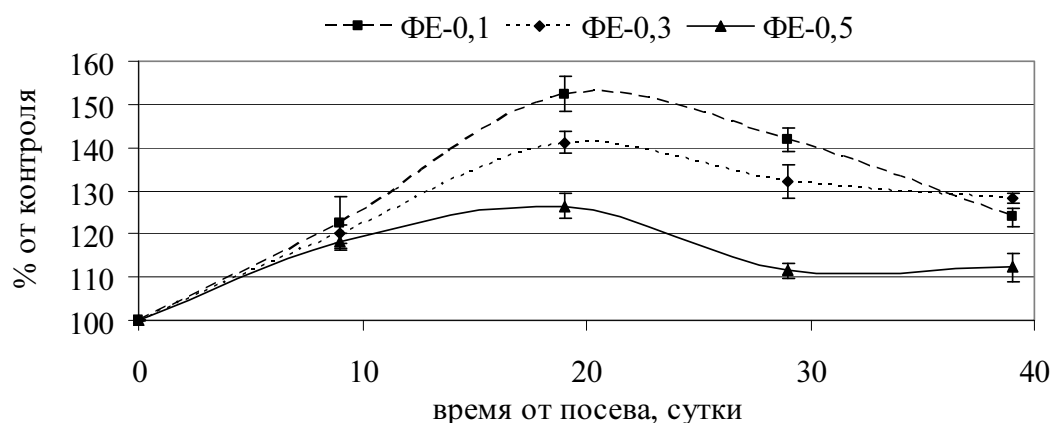


Рис. 3. Динамика сырой массы *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под флуоресцентными пленками ФЕ-0,1, ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5

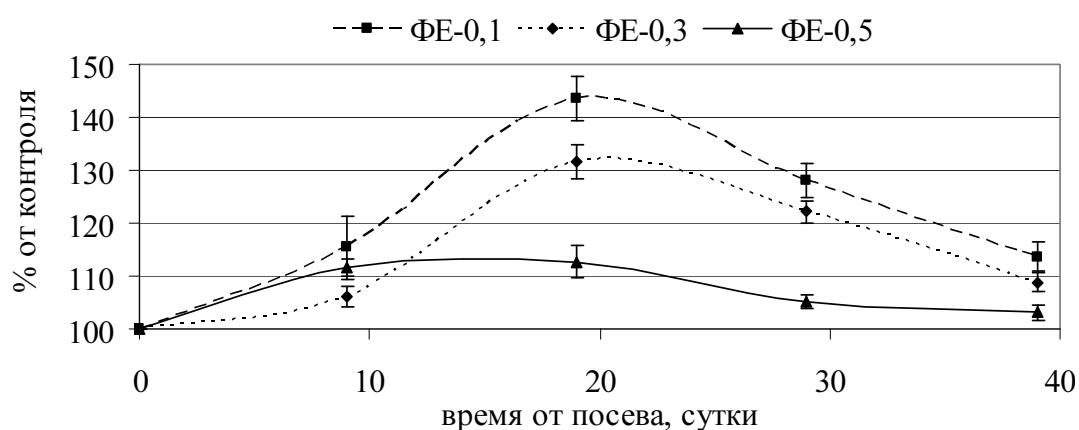


Рис. 4. Динамика массы сухого вещества *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под флуоресцентными пленками ФЕ-0,1, ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5

Изменение продуктивности *Lactuca sativa* контрольных и опытных растениях сопряжены с динамикой накопления АК в листьях растений (рис. 5).

Минимальное содержание АК в листьях салата отметили в период максимальной активизации развития листовой поверхности, причем такую зависимость установили как для опытных, так и для контрольных растений. Так под флуоресцентными пленками ФЕ-0,1 и ФЕ-0,3 установили минимальное содержание АК на 19–20 суток вегетации, под пленкой ФЕ-0,5 и в контроле – на 29–

30 суток. Зависимость уменьшения уровня АК с активацией реакций роста и развития растений подтверждают литературные данные [6].

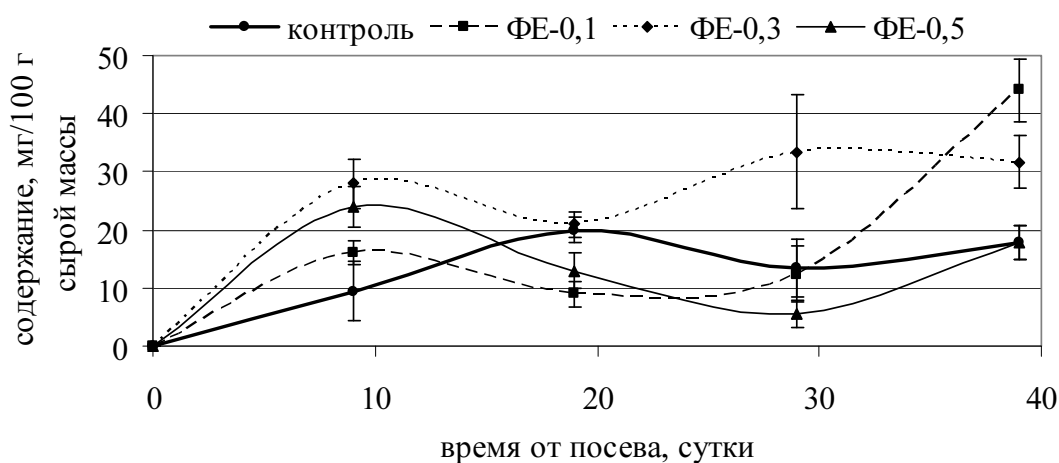


Рис. 5. Динамика содержания АК в листьях *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под флуоресцентными пленками ФЕ-0,1, ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5

Изменения ростовых процессов и продуктивности *Lactuca sativa* сопряжено с уровнем гормонального статуса растений (см. табл.).

**Содержание эндогенных ИУК и АБК в *Lactuca sativa* L. сорта Московский парниковый под немодифицированной (ПЭВД) и флуоресцентными пленками с различной интенсивностью люминесцентного излучения с максимумом 615 нм**

Возраст растений, сутки	Содержание эндогенных гормонов, нг/растение							
	Свободная ИУК				Свободная АБК			
	ПЭВД	ФЕ-0,1	ФЕ-0,3	ФЕ-0,5	ПЭВД	ФЕ-0,1	ФЕ-0,3	ФЕ-0,5
9	следы	$2,93 \pm 0,29$	$2,34 \pm 0,59$	$0,26 \pm 0,35$	$0,88 \pm 0,35$	$0,44 \pm 0,02$	следы	следы
19	$0,19 \pm 0,01$	$0,47 \pm 0,09$	$1,06 \pm 0,01$	$1,17 \pm 0,16$	$0,26 \pm 0,05$	$0,18 \pm 0,03$	следы	следы
29	$0,47 \pm 0,08$	следы	следы	следы	$0,84 \pm 0,20$	$0,62 \pm 0,15$	$0,35 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,07$
39	следы	$1,17 \pm 0,29$	$0,15 \pm 0,02$	$0,29 \pm 0,02$	$6,17 \pm 0,93$	$0,31 \pm 0,07$	$0,75 \pm 0,16$	$0,09 \pm 0,01$

У растений салата под флуоресцентными пленками по сравнению с контрольными растениями в начале вегетации отметили повышенный уровень ИУК, являющейся активатором роста и развития, а ингибитора ростовых процессов АБК – пониженный уровень на протяжении всего периода исследований. Содержание ИУК и АБК в течение первых 30 суток вегетации зависело от интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок. У 9-суточных растений большее содержание ИУК отметили у растений под пленкой ФЕ-0,1. В возрасте 19 суток под этой пленкой отметили минимальное содержание ИУК по сравнению с пленками ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5. Такое изменение, возможно, связано с тем, что люминесцентное излучение флуоресцентных пленок большей интенсивности (ФЕ-0,3 и ФЕ-0,5) вызывает более медленные ответные реакции растений, т.е. оптимальным для роста и развития растений салата является интенсивность люминесценции, генерируемая флуоресцентной пленкой ФЕ-0,1. В этот же период (9–19 суток) отметили минимальный уровень АБК у опытных растений.

Можно полагать, что уровень ИУК и АБК, вовлеченных в систему трансдукции светового сигнала [7] (Карначук и др., 2001), зависит от работы регуляторных систем *Lactuca sativa* L.

В 29-суточном возрасте отметили содержание ИУК выше у растений под немодифицированной пленкой, что привело к активному их росту и развитию по сравнению с опытными растениями. Это способствовало тому, что растения в контроле по своим морфометрическим параметрам значительно приблизились к опытным. В дальнейшем в возрасте 39 суток увеличение содержания ИУК у *Lactuca sativa* L. под флуоресцентными пленками вновь привело к интенсификации ростовых процессов опытных растений относительно контроля.

Таким образом, люминесцентное излучение флуоресцентных пленок с максимумом 615 нм интенсифицирует процессы роста и развития опытных растений относительно контрольных, что способствует их ускоренному развитию и повышению продуктивности. Ростовые параметры сопряжены с уровнем эндогенных гормонов и АК, которые зависят от интенсивности люминесценции флуоресцентных пленок. Максимальная активация ростовых параметров, а в дальнейшем и продуктивность происходит под флуоресцентной пленкой с минимальной концентрацией люминофора ФЕ-0,1.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент И. Б. Минич.*

#### Литература

1. Ицкова, Т. Г. Пленочные полимерные материалы и их применение / Т. Г. Ицкова. Л. : ЛДНТП, 1977. С. 40–43.
2. Толстиков, Г. А. Полисветан – фоторедуцирующие полимерные материалы для покрытий вегетационных сооружений / Г. А. Толстиков. Томск : Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1998. С. 3–5.
3. Щелоков, Р. Н. Полисветаны и полисветановый эффект / Р. Н. Щелоков // Вестник АН СССР. 1986. № 10. С. 50–55.
4. Карасев, В. Е. Полисветаны – новые полимерные светотрансформирующие материалы для сельского хозяйства / В. Е. Карасев // Вестник ДВО РАН. 1995. № 2. С. 66–73.
5. Райда, В. С. Исследование особенностей преобразования излучения солнца УФ и видимого диапазонов светокорректирующими пленками с люминофорами на основе соединений европия / В. С. Райда // Оптика атмосферы и океана. 2003. № 2. Вып. 16. С. 245–251.
6. Kusnetsov, S. I. et al. «Polisvenan», a high performs material for cladding greenhouse / S. I. Kusnetsov et al. // Plasticulture. 1989. № 3 (83). P. 13–20.
7. Чупахина, Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений / Г. Н. Чупахина. Калининград, 1997. 120 с.
8. Карначук, Р. А. и др. Гормональный баланс листа растений на свету различного спектрального состава / Р. А. Карначук и др. // Физиология растений. 1990. Т. 37, вып. 3. С. 527–534.
9. Карначук, и др. Гормональный статус, рост и фотосинтез растений, выращенных на свету разного спектрального состава / Карначук, и др. // Физиология растений. 1998. Т. 45, № 6. С. 925–934.

# СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ХВОЕ *PINUS SYLVESTRIS* L. БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Е. Н. Сурнина, Е. А. Жаровская, О. В. Сараева, М. Ю. Шик  
*Томский государственный педагогический университет*

Важнейшим компонентом болотных экосистем являются растения-продуценты. Они играют ведущую роль в круговороте углерода в биосфере. Фотосинтез и дыхание растений – два взаимосвязанных и взаимодополняющих процесса, в ходе которых происходит превращение неорганического углерода атмосферы в органическую форму, обеспечение организмов энергией, метаболитами для всех процессов жизнедеятельности, депонирование углерода в виде разнообразных органических соединений в общей биомассе растений и в конечном счете в торфе, и выделение  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в атмосферу. Важным и чувствительным показателем физиологического состояния растений, отражающим интенсивность фотосинтеза и адаптивные перестройки метаболизма, является содержание фотосинтетических пигментов. Среди разнообразных экологических факторов, оказывающих воздействия на растения болотных экосистем, ведущим в условиях обильного застойного увлажнения является недостаток кислорода. В условиях недостатка кислорода метаболические способы адаптации растений затрагивают прежде всего процесс дыхания, что объясняется спецификой воздействия. Компенсаторные перестройки дыхательного метаболизма в значительной степени отражают использование эволюционно сформированных систем гликолиза, переходящего в спиртовое брожение, и окислительного пентозофосфатного пути, поставляющих АТФ, промежуточные вещества для биосинтезов и биологические восстановители [1].

Цель работы состояла в сравнительном исследовании ряда показателей, характеризующих основные жизненно важные физиологические функции: фотосинтез и дыхание у сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. (семейство Pinaceae) из болотных и других естественных экосистем на юге Томской области. Исследованные объекты произрастали в естественных биоценозах соснового бора в окрестностях села Победа и Большое Протопопово (контроль) и болотных экосистемах Таган и Полынянка (опыт). Исследования проводились на двухлетней развитой хвое в июле 2010 г. Количество хлорофиллов *a* и *b*, а также сумму каротиноидов определяли в этиловом спирте на спектрофотометре UV-1650 pc UV-spectrophotometer (Shimadzu) при длине волны 665, 649, 440,5 нм [2]. Для определения активности ферментов производили гомогенизацию растительных тканей при пониженной температуре в среде следующего состава: трис-НСl буфер (50 мМ, рН 7,8), аскорбат натрия (5 мМ), цистеин (3 мМ),  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (1 мМ) и ДТТ (5 мМ) [3]. Гомогенат центрифугировали при 20 000 g в течение 20 мин при 2–4 °С. Активность ферментов измеряли в супернатанте спектрофотометрически (UV-1650 pc UV-spectrophotometer, Shimadzu). Ферментативную активность алкогольдегидрогеназы (КФ 1.1.1.1) определяли в окислительно-восстановительных превращениях  $\text{НАД}^+$  или НАДН в реакционных средах, содержащих трис-НСl буфер (50 мМ, рН 9,5), НАДН (2 мкМ); ацетальдегид

(50 мкМ) или НАД (15 мМ) и этанол (50 мМ). Работу фермента глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (КФ 1.1.1.49) исследовали в реакционной смеси, содержащей трис-НСl буфер (30 мМ, pH 7,4), глюкозо-6-фосфат Na соль (0,12 мМ),  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  (0,25 М) и НАДФ (11 мМ) [4]. Содержание белка определяли по методике Бредфорд [5]. Результаты выражали в единицах ферментативной активности на 1 мг белка. Результаты обрабатывали статистически с помощью компьютерных программ Excel и Statistica 6.0. В таблицах приведены средние арифметические и их среднеквадратичные отклонения. Разницу между сравниваемыми средними значениями оценивали с помощью критерия Стьюдента при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

Проведенные в 2010 г. исследования показали, что в сформированном фотосинтетическом аппарате при близких условиях произрастания (биоценозы соснового леса в Победе и Большом Протопопово) количество хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов, а также их соотношения в двухлетней хвое сосны обыкновенной достоверно не отличались (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Сравнительная характеристика содержания фотосинтетических пигментов  
в двухлетней хвое *Pinus sylvestris* L. экосистем соснового бора  
и болотных экосистем, мкг/г сырой массы**

Экосистема	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Сумма ( <i>a</i> + <i>b</i> )	Сумма каротиноидов	<i>a/b</i>	$\frac{(a+b)}{\text{каротиноиды}}$
Сосновый бор Победа (контроль)	1035 ± 43	368 ± 19	1403 ± 62	284 ± 12	2,9	4,9 ± 0,02
Сосновый бор Прото- попово (контроль)	1101 ± 17	377 ± 15	1478 ± 23	299 ± 6	2,9	4,9 ± 0,07
Таган, пункт 1 (опыт)	961 ± 23*	316 ± 5*	1278 ± 28*	211 ± 5*	3,0	6,1 ± 0,003*
Таган, пункт 2 (опыт)	938 ± 17*	312 ± 14*	1250 ± 30*	203 ± 2*	3,0	6,2 ± 0,12*
Таган, пункт 3 (опыт)	732 ± 34*	253 ± 8*	985 ± 41*	148 ± 7*	2,9	6,7 ± 0,05*
Полынянка (опыт)	332 ± 13*	116 ± 1*	448 ± 14*	95 ± 4*	2,9	4,7 ± 0,11

Примечание. \* – различия между контролем и опытом достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Исследование пигментного фонда хвои сосны болотных экосистем показало, что содержание зеленых и желтых пигментов достоверно уменьшалось у растений всех исследованных биоценозов по сравнению с контрольными вариантами. Больше всего эта разница была выражена для растений экосистемы Полынянка, что, по-видимому, обусловлено своеобразным сочетанием эдафических и климатических факторов, характерных для сфагновых болот. Однако различия в содержании пигментов были достоверными, но не критическими, так как соотношение пигментов изменялось, но оставалось физиологичным и, скорей всего, фотосинтетические процессы тормозились в небольших пределах, что свидетельствовало о происходящих адаптивных перестройках.

О переходе гликолиза в гипоксических условиях в брожение свидетельствовало резкое повышение активности основного тестового фермента для гипоксического воздействия любого типа – алкогольдегидрогеназы, катализирующей заключительную реакцию спиртового брожения. В хвое сосны произрастающей на

верховом болоте (Полынянка) активность НАДН-алкогольдегидрогеназы возрасла в 3,8 раза по сравнению с растениями соснового биоценоза (табл. 2). Одновременно отмечено 16-кратное возрастание активности НАД-зависимой алкогольдегидрогеназы, что указывало на возможность вторичной переработки этанола растениями, испытывающими анаэробиз [1].

Вместе с усилением гликолиза в хвое болотной сосны активировалась работа окислительного пентозофосфатного пути дыхания, о чем свидетельствовало семикратное увеличение активности его стартового энзима – НАДФ-глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы по сравнению с растениями контрольных экосистем соснового леса (табл. 2). Подтверждается представление о том, что в условиях кислородной недостаточности процессы гликолиза и апотомического распада углеводов осуществляются параллельно в силу их тесной взаимосвязи [1].

Т а б л и ц а 2

**Активность некоторых ферментов анаэробного дыхательного метаболизма в двухлетней хвое *Pinus sylvestris* L. разных экосистем**

Фермент	Активность, мЕ/мг белка	
	Экосистема соснового бора (Победа, контроль)	Болотная экосистема (Полынянка, опыт)
НАДН-алкогольдегидрогеназа	60,6 ± 3,58	229,6 ± 19,21
НАД-алкогольдегидрогеназа	3,7 ± 0,28	59,6 ± 2,24
НАДФ-глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа	1,44 ± 0,07	9,88 ± 0,01

*Примечание.* Все различия между контролем и опытом достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Таким образом, проведенные исследования показали, что сосна обыкновенная в разных условиях произрастания отличается уровнем фотосинтетических пигментов и особенностями дыхательного обмена. В условиях соснового бора содержание фотосинтетических пигментов значительно выше, чем в болотных экосистемах, среди которых более низкое содержание хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов выявлено на верховом болоте, по сравнению с низинным. В хвое болотной сосны активируются процессы анаэробного дыхательного обмена, которые обеспечивают стратегию выживания растений.

*Научный руководитель: С. А. Войцековская.*

#### Литература

1. Чиркова, Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т. В. Чиркова. Л. : Изд-во СПб. ун-та, 2002. 240 с.
2. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О. А. Павлиновой. М. : Наука, 1971. С. 154–170.
3. Юзбеков, А. К. Спектрофотометрические способы определения активности ключевых ферментов фотосинтетического метаболизма у  $C_3$  и  $C_4$ -растений : методич. пособие / А. К. Юзбеков. Киев: Ин-т физиологии растений и генетики АН УССР, 1990. 32 с.
4. Астафурова, Т. П., Войцековская, С. А., Верхотурова, Г. С. Исследование путей адаптации растений к гипобарической гипоксии / Т. П. Астафурова, С. А. Войцековская, Г. С. Верхотурова // Вестник ТГУ. 2007. № 1. С. 67–74.

5. Bradford, R. M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / R. M. M. Bradford // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.

## НЕМАТОДЫ, ПАРАЗИТИРУЮЩИЕ В КИШЕЧНИКЕ ОРТОПТЕРОИДНЫХ НАСЕКОМЫХ

А. Е. Сытникова

Томский государственный педагогический университет

Культуры различных видов ортоптероидных насекомых (Insecta: Orthopteroidea) активно используются во многих научных и учебных учреждениях для экспериментальной работы и учебных целей. Разнообразие и простота культивирования ортоптероидных насекомых из различных отрядов создают благоприятные условия для проведения паразитологических исследований [1, 2].

Нами было проведено обследование 26 культур 24 видов тараканов (Dictyoptera: Blattaria) из инсектария кафедры защиты растений Биологического института Томского государственного университета: *Blaberus craniifer* Burmeister, 1838, *Blaberus discoidalis* Serville, 1838, *Blaberus giganteus* (Linnaeus, 1758), *Blaberus parabolicus* Walker, 1868, *Byrsotria cabrerai* Rehn & Hebard, 1927, *Byrsotria fumigata* (Guérin-Méneville, 1857), *Lucihormetica verrucosa* (Brunner von Wattenwyl, 1865) (Blaberidae: Blaberinae); *Panesthia cognata* Bei-Bienko, 1969, *Panesthia* sp. из Камбоджи (Blaberinae: Panesthiinae); *Elliptorhina* sp., *Nauphoeta cinerea* (Olivier, 1789), *Oxyhaloa deusta* (Thunberg, 1784), *Rhyparobia maderae* (Fabricius, 1781), культура не определенных до рода тараканов из Кении (Blaberidae: Oxyhaloinae); *Blatta orientalis* Linnaeus, 1758, *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) (три культуры разного происхождения), *Periplaneta australasiae* (Fabricius, 1775), *Periplaneta brunnea* Burmeister, 1838, *Periplaneta* sp. из Кении (Blattidae: Blattinae), *Eurycotis floridana* (Walker, 1868), *Eurycotis opaca* (Brunner von Wattenwyl, 1865) (Blattidae: Polyzosteriinae); *Metana* sp. из Шри-Ланки (Tryonicidae: Tryonicinae); *Ergaula capucina* (Brunner von Wattenwyl, 1893), *Polyphaga aegyptiaca* (Linnaeus, 1758) (Polyphagidae: Polyphaginae).

Кроме того, обследовали лабораторные культуры двух видов сверчков (Orthoptera: Gryllidae): *Gryllus bimaculatus* De Geer, 1773, *Gryllus cf. assimilis* (Fabricius, 1775).

Всего было проведено 49 вскрытий, сделано 70 временных и постоянных препаратов.

Работа является продолжением исследований видового разнообразия нематод семейства Thelastomatidae, проводимых на базе инсектария Томского государственного университета [1, 3–8].

Было выявлено 9 видов нематод: *Cranifera cranifera* (Chitwood, 1932), *Hammerschmidtella diesingi* (Hammerschmidt, 1838), *Hammerschmidtella cristata* Spiridonov, 1984, *Leidynema appendiculata* (Leidy, 1850), *Leidynema delatorei* Chitwood, 1932, *Leidynema portentosa* Van Waerebeke, 1978, *Leidynemella paracranifera* Chitwood & Chitwood, 1934, *Severianoia blapticola* Guzeeva, 2009 и *Thelastoma* sp.

В культурах тараканов *Lucihormetica verrucosa*, *Nauphoeta cinerea*, *Oxyhaloa deusta*, *Panesthia cognata*, *Polyphaga aegyptiaca* и в культуре тараканов подсемейства *Oxyhaloinae* из Кении нематоды не обнаружены.

*Cranifera cranifera* найдены у тараканов *Blaberus craniifer*, *Blaberus discoidalis*, *Blaberus giganteus*, *Blaberus parabolicus* и *Metana* sp. Причем, у большинства тараканов они были отмечены в сочетании с *Leidynema appendiculata* и только у *Blaberus giganteus* – в сочетании с *Severianoia blapticola*.

*Hammerschmidtella diesingi* обнаружены у *Blatta orientalis*, *Periplaneta americana*, *Periplaneta australasiae*, *Eurycotis floridana* и *Metana* sp.

*Hammerschmidtella cristata* найдены только у *Gromphadorhyna* sp.

*Leidynema appendiculata* является самым распространенным в лабораторных культурах тараканов видом нематод и встречается у *Blaberus discoidalis*, *Blaberus parabolicus*, *Byrsotria cabrerai*, *Blatta orientalis*, *Periplaneta americana*, *Periplaneta australasiae*, *Periplaneta brunnea*, *Periplaneta* sp., *Eurycotis floridana* и *Metana* sp.

*Leidynema delatorei* встречается у *Leucophaea maderae*.

*Leidynema portentosa* – у *Blaberus giganteus* и *Elliptorhina* sp.

*Leidynemella paracranifera* найдена в культуре тараканов *Panesthia* sp. из Камбоджи.

*Severianoia blapticola* обнаружена только у *Blaberus giganteus*.

*Thelastoma* sp. – у *Byrsotria fumigata*, *Blatta orientalis*, *Periplaneta americana*, *Periplaneta australasiae*, *Eurycotis floridana* и *Metana* sp.

В лабораторных культурах сверчков нематоды не обнаружены.

Авторы выражают благодарность заведующему инсектарием Московского зоопарка М. В. Березину и заведующему лабораторией генетических основ био-разнообразия Института общей генетики РАН доктору биол. наук Д. В. Муха за помощь в получении культур тараканов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-04-01113-а «Исследование филогении насекомых отряда таракановых (Dictyoptera, Blattina): молекулярный и сравнительно-анатомические подходы».

Научные руководители: канд. биол. наук, доцент Л. В. Лукьянцева (ТГПУ), канд. биол. наук, доцент С. В. Лукьянцев (ТГУ).

### Литература

1. Лукьянцев, С. В. и др. Паразиты кишечника тараканов / С. В. Лукьянцев, Е. А. Гузеева, В. А. Мавропуло // Паразитологические исследования в Сибири и на Дальнем Востоке : материалы II межрегиональной научной конференции. Новосибирск, 2005. С. 119–120.
2. Спиридонов, С. Э., Иванова, Е. С. Тараканы – объект исследований в нематологии и паразитарная модель / С. Э. Спиридонов, Е. С. Иванова // Беспозвоночные в коллекциях зоопарков : материалы II международного семинара ЕАРАЗА. Москва, 2005. С. 172–176.
3. Виноградова, Е. В., Лукьянцев, С. В. Предварительные данные о зараженности синантропных тараканов паразитическими нематодами / Е. В. Виноградова, С. В. Лукьянцев // III Сибирская школа молодого ученого : материалы V региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2001. Т. 1. С. 85–98.
4. Гузеева, Е. А. Нематоды надсемейства Thelastomatoidea в культурах лабораторных тараканов: зараженность и видовое разнообразие / Е. А. Гузеева // Материалы юбилейной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МФСХ. Томск, 2004. С. 86–88.
5. Гузеева, Е. А. Изучение нематод надсемейства Thelastomatoidea / Е. А. Гузеева // Материалы XLIII международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» : Биология. Новосибирск, 2005. С. 142–143.



6. Гузеева, Е. А. *Severianoia blapticola* sp. n. (Oxyurida: Thelastomatidae): новый вид нематод от тараканов-блаберид / Е. А. Гузеева // Паразитология. 2009. 43(4). С. 299–308.

7. Guzeeva, E. A., Lukyantsev, S. V. Thelastomatid nematodes in cockroaches of laboratory cultures: species diversity and intensity of infection / E. A. Guzeeva, S. V. Lukyantsev // Russian Journal of Nematology. 2005. 13(2). P. 146–147.

8. Spiridonov, S. E., Guzeeva, E. A., Lukyantsev, S. V. The sequence analysis of D2D3 domain of LSU rDNA of Thelastomatidae (Thelastomatoidea, Oxyurida) from hind gut of cockroaches / S. E. Spiridonov, E. A. Guzeeva, S. V. Lukyantsev // Russian Journal of Nematology. 2003. 11(2). P. 148–149.

## ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

О. П. Тимофеев

*Томский государственный педагогический университет*

Прогресс, без усталости вертя колес сцепленье,  
То движет что-нибудь, то давит под собой.

*В. Гюго*

В современном мире одним из прогрессивно развивающихся и используемых видов энергии в промышленности и для бытовых целей является ядерная энергия. Известно, что ядерная энергия получается путем термоядерного или ядерного синтеза. Преимущественность этого вида энергии перед остальными заключается в том, что запасы энергии, которые заключены внутри ядер являются практически неисчерпаемыми, в отличие от природных ресурсов. Такие факты из истории как трагедия на Чернобыльской АЭС 26.04.1986 г. и трагедия на японской АЭС Фукусима 1 (11.03.2011 г.) заставляют задуматься об использовании ядерной энергии.

В результате спонтанного радиоактивного распада радионуклидов, ядерных реакций (синтез и индуцированное деление ядер, захват протонов, нейтронов, альфа-частиц и др.), а также при ускорении заряженных частиц в космосе (природа такого ускорения космических частиц до конца не ясна) в природе обычно генерируется ионизирующее излучение, которое способно ионизировать вещество или окружающую среду.

Искусственными источниками ионизирующего излучения являются искусственные радионуклиды (генерируют альфа-, бета- и гамма-излучения), ядерные реакторы (генерируют главным образом нейтронное и гамма-излучение), радионуклидные нейтронные источники, ускорители элементарных частиц (генерируют потоки заряженных частиц, а также тормозное фотонное излучение), рентгеновские аппараты (генерируют тормозное рентгеновское излучение)

Ионизирующими свойствами обладают радиоактивные излучения, излучения высоких энергий, рентгеновские лучи и т.д. Наиболее разнообразны по видам ионизирующих излучений так называемые радиоактивные излучения, образующиеся в результате самопроизвольного радиоактивного распада атомных ядер элементов с изменением физических и химических свойств последних. Элементы, обладающие способностью радиоактивного распада, называются радиоактивными; они могут быть естественными, такие, как уран, радий, торий и др.

(всего около 50 элементов), и искусственными, для которых радиоактивные свойства получены искусственным путем (более 700 элементов).

При радиоактивном распаде имеют место быть три основных вида ионизирующих излучений: альфа, бета, гамма.

Альфа-частица – это положительно заряженные ионы гелия, образующиеся при распаде ядер, как правило, тяжелых естественных элементов (радия, тория и др.). Эти лучи не проникают глубоко в твердые или жидкие среды, поэтому для защиты от внешнего воздействия достаточно защититься любым тонким слоем материала, даже листком бумаги. Глубина проникновения альфа – излучения в биологическую ткань численно равна 0,01–0,1 мм. Бета-излучения обладают большей, по сравнению с альфа-лучами, проникающей способностью в биологическую ткань, которая составляет 2–3 см. Поэтому и для защиты от них требуются более плотные и толстые экраны. Разновидностью бета-излучений, образующихся при распаде некоторых искусственных радиоактивных элементов, являются позитроны. Они отличаются от электронов лишь положительным зарядом, поэтому при воздействии на поток лучей магнитным полем они отклоняются в противоположную сторону. Гамма-излучение или кванты энергии (фотоны), представляют собой жесткие электромагнитные колебания, образующиеся при распаде ядер тяжелых радиоактивных элементов. Эти лучи обладают гораздо большей проникающей способностью, чем бета- и альфа-излучения. Глубина проникновения в биологическую ткань составляет 5–7 км. Поэтому для экранирования от них необходимы специальные устройства из материалов, способных хорошо задерживать эти лучи (свинец, бетон, вода). Ионизирующий эффект действия гамма-излучения обусловлен в основном как непосредственным расходом собственной энергии, так и ионизирующим действием электронов, выбиваемых из облучаемого вещества.

Стоит отметить, что самый опасный вид излучения – гамма-излучение.

Рентгеновское излучение образуется при работе рентгеновских трубок, а также сложных электронных установок (бетатронов и т.п.). По характеру рентгеновские лучи во многом сходны с гамма-лучами и отличаются от них происхождением и иногда длиной волны: рентгеновские лучи, как правило, имеют большую длину волны и более низкие частоты, чем гамма-лучи. Ионизация вследствие воздействия рентгеновских лучей происходит в большей степени за счет выбиваемых ими электронов и лишь незначительно за счет непосредственной траты собственной энергии. Эти лучи (особенно жесткие) так же обладают значительной проникающей способностью.

Все виды ионизирующих излучений отличаются друг от друга различными зарядами, массой и энергией. Различия имеются и внутри каждого вида ионизирующих излучений, обуславливая большую или меньшую проникающую и ионизирующую способность и другие их особенности. Интенсивность всех видов радиоактивного облучения, как и при других видах лучистой энергии, обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника излучения, т.е. при увеличении расстояния вдвое или втрое интенсивность облучения уменьшается соответственно в 4 и 9 раз.

Выделяют 8 существующих единиц измерения: Зиверт, Грэй, Рад, Бэр, Рентген, Кюри, Рэм, Беккерель.

Зиверт является основной используемой единицей измерения на сегодняшний день. 1 Зиверт – это количество энергии, поглощенное килограммом биологической ткани, равное по воздействию поглощенной дозе 1 Грэй. Равенство Зиверта и Грея показывают, что эффективная доза и поглощенная доза численно равна поглощенной дозе. При определении эффективной дозы учитывается биологическое воздействие радиации, она равна поглощенной дозе, умноженной на коэффициент качества, зависящий от вида излучения и характеризует биологическую активность того или иного вида излучения. Это имеет большое значение для радиобиологии.

Рентген – внесистемная единица экспозиционной дозы радиоактивного облучения рентгеновским или гамма-излучением, определяемая по их ионизирующему действию на сухой атмосферный воздух.

Такие единицы измерения как Бэр, Рад, Грей, Кюри, Рэм, Беккерель на сегодняшний день являются устаревшими и практически не используются.

В реакции организма на облучение можно выделить четыре фазы. Длительность первых трех быстрых фаз не превышает единиц микросекунд, в течение которых происходят различные молекулярные изменения. В четвертой медленной фазе эти изменения переходят в функциональные и структурные нарушения в клетках, органах и организме в целом.

Первая, физическая фаза – ионизации и возбуждения атомов длится  $10^{-13}$  с. Во второй, химико-физической фазе, протекающей  $10^{-10}$  с образуются высокоактивные в химическом отношении радикалы, которые, взаимодействуя с различными соединениями, дают начало вторичным радикалам, имеющим значительно большие по сравнению с первичными сроки жизни. В третьей, химической фазе, длящейся  $10^{-6}$  с, образовавшиеся радикалы, вступают в реакции с органическими молекулами клеток, что приводит к изменению биологических свойств молекул.

Описанные процессы первых трех фаз являются первичными и определяют дальнейшее развитие лучевого поражения. В следующей за ними четвертой, биологической фазе химические изменения молекул преобразуются в клеточные изменения. Наиболее чувствительным к облучению является ядро клетки, а наибольшие последствия вызывает повреждение ДНК, содержащей наследственную информацию. В результате облучения в зависимости от величины поглощенной дозы клетка гибнет или становится неполноценной в функциональном отношении. Время протекания четвертой фазы очень различно и в зависимости от условий может растянуться на годы или даже на всю жизнь.

После действия излучения на организм в зависимости от дозы могут возникнуть детерминированные и стохастические радиобиологические эффекты. Например, порог появления симптомов острой лучевой болезни у человека составляет 1–2 Зв на всё тело. В отличие от детерминированных, стохастические эффекты не имеют чёткого дозового порога проявления. С увеличением дозы облучения возрастает лишь частота проявления этих эффектов. Проявиться они могут как спустя много лет после облучения (злокачественные новообразования), так и в последующих поколениях (мутации).

Радиочувствительность разных видов организмов различна. Смерть вызывается следующими однократными дозами облучения: морские свинки – 2,5 Зв, собаки – 3,5 Зв, обезьяны – 6 Зв, змеи – 80–200 Зв. Более устойчивы одноклеточные

организмы: дрожжи погибают при дозе 300 Зв, амёбы – 1 000 Зв, а инфузории выдерживают облучение в дозе 3 000 Зв. Радиочувствительность высших растений тоже различна: семена лилии полностью теряют всхожесть при дозе облучения 20 Зв, а на семена капусты не влияет доза в 640 Зв.

#### Воздействие различных доз облучения на человеческий организм

Доза, Зв	Причина и результат воздействия
$(0,7-2) \times 0,001$	Доза от естественных источников в год
0,05	Предельно допустимая доза профессионального облучения в год
0,1	Уровень удвоения вероятности генных мутаций
0,25	Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
1,0	Однократная доза возникновения острой лучевой болезни
3–5	Без лечения 50% облученных умирает в течение 1–2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга (однократная доза)
10–50	Смерть наступает через 1–2 недели вследствие поражений главным образом желудочно-кишечного тракта (однократная доза)
100	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы (однократная доза)

Радиационная безопасность обеспечивается 3 основными направлениями:

– Радиационная безопасность на объекте и вокруг него. Это направление включает в себя обеспечение: контроля и качества проекта радиационного объекта, физической защиты источников излучения, зонирования территории вокруг наиболее опасных объектов и внутри них, условий эксплуатации технологических систем, и т.д.

– Радиационная безопасность персонала – обеспечивается ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям, знанием и соблюдением правил работы с источниками излучения, применением индивидуальных средств защиты, созданием условий труда, отвечающих требованиям действующих норм и правил РБ, и др.

– Радиационная безопасность населения включает в себя создание условий жизнедеятельности людей, отвечающих требованиям действующих норм и правил РБ, организацией радиационного контроля, эффективностью планирования и проведения мероприятия по радиационной защите в нормальных условиях и в случае радиационной аварии.

Радияция несомненно является одним из самых больших источников опасности и разрушающей силы на земле для живого мира. История содержит в себе факты катастроф, которые являются трагическими ошибками человеческого разума. Но это не значит, что нужно стремиться отказаться от передовых технологий, связанных с ядерной промышленностью и наукой. Задача человечества – научиться контролировать опасность, исходящую от практического применения физики высоких энергий, сделать ее использование безопасной для окружающей среды и человека в частности.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент Т. А. Томова.*

### Литература

1. Биологическое действие продуктов ядерного деления. Метаболизм и острые поражения // Радиобиология. 1992. Т. 32, вып. 1. С. 69–78.
2. Кудряшов, Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) / Ю. Б. Кудряшов. 2004. 448 с.
3. Маргулис, У. Я. Атомная энергия и радиационная безопасность / У. Я. Маргулис. М. : Энергоатомиздат, 1988. 192 с.
4. Холл, Э. Дж. Радиация и жизнь / Э. Дж. Холл. М. : Медицина, 1989.
5. Василенко, О. П. Радиационная экология / О. П. Василенко. М. : Медицина, 2004. 216 с.
6. Юдин, Н. П. Ядерная физика / Н. П. Юдин. М. : Наука, 1980. 286 с.
7. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. 1986. Т. 61, вып. 5. С. 301–320.
8. Электронный ресурс: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
9. Электронный ресурс: <http://ru.wikipedia.org>

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ БОЛОТ

Д. Б. Царегородцев

*Томский государственный педагогический университет*

Болотные экосистемы, являясь в Западной Сибири непременным атрибутом ландшафтной оболочки, выполняют ряд функций: *гидрологическую, геоморфологическую, климатологическую и др.*

Болота играют, например, важную роль в *поддержании состава атмосферного воздуха*: их растительность обогащает атмосферу кислородом и усваивает углекислый газ, изымая из планетарного цикла углерод и консервируя его в торфяниках на тысячи лет. В результате частичного разложения растительных остатков в анаэробных условиях в атмосферу поступает также значительное количество метана. Соотношение между потоками углекислого газа и метана (важных компонентов атмосферного воздуха, регулирующих проявления «парникового эффекта») определяет «вклад» болотного региона в возможное потепление глобального климата.

*Климатическая функция болот* выражается в их мощном влиянии на формирование теплового и водного балансов территории. Так было установлено, что величина радиационного баланса болот с мощной торфяной залежью в средней и северной тайге препятствует смещению границы распространения зоны вечной мерзлоты южнее Сибирских Увалов. Известно, например, что за летние месяцы с болот Западно-Сибирской равнины выносится в среднем более 300 км<sup>3</sup> испарившейся влаги на территорию Восточной Сибири и Казахстана.

*Болота обеспечивают сохранение генофонда* редких, в том числе не встречающихся нигде видов животных, птиц и растений. На торфяных болотах произрастают лекарственные растения (багульник, вахта, сабельник, таволга) и ягоды.

Одним из проявлений гидрологической функции считается *водоохранная роль болот*, которую, во избежание неоднозначности истолкования, следует рассматривать по отношению к конкретным водным объектам или звеньям влагооборота, тем более что она является одним из важных критериев выделения охраняемого фонда торфяных ресурсов.

Водоохранная роль болот может быть как положительной, так и отрицательной. В последнем случае антропогенное воздействие на болотные экосистемы может иметь благоприятные последствия. При этом решение вопроса о водоохранном значении болот зависит от того, к какому конкретно звену влагооборота это понятие применяется. Согласно имеющимся прогнозам в середине XXI в. ожидается повышение средней глобальной температуры на ГС, что может привести к изменению климата с соответствующими последствиями. Такой прогноз связан с усилением парникового эффекта, вызванного хозяйственной деятельностью человека и обусловленного, в первую очередь, нарушением баланса углерода.

Сегодня доля антропогенной углекислоты в парниковом эффекте оценивается в 61%, метана – 23%, закиси азота – 4%, а остальное приходится на другие микропримеси. Положительный или отрицательный эффект таких изменений может быть различным для отдельных регионов. Так как основная доля в парниковом эффекте приходится на  $\text{CO}_2$ , то оценка его потоков составляет первоочередную задачу.

*Эмиссия  $\text{CO}_2$ .* Основная масса углерода, связанного в органическом веществе торфа, освобождается в аэробных условиях гетеротрофными организмами, образующими главный поток  $\text{CO}_2$  с поверхности болот.

Разные элементы микрорельефа (кочки, межкочечные понижения) также отличались по интенсивности выделения  $\text{CO}_2$ , что определяется неоднородностью растительного покрова и различным уровнем болотных вод. Так например, весьма отчетливо проявляются особенности эмиссии  $\text{CO}_2$  при динамике уровня болотных вод. С их понижением происходит увеличение выделения  $\text{CO}_2$ , зависимость практически линейная.

*Эмиссия  $\text{CH}_4$ .* Одним из «парниковых газов» является метан. Суммарный поток метана в атмосферу из всех источников составляет 500 млн т  $\text{CH}_4$  в год или 500 Тг (1 тераграмм =  $10^{12}$  г). Согласно оценкам ученых, вклад болот России может составлять 25–50% от всего потока метана с территории России. При этом доля вклада западносибирских болот в эмиссию метана составляет половину всего потока.

Несколько слов о происхождении метана в болотах. Торфяные залежи по окислительно-восстановительным условиям разделяются на две основные части: окислительную (аэробную или её ещё называют торфогенной) и восстановительную (анаэробную). В последней процессы трансформации органического вещества не затухают, так как «работают» анаэробные бактерии и одним из результатов их жизнедеятельности является продуцирование  $\text{CH}_4$ . Часть его выделяется из торфяных залежей на основе законов диффузии газов, а большая часть остается в толще торфа и освобождается лишь при разрушении болота. Количество выделяющегося метана зависит от состава органического вещества торфяных залежей, неоднородности зон аэрации болота, его парцеллярной мозаичности. Большой интервал значений эмиссии  $\text{CH}_4$  указывает на слабую его изученность (в основном это разовые наблюдения). Возможен, например, залповый выброс метана из болота, достигающий величины 65% от суммы всей эмиссии за вегетационный период, и это отмечали исследователи много раз. Вот почему для региональных и годичных оценок необходимы исследования эмиссии метана в динамике.

*Научный руководитель: д-р с.-х. н., проф., член-корр. РАСХН Л. И. Инишева.*

### Литература

1. Инишева, Л. И. и др. Ботота Западной Сибири / Л. И. Инишева, А. А. Земцов, А. В. Мезенцев, В. А. Земцов. Томск : Томский ЦНТИ, 2007. 62 с.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИОВОЛН**

М. Ю. Чаводаева

*Томский государственный педагогический университет*

Радиоволны – это электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве со скоростью света (300 000 км/с) или это электромагнитные волны, служащие для передачи сигналов (информации) на расстояние без проводов. Они переносят через пространство энергию, излучаемую генератором электромагнитных колебаний, таким образом радиоволны относятся к электромагнитному излучению длиной волны от 1 мм до 10 км и более. Ряд быстро следующих друг за другом импульсов тока рождает радиоволны, например, когда через проводник проходит переменный электрический ток или когда через пространство проскакивают искры [4].

Радиоволны, а также другие виды электромагнитных излучений способны распространяться в вакууме (пространстве, свободном от вещества), но в ряде случаев достаточно хорошо распространяется и в пространстве, заполненном веществом (несколько изменяя при этом свое поведение) [5].

Источниками радиоволн являются: любые атмосферные явления (без вмешательства человека), поскольку любое возникновение импульса тока, сопровождается образованием радиоволн. Также к источникам относятся радио, телевидение, мониторы персональных компьютеров, радиотелефоны, спутниковая радиосвязь, навигационные приборы, сотовые телефоны, микроволновые печи. Наиболее существенное влияние на организм человека оказывают мобильные телефоны, компьютеры, телевизоры и СВЧ-печи. [4]

Электромагнитное излучение, в том числе и радиоволны, принято делить по частотным диапазонам. Между диапазонами нет резких переходов, они иногда перекрываются, а границы между ними условны. Поскольку скорость распространения излучения (в вакууме) постоянна, то частота его колебаний жёстко связана с длиной волны в вакууме.

Основными характеристиками радиоволн принято считать частоту, длину волны и поляризацию. Частота – физическая величина, характеристика периодического процесса, равная числу полных циклов, совершённых за единицу времени. Стандартные обозначения в формулах –  $\nu$ . Единицей частоты в Международной системе единиц (СИ) в общем случае является Герц (Гц). Длина волны – расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах, обычно длина волны обозначается греческой буквой  $\lambda$ . Измеряется в единицах расстояния (метры, сантиметры и т.п.). Поляризация волны – явление нарушения симметрии распределения возмущений в поперечной

волне (например, напряжённостей электрического и магнитного полей в электромагнитных волнах) относительно направления её распространения [4].

#### Виды радиоволн согласно диапазонам частоты и длины волны

Название диапазона		Длины волн, $\lambda$	Частоты, $\nu$
<u>Радиоволны</u>	<u>Сверхдлинные</u>	более 10 км	менее 30 кГц
	<u>Длинные</u>	10–1 км	30–300 кГц
	<u>Средние</u>	1 км – 100 м	300 кГц – 3 МГц
	<u>Короткие</u>	100–10 м	3–30 МГц
	<u>Ультракороткие:</u> метровые; дециметровые; сантиметровые; миллиметровые; субмиллиметровые	10 м – 1 мм	30 МГц – 300 ГГц

Волны с длиной  $\lambda < 1$  м ( $\nu > 300$  МГц) принято также называть *микроволнами* или волнами сверхвысоких частот (СВЧ).

Излучения электромагнитного диапазона при определённых уровнях могут оказывать отрицательное воздействие на организм человека, животных.

Нахождение в зоне с повышенными уровнями ЭМИ в течение определённого времени приводит к ряду неблагоприятных последствий: наблюдается усталость, тошнота, головная боль. При значительных превышениях нормативов возможны повреждение сердца, мозга, центральной нервной системы. Излучение может влиять на психику человека, ухудшается память, ослабляется внимание, появляется раздражительность и утомляемость, человеку трудно себя контролировать. Возможно, развитие трудно поддающихся лечению заболеваний, вплоть до раковых. В частности, исследования ученых показали прямую средней силы корреляцию заболеваемости злокачественными заболеваниями головного мозга с максимальной нагрузкой от ЭМИ даже от использования такого маломощного источника, как мобильные радиотелефоны. При использовании сотового телефона речь идет о весьма сложном влиянии на головной мозг: прямое воздействие на центральные структуры мозга; на периферические рецепторы вестибулярного, слухового и зрительного анализаторов и через кожные рецепторы лица и уха [1. С. 124].

Микроволновые печи действуют в основном непродолжительное время, т.е. в среднем от 1 до 7 минут. Почти невозможно заранее рассчитать количество лучистой энергии, поглощенной телом человека в данном участке электромагнитного поля и преобразованной в теплоту. Величина этой энергии сильно зависит от основных электрических характеристик, положения, размеров и структуры мышечной и жировой тканей и направления падения волны, т.е. другими словами, эта величина зависит от входного сопротивления данной сложной структуры. Направление поляризации падающей волны относительно оси тела также играет существенную роль. В каждом отдельном случае для установления симптомов требуется точное исследование существующих условий. Действительное повышение температуры тела зависит от таких параметров окружающей среды, как температура и влажность, и от механизма охлаждения тела.



Телевизоры наносят существенный вред только при расположении на близком расстоянии от зрителей.

Проблема электромагнитного излучения персонального компьютера (ПК), то есть влияние компьютеров на организм человека, встает достаточно остро ввиду нескольких причин: компьютер имеет сразу два источника электромагнитного излучения (монитор и системный блок); пользователь ПК лишен возможности работать на безопасном расстоянии; длительное время влияния компьютера (для современных пользователей может составлять более 12 ч, при официальных нормах, запрещающих работать на компьютере более 6 ч в день (ведь помимо рабочего дня человек часто сидит за ним и по вечерам)).

Монитор, особенно его боковые и задние стенки, является очень мощным источником ЭМИ. С каждым годом принимаются все более жесткие нормы, ограничивающие мощность излучения монитора, это приводит лишь к нанесению более качественного защитного покрытия на лицевую часть экрана, а боковые и задняя панели все также остаются мощными источниками излучения.

Повышенный электромагнитный фон в значительной степени обеспечивает влияние ПК на здоровье людей. В результате продолжительной работы за компьютером в течение нескольких дней человек чувствует себя уставшим, становится крайне раздражительным, часто отвечает на вопросы однозначными ответами, ему хочется прилечь. Такое явление в современном обществе получило название синдром хронической усталости и, согласно сведениям официальной медицины, не поддается лечению.

Электромагнитное излучение наибольшее влияние оказывает на иммунную, нервную, эндокринную и половую систему. Иммунная система уменьшает выброс в кровь специальных ферментов, выполняющих защитную функцию, происходит ослабление системы клеточного иммунитета. Эндокринная система начинает выбрасывать в кровь большее количество адреналина, как следствие, возрастает нагрузка на сердечно-сосудистую систему организма. Происходит сгущение крови, в результате чего клетки недополучают кислород. У человека, в течение длительного времени подвергавшегося электромагнитному излучению, уменьшается сексуальное влечение к противоположному полу (отчасти это является следствием усталости, отчасти вызвано изменениями в деятельности эндокринной системы), падает потенция. Изменения в нервной системе видны невооруженным глазом. Как уже отмечалось выше, признаками расстройства являются раздражительность, быстрая утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна, общая напряженность, люди становятся суетливыми. [1. С. 124]

Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями биологического объекта, поэтому биологический эффект зависит от физических параметров: длины волны (частоты колебаний); интенсивности; режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный); продолжительности и характера облучения организма (постоянное, интермиттирующее); площади облучаемой поверхности; анатомического строения органа или ткани.

«Современные представления о биологическом действии ЭМИ от мобильных радиотелефонов (МРТ) не позволяют прогнозировать все неблагоприятные последствия, многие аспекты проблемы не освещены в современной литературе и требуют дополнительных исследований. В связи с этим, согласно рекомендациям всемирной организации здравоохранения, целесообразно придерживаться

предупредительной политики, т.е. максимально уменьшить время использования сотовой связи» [3. С. 44].

Неоспоримым остается лишь тот факт, что организм человека «откликается» на наличие излучения сотового телефона. Поэтому владельцам МРТ рекомендуется соблюдать некоторые меры предосторожности: не пользуйтесь сотовым телефоном без необходимости; разговаривайте непрерывно не более 3–4 минут; не допускайте, чтобы МРТ пользовались дети; при покупке выбирайте сотовый телефон с меньшей максимальной мощностью излучения; в автомобиле используйте МРТ совместно с системой громкоговорящей связи «hands-free» с внешней антенной, которую лучше всего располагать в геометрическом центре крыши.

Средства и методы защиты от излучений делятся на три группы: организационные; инженерно-технические; лечебно-профилактические.

Организационные мероприятия предусматривают предотвращение попадания людей в зоны с высокой напряженностью ЭМП, создание санитарно-защитных зон вокруг антенных сооружений различного назначения.

Общие принципы, положенные в основу инженерно-технической защиты, сводятся к следующему:

- электрогерметизация элементов схем, блоков, узлов установки в целом с целью снижения или устранения электромагнитного излучения;
- защита рабочего места от облучения;
- удаление рабочего места на безопасное расстояние от источника излучения;
- специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, и защитные очки.

Лечебно-профилактические мероприятия должны быть направлены, прежде всего, на раннее выявление нарушений в состоянии здоровья работающих. Для этой цели предусмотрены предварительные и периодические медицинские осмотры лиц, работающих в условиях воздействия радиоволн.

При выявлении симптомов, характерных для воздействия ЭМП, углубленное обследование и последующее лечение проводятся в соответствии с особенностями выявленной патологии.

Проблема достаточно актуальная, поскольку использование электронных устройств (компьютеров, телевизоров, радиотелефонов, оргтехники и бытовых приборов) растет с каждым днем, пропорционально растет и число тех людей, у которых появились проблемы со здоровьем, связанные с электромагнитными излучениями.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин Т. А. Томова.*

#### **Литература**

1. *Карташев, А. Г.* Основы электромагнитной экологии / А. Г. Карташев. Томск, 2005.
2. *Ромашев, Д. К.* Электромагнитное поле и его влияние на здоровье человека / Д. К. Ромашев. СПб. : СПГТУ, 2001. 21 с.
3. *Ратынский, М. А.* Основы сотовой связи / М. А. Ратынский. М. : Радио и связь, 2000. 248 с.
4. *Электронный ресурс:* <http://ru.wikipedia.org/>
5. *Электронный ресурс:* <http://dic.academic.ru/dic.nsf/stroitel/8334>

## НЕБЛАГОПРИЯТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ШУМА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

А. В. Чукова

*Томский государственный педагогический университет*

Механические колебания в упругой среде вызывают распространение упругих волн, называемых акустическими. Физическое понятие об акустических колебаниях охватывает как слышимые, так и неслышимые колебания упругих сред. Энергия от источника колебаний передается частицам среды. По мере распространения волны частицы вовлекаются в колебательные движения с частотой, равной частоте источника колебаний, и с запаздыванием по фазе, зависящих от расстояния до источника и от скорости распространения волны. Распространяясь в пространстве, звуковые колебания создают акустическое поле [4].

Расстояние между двумя ближайшими частицами среды, колеблющимися в одной фазе, называется длиной волны, т.е. длина волны – это путь, пройденный волной за время, равное периоду колебаний. Скорость распространения волны зависит от плотности среды, в которой она распространяется, расстояния от источника волны и ряда других факторов.

Наиболее простыми колебаниями являются равномерные или гармонические колебания, которые можно представить в виде синусоиды. Такие колебания характеризуются частотой  $f$ , периодом  $T$  и амплитудой  $A$ . Частотой колебаний называют количество полных колебаний в секунду. За единицу измерения частоты принят 1 Герц (Гц). 1 Герц соответствует одному полному (в одну и другую сторону) колебанию, происходящему за одну секунду. Периодом называется время (с), в течение которого происходит одно полное колебание. Чем больше частота колебаний, тем меньше их период, т.е.  $f = 1/T$ . Таким образом, частота колебаний тем больше, чем меньше их период, и наоборот [4].

Акустические колебания с частотой в диапазоне 16 Гц – 20 кГц, воспринимаемые человеком с нормальным слухом, называется слуховым, с частотой менее 16 Гц – инфразвуком, выше 20 кГц – ультразвуком. Ультразвук не отличается от слышимого звука, но частота колебательного процесса способствует большему затуханию колебаний вследствие трансформации энергии в теплоту и классифицируются на низкочастотный ( $1,12 \times 10^4 - 1,0 \times 10^5$  Гц) и высокочастотный ( $1,0 \times 10^5 - 1,0 \times 10^9$  Гц); по способу распространения – на воздушный и контактный ультразвук. Инфра звук также является областью акустических колебаний с частотой ниже 16–20 Гц. В условиях производства инфразвук сочетается с низкочастотным шумом, в ряде случаев – с низкочастотной вибрацией.[4] При восприятии человеком звуки различают по высоте и громкости. Высота звука определяется частотой колебаний: чем больше частота колебаний, тем выше звук. Громкость звука определяется его интенсивностью, выражаемые в Вт/м<sup>2</sup>.

Ухо человека может воспринимать и анализировать звуки в широком диапазоне частот и интенсивностей. Человек слышит низкие и высокие частоты гораздо хуже, чем частоты в среднем диапазоне от 1 до 5 кГц. К тому же наш слуховой аппарат устроен так, что линейное изменение звукового давления сложнее. Поэтому важнейшей физической величиной при описании шума является не

громкость, а уровень силы звука, измеряемый в белых (в десятых долях бела – децибелах (дБ)).

Звуковые ощущения оцениваются по порогу дискомфорта (слабые боли в ухе, ощущение касания, щекотание). Порог слуха у человека составляет 10–80 дБ. Болевым порогом принято считать звук с уровнем 140 дБ, что соответствует звуковому давлению 200 Па и интенсивности 100 Вт/м<sup>2</sup> [1].

Всякий неблагоприятно воспринимаемый звук с физиологической точки зрения является шумом. Шум – совокупность звуков различной частоты и интенсивности, аperiodически беспорядочно изменяющихся во времени [8]. Окружающие нас шумы имеют разный уровень звука: уровень звука в зимнем лесу в безветренную погоду составляет 3 дБ, шорох листьев в летнем лесу – 10 дБ, шёпот на расстоянии в 1 м – 20 дБ, нормальная разговорная речь – 50 дБ, шум в квартире – 30–40 дБ [7]. Шум от пролетающего реактивного самолёта, например, угнетающе действует на пчелу, она теряет способность ориентироваться в пространстве. Этот же шум убивает личинки пчел, разбивает открыто лежащие яйца птиц в гнезде. Транспортный или производственный шум действует угнетающе на человека – утомляет, раздражает, мешает сосредоточиться. Как только такой шум смолкает, человек испытывает чувство облегчения и покоя [8].

При соотношении шумов и уровней силы звука наблюдаем: 102 дБ – реактивный самолет большой дальности при посадке (1 500 м от конца воздушно-посадочной полосы); 98 дБ – реактивный самолет средней дальности на взлете (1 500 м после подъема с воздушно-посадочной полосы); 107 дБ – автомобильный гудок на расстоянии 7,5 м; 102 дБ – поезд-экспресс при скорости 140 км/ч на расстоянии 25 м; 91 дБ – автобус на расстоянии 7,5 м; 86 дБ – мотоцикл на расстоянии 7,5 м [6].

Для нормального существования, чтобы человек не ощущал себя изолированным от мира, ему необходим шум в 10–20 дБ.

*Звуки подразделяют:*

- по характеру спектра: на широкополосный и тональный;
- по частотному диапазону: на низкочастотный (до 350 Гц), среднечастотный (350–800 Гц), высокочастотный (более 800 Гц);
- по временным характеристикам: на постоянный и непостоянный (колеблющийся, прерывистый, импульсный – менее 30 звуковых импульсов в секунду);
- по длительности действия: продолжительные и кратковременные [9].

А так же можно подразделить по типу: на белый, коричневый и розовый. Белый шум – его можно услышать, например, настроив старый радиоприемник на волну, в которой нет радиостанций; тепловой шум в полупроводниках. Он создается хаотическими колебаниями атомов и при большом усилении его вполне слышно в любом звуковоспроизводящем устройстве. Коричневый шум также широко распространен в природе, например, ему соответствуют волны морского прибоя. А розовый находится повсюду – в интенсивности дорожного движения, в сердцебиении, в электроэнцефалограммах, в динамике разливов рек, в интенсивности космических излучений, в климатических данных и др. [6].

Рождение ощущения звука происходит попаданием в ушную раковину колебания воздуха. В наружном слуховом проходе эти колебания ударяются в туго натянутую барабанную перепонку и заставляют ее колебаться. Слуховые косточки усиливают колебание барабанной перепонки, и здесь эстафета колебания

передается жидкости, заполняющий костный лабиринт и улитку. Жидкость колеблется, смещаются рецепторные волоски в кортиевоу органе, и механические колебания превращаются в них в нервные импульсы. Отсюда по десяткам тысяч волокон слухового нерва импульсы бегут в мозг. В слуховой зоне коры больших полушарий, расположенные в височной области происходит окончательный анализ характера звука [5].

Шум оказывает вредное воздействие на организм человека, особенно на ЦНС, вызывая переутомление и истощение клеток головного мозга. Под влиянием шума возникает бессонница, быстро развивается утомляемость, понижается внимание, снижается работоспособность. Все это способствует возникновению несчастных случаев на производстве [3]. Длительное воздействие шума на организм и связанные с этим нарушения со стороны ЦНС расцениваются как один из факторов, способствующий возникновению гипертонической болезни. Шум вызывает изменение частоты дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечнососудистых заболеваний, язвы желудка, может приводить к появлению профессиональных заболеваний [5]. Повышению уровня звукового давления до 40–70 дБ в случаях бытовой или природной среды создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывает ухудшение самочувствия и при длительном действии может стать причиной неврозов.

Под влиянием шума возникают явления утомления слуха и ослабление слуха. С прекращением шума эти явления быстро проходят. Если переутомление слуха повторяется в течение длительного срока, то развивается тугоухость. Так, кратковременное воздействие уровня 120 дБ (2–5 с) не приводит к неблагоприятным последствиям. Длительное действие шума 80–90 дБ в течение 5–7 лет приводит к профессиональной тугоухости. При действии шума высоких уровней (140 дБ) возможен разрыв барабанной перепонки, контузия, а при еще более высоких уровнях (160 дБ) даже смерть. Снижение слуха на 10 дБ практически неощутимо, а на 20 дБ – начинает серьезно мешать человеку, так как нарушается способность слышать важные звуковые сигналы, наступает ослабление разборчивости речи [1].

Помимо снижения слуха при воздействии шума наблюдается общие изменения в организме: головные боли, головокружение, боли в области сердца, желудка, желчного пузыря. Шум вызывает снижение функций защитных систем и общей устойчивости организма к внешним воздействиям. Шум и вибрация усиливают токсический эффект промышленных ядов и этанола [5].

Американские врачи во главе с ученым Р. Ларсеном утверждают: повторяющийся ритм и низкочастотные колебания бас-гитары сильно влияют на состояние спинномозговой жидкости, и как следствие, на функционирование желез, регулирующих секреты гормонов; существенно изменяется уровень инсулина в крови; основные показатели контроля нравственного торможения опускаются ниже порога терпимости или целиком нейтрализуются.

Итальянские ученые провели исследования влияния музыки в ритме дельта на физиологию. По их мнению, музыка в стиле «хаус» способствует временному возникновению импотенции. Полученные выводы говорят о том, что сильно выраженный ритм и почти полное отсутствие мелодии гасят сексуальные желания [7].

Биологический эффект воздействия шума на организм человека зависит от интенсивности, длительности воздействия и размеров тела, подвергаемых действию

колебаний, от индивидуальной чувствительности организма к акустическому воздействию, возраста, а также состояния ЦНС [5].

Меры по предупреждению вредного воздействия шума на организм человека, прежде всего, должны быть направлены на снижение уровня шума. Это может быть достигнуто улучшением конструкции станков, инструментов и другого оборудования, использованием звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов.

Шумозащита – комплекс мероприятий по снижению шума на производстве (установка звукоизолирующих кожухов на оборудовании, глушителей в компрессорах, вентиляторах и др.), на транспорте (глушители выбросов, создание на дорогах акустических экранов, шумозащитных зон), при гражданском и промышленном строительстве [2].

К средствам индивидуальной защиты от вредных влияний шума относятся противошумы, шлемы, наушники, вкладыши. Организационно-профилактические мероприятия по защите от вредного воздействия повышенных уровней включают инструктаж работающих о характере действия ультразвука и рациональные режимы труда и отдыха [1].

Зоны, где уровень шума достигает 85 дБ, обозначают предупредительными знаками, а работающих в этих зонах снабжают индивидуальными звукоизолирующими наушниками.

Так, в России свыше 30% жителей городов подвержены действию сверхнормативных уровней шума (55–65 дБ и выше), в частности в Москве зона акустического дискомфорта распространяется на 30% площади города. В крупных городах России (Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Красноярск, Екатеринбург, Магнитогорск и др.) на магистралях с интенсивным движением (до 6–8 тыс. экипажей в час) фиксируется уровень шума в среднем 73–83 дБ, максимальные – до 90 дБ и более [8].

С точки зрения экологов один из оптимальных способов шумоизоляции – высадка деревьев и кустарников вдоль дорог. Доказано, что грамотно составленный план и высадка зеленых насаждений (т.е. с соблюдением всех ярусов посадки) как нельзя лучше способствуют снижению уровня шума. Не зря вдоль крупных федеральных трасс на многие километры тянется «зеленая стена» деревьев и кустарников – они защищают населенные пункты от грохота проезжающего мимо автотранспорта [9].

Полностью оградить себя от шума невозможно, но мы можем сами уменьшить его влияние на себя и окружающих.

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин Т. А. Томова.*

### **Литература**

1. *Безопасность жизнедеятельности в легкой промышленности* / В. А. Кравец, Г. А. Свищев, А. А. Меркулов, О. И. Седяров. М. : Академия, 2006.
2. *Буралев, Ю. В. Безопасность жизнедеятельности на транспорте* / Ю. В. Буралев. 3-е изд., испр. М. : Академия, 2010.
3. *Бондорчук, М. М., Ковылина, Н. В. Занимательные материалы и факты по анатомии и физиологии человека* / М. М. Бондорчук, Н. В. Ковылина. Волгоград : Изд-во «Учитель», 2005.
4. *Горелик, Г. С. Колебания и волны* / Г. С. Горелик. 2-е изд. М., 1959.

5. Сапин, М.Р. Анатомия человека / М.Р. Сапин, З.Г. Брыксина. 2-е изд., стереотип. М. : Академия, 2008.

6. Электронный ресурс: <http://medunive.com/Medical/Physiology/310/html>

7. Электронный ресурс: <http://medunive.com/Medical/Physiology/309/html>

8. Электронный ресурс: <http://www.audacity.ru/p8aa1.html>

9. Электронный ресурс: [http://www.bezzhd.ru/272\\_akustichesAie\\_kolebaniya/shum](http://www.bezzhd.ru/272_akustichesAie_kolebaniya/shum)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭМБРИОГЕНЕЗА ХОРДОВЫХ НА ПРИМЕРЕ ЛАНЦЕТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО**

Ю.П. Шаврина, Г.В. Зингер

*Томский государственный педагогический университет*

В последнее время обозначилось явное несоответствие между объемом школьной программы и сокращением количества часов, отводимых для её реализации. Подобная проблема имеет место и в преподавании биологии. Разрешение этого вопроса видится в поиске новых методических подходов в преподнесении учебных материалов, которые должны быть информативно насыщенными, наглядными и доступными для усвоения [1].

Особое место в изучении учебного материала занимает «эксперимент», имеющий важное преимущество – «наглядность» и способствующий повышению уровня знаний. Однако его использование тематически ограничено, он является довольно затратным по времени и материалам, используемым при подготовке и проведении.

Одним из возможных выходов является применение в школьном образовании современных компьютерных технологий, которые с каждым годом становятся все более доступными. Дозированное и продуманное их использование позволяет организовать деятельность учителя и обучаемого, повысить качество обучения предмету.

Этот способ подачи материалов имеет большие возможности, в частности, позволяет показать процесс или механизм, лежащий в его основе, в движении. На современном рынке мультимедийных технологий имеется продукция фирм Microsoft, Macromedia, Corel, однако в их основе лежит модернизированный вариант показа таблиц [3], они поступают на рынок в ограниченном количестве и являются дорогостоящими.

В нашей работе изложены результаты разработки и проведения урока с использованием видеоролика, который был подготовлен в качестве наглядного пособия для изучения темы «Этапы онтогенеза. Эмбриогенез». Как показывает опыт, материалы этой темы довольно трудны для освоения учащимися: эмбриогенез является сложным процессом и «скрыт от глаз», поэтому трудно воспринимается обучаемыми. При раскрытии темы обычно используются таблицы, однако по ним трудно представить весь механизм в движении.

Подготовленный нами видеоролик (мультфильм) был предназначен для демонстрации процесса эмбриогенеза ланцетника, как низшего хордового животного, с последовательным отображением в динамике всех стадий его развития.

Отображение материала видеоролика начиналось с демонстрации начального этапа развития – дробления зиготы и образования шаровидной бластулы, состоящей из одного слоя клеток (эктодерма), с внутренней полостью (бластоцель) (см. рис. 1).



300



каждой стадии видеоролик останавливался, и происходило обсуждение полученной информации с учащимися. В итоге, к концу просмотра видеоролика учащиеся имели полное представление обо всех стадиях эмбриогенеза и порядке формирования тканей, органов и всего организма в целом.

Эффективность использования видеоролика в качестве наглядного пособия оценивалась по результатам тестирования, которое проходило в три этапа. Первый этап заключался в выделении из всей параллели десятых классов двух классов с примерно одинаковым уровнем знаний и способностью к усвоению изучаемых материалов.

На втором этапе один из выбранных классов определялся как «экспериментальный», а второй – «контрольный». В первом из них объяснение материала происходило с использованием видеоролика, тогда как в контрольном классе использовался традиционный способ (объяснение с опорой на таблицы).

На третьем этапе проводилось тестирование с целью выявления остаточного уровня знаний учащихся по пройденной теме в обоих классах. Оценка результатов тестирования сделана по пятибалльной системе. Полученные данные подвергнуты статистической обработке с использованием в вычислениях уравнения  $\chi^2$  [2].

Как показали исследования, количество положительных оценок в экспериментальной группе значительно превышало соответствующий показатель контрольной группы. Наибольший разрыв в показателях выявлен по оценке «четыре балла». При этом в экспериментальной группе отсутствовали отрицательные оценки, по сравнению с контрольной группой.

В качестве итогового результата можно отметить, что использование видеороликов при изложении биологических сведений позволяет значительно повысить эффективность усвоения материала, по сравнению с традиционными методами. В процессе демонстрации видеоряда идёт объяснение сути биологических понятий, которые вследствие формирования их связи со зрительными образами более легко усваиваются обучаемыми.

### Литература

1. Бартенева, Т. П., Ремонт, А. П. Использование информационных компьютерных технологий на уроках биологии / Т. П. Бартенева, А. П. Ремонт // Международный конгресс «Информационные технологии в образовании». М., 2003.
2. Бондарчук, В. В., Годованная, И. Г., Перевозкин, В. П. Основы практической биостатистики / В. В. Бондарчук, И. Г. Годованная, В. П. Перевозкин. Томск, 2009.
3. Золочевская, М. В., Рыкова, Л. Л. Роль и место компьютера в учебно-воспитательном процессе / М. В. Золочевская, Л. Л. Рыкова. Киев, 2002.
4. Наумов, Н. П., Карташев, Н. Н. Зоология позвоночных. Ч. 1: Низшие хордовые, бесчелюстные, рыбы, земноводные : учебник для биол. спец. университетов / Н. П. Наумов, Н. Н. Карташев. М., 1979.

# АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ В ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ЭВТРОФНОГО БОЛОТА ТАГАН

С. В. Шкребова, Е. В. Порохина, О. А. Голубина  
*Томский государственный педагогический университет*

Биологические свойства торфов играют особую роль в процессе торфообразования и могут быть охарактеризованы с помощью определения активности ферментов. Ферменты отличаются исключительно высокой активностью, строгой специфичностью действия и большой зависимостью от различных условий внешней среды. Показателем интенсивности процессов гумификации разлагающихся в торфяных почвах органических веществ является активность ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы. Полифенолоксидаза катализирует окисление фенолов (моно-, ди-, три-) до хинонов в присутствии кислорода воздуха [1, 2, 3]. Пероксидаза осуществляет окисление органических веществ почв (фенолов, аминов, некоторых гетероциклических соединений) за счет кислорода перекиси водорода и других органических перекисей, образующихся в почве. Есть данные [4], что пероксидаза способна окислять субстраты как за счет кислорода перекиси водорода, так и в присутствии кислорода воздуха. Однако роль пероксидазы в процессах синтеза и распада гумусовых веществ до конца не выяснена.

Целью работы было определение активности ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы в торфяных почвах эвтрофного типа.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводились в течение вегетационного периода 2010 г. на торфяном болоте Таган (Томский район, Томская область). Подробная характеристика болота Таган приведена в работе [5].

Для исследований были выбраны торфяные почвы двух пунктов наблюдений. Один из них (пункт 2) представляет собой участок с агролесомелиорацией, второй участок болота (пункт 3) является естественным. Мощность торфяных почв пунктов наблюдений составляет около 3 м, торфяной профиль сложен преимущественно травяными, древесно-травяными и древесными торфами и подстилается заиленными песками.

Для изучения сезонной динамики ферментативной активности торфяных почв болота Таган с мая по сентябрь 2010 г. ежемесячно проводился отбор проб торфа на анализ торфяным буром ТБГ-1 до минерального грунта. В отобранных образцах торфа был определен ботанический состав и степень разложения торфа в НИИББ при Томском государственном университете. Активность ферментов полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПДО) определяли в трех повторностях по методу Л. А. Карягиной, Н. А. Михайловской (1986) [3] и выражали в мг 1,4 п-бензохинона за 30 мин на 1 г торфа (далее – ед.). Параллельно с активностью ферментов в торфяных почвах определяли влажность и проводили наблюдения за уровнем болотных вод, температурой и окислительно-восстановительным режимом торфяных почв [6, 7, 8, 9].

Вегетационный период 2010 г. можно охарактеризовать как умеренно влажный (гидротермический коэффициент составляет 1,52). Статистическая обработка данных проводилась при помощи программы «Microsoft Excel» с доверительным интервалом 0,95.

**Результаты исследований.** Результаты наблюдений за окислительно-восстановительным и гидротермическим режимами торфяных почв показывают, что в течение вегетационного периода 2010 г. более благоприятные условия аэрации для активности биохимических процессов отмечаются в торфяных почвах пункта 2. В то же время лучшие температурные условия для биологической активности складываются в торфяных почвах естественного участка (пункт 3).

В торфяных почвах болота Таган активность ПФО в течение вегетационного периода 2010 г. изменяется, как и в 2009 г. [10], в небольших пределах 0,0–4,2 ед., при среднем содержании 0,73 ед.

В торфяных почвах пункта 2 активность ПФО в 1,2 раза выше, чем в торфяных почвах пункта 3, и составляет в среднем 0,87 ед. При этом процесс гумификации в торфяных почвах пункта 2 активно протекает в верхнем полуметровом слое и на глубине 250–275 см, в то время как в средней части торфяного профиля активность ПФО остается низкой (рис. 1).

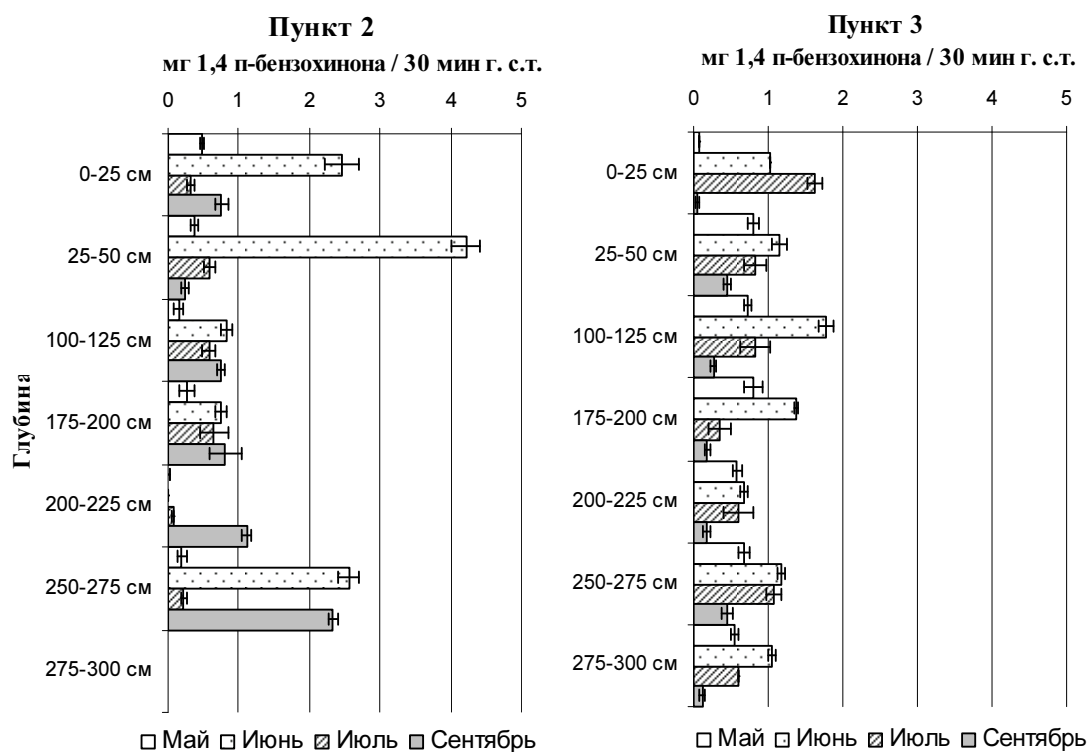


Рис. 1. Динамика активности полифенолоксидазы в торфяных почвах болота Таган

Более высокая активность ПФО в торфяных почвах пункта 2 объясняется, прежде всего, ботаническим составом. Известно [11], что при накоплении в торфе гуминовых кислот происходит и увеличение активности ПФО. Торфяной профиль пункта 2 сложен, преимущественно, древесно-травяным видом торфа, который по сравнению с другими видами содержит высокое количество гуминовых веществ и обладает, соответственно, повышенной активностью ПФО. Кроме того, торфяные почвы участка с агролесомелиорацией (пункт 2) характеризуются и более благоприятными окислительно-восстановительными условиями, по сравнению с торфяными почвами естественного участка (пункт 3). В торфяных почвах пункта 3 процессы гумификации активно протекают в верхнем слое (0–125), сложенных вахтовым и древесно-вахтовым торфами.

Динамика полифенолоксидазной активности имеет свои особенности (см. рис. 1). В торфяном профиле пункта 2 наибольшая активность ПФО отмечается в июне, при благоприятных для процесса гумификации окислительно-восстановительных условиях (окислительно-восстановительный потенциал в торфяных почвах составляет в этот период 250–300 мВ). В нижних горизонтах, по мере прогревания торфяных почв в сочетании с высокой влажностью и восстановительными условиями, повышение активности ПФО наблюдается к сентябрю (2,33 ед.). Вероятно в процесс окисления фенольных соединений, катализируемый ПФО, вовлекается кислород воздуха, растворенный в болотной воде, а также образованный в результате биохимических реакций [12]. Динамика активности ПФО в торфяных почвах пункта 3 характеризуется повышенными значениями фермента в летние месяцы и пониженными весной и осенью.

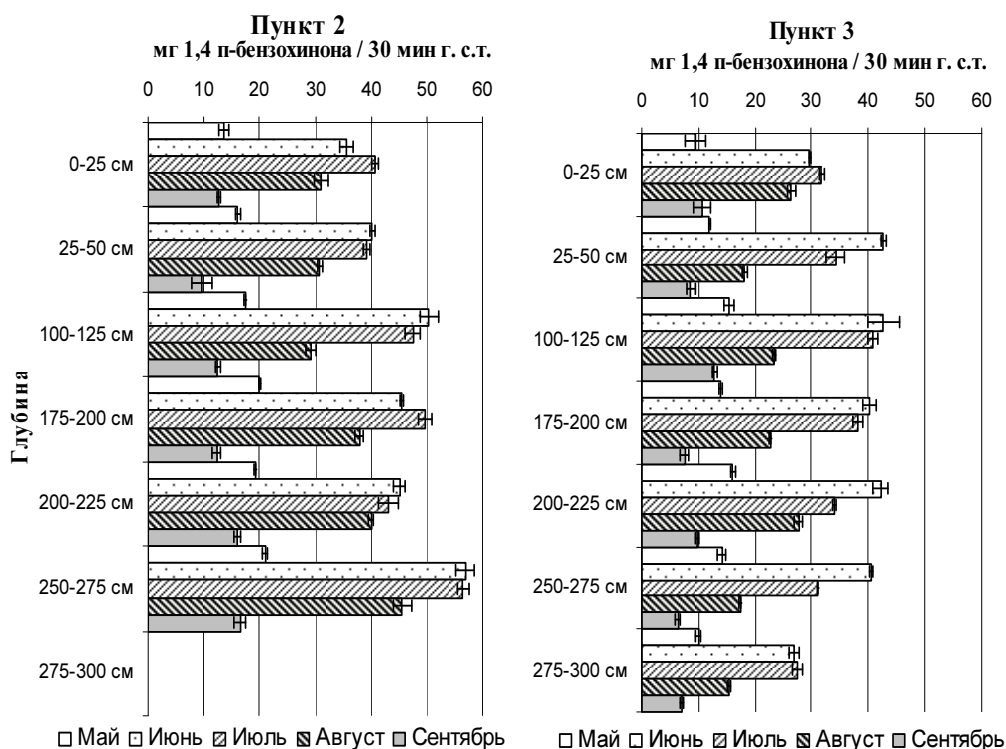


Рис. 2. Динамика активности пероксидазы в торфяных почвах болота Таган

Активность пероксидазы в торфяных почвах исследуемых пунктов изменяется в широких пределах 6,3–56,85 ед. Высокой напряженностью процессов, катализируемых ПДО, характеризуются торфяные почвы участка с агролесомелиорацией (пункт 2), где среднее значение фермента составляет 31,73 ед. Выявлено, что активность ПДО выше в глубоких, анаэробных слоях торфяных почв обоих участков, что отмечалось и в 2009 г. [10]. Аналогичные результаты были получены ранее и на выработанном участке болота Таган [13].

Динамика ПДО активности на пунктах наблюдений аналогична динамике полифенолоксидазы и характеризуется более высокими (в 3–5 раз) значениями в сухой летний период, по сравнению с весенними и осенними показателями (рис. 2).

В целом, полученные результаты по активности ПФО и ПДО в торфяных почвах соответствуют литературным данным [3, 11, 14].

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Активность ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы определяется ботаническим составом торфов, слагающих торфяные почвы, который в свою очередь зависит от химического состава торфов, гидротермическими и окислительно-восстановительными условиями в торфяных почвах, степенью антропогенного воздействия.

2. Процессы гумификации активнее протекают в торфяных почвах участка с агролесомелиорацией (пункт 2), по сравнению с торфяными почвами естественного участка (пункт 3), что подтверждается более высокими значениями ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы.

3. Динамика активности полифенолоксидазы и пероксидазы в торфяных почвах болота Таган характеризуется в целом более высокими показателями в летний период и пониженными значениями весной и осенью.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Министерства образования и науки от 01.01.08 г. и гос. контракта № 02.740.11.0325 от 07.07.09 г.*

#### Литература

1. Хазиев, Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. М. : Наука, 1982. 203 с.
2. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т. А. Щербакова. Минск : Наука и техника, 1983. 222 с.
3. Инишева, Л. И., Ивлева, С. Н., Щербакова, Т. А. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов / Л. И. Инишева, С. Н. Ивлева, Т. А. Щербакова. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. 122 с.
4. Гулько, А. Е., Хазиев, Ф. Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность / А. Е. Гулько, Ф. Х. Хазиев // Почвоведение. 1992. № 11. С. 55–67.
5. Инишева, Л. И., Виноградов, В. Ю., Голубина, О. А. и др. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета : коллективная монография / Л. И. Инишева, В. Ю. Виноградов, О. А. Голубина, Г. В. Ларина, Е. В. Порохина, Н. А. Шинкеева, М. В. Шурова. Томск : Изд-во ТГПУ, 2010. 148 с.
6. ГОСТ. Торф. Методы определения влажности. Введ. 01.01.65. М. : Изд-во стандартов, 1964.
7. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге / А. А. Роде. Л., 1969. Т. 2. 287 с.
8. Инишева, Л. И., Юхлин, В. И., Зелингер, Ф. Ф. Определение ОВП почв прибором ЭСК-1 / Л. И. Инишева, В. И. Юхлин, Ф. Ф. Зелингер. Томск : Томский ЦНТИ, 1975а. № 35–75. 2 с.
9. Инишева, Л. И., Юхлин, В. И., Зелингер, Ф. Ф. Определение температуры почв и торфов терморезисторами ММТ-4 / Л. И. Инишева, В. И. Юхлин, Ф. Ф. Зелингер. Томск: Томский ЦНТИ, 1975б. № 36–75. 4 с.
10. Шкребова, С. В., Голубина, О. Г. Ферментативная активность нативных и антропогенно нарушенных участков эвтрофного болота «Таган» / С. В. Шкребова, О. Г. Голубина // Экология России и сопредельных территорий : материалы XV международной экологической студенческой конференции. Новосибирск, 2010. С. 85–86.
11. Савичева, О. Г. Ферментативная активность низинных торфяных почв / О. Г. Савичева // Болота и биосфера : материалы второй научной школы / Томский государственный педагогический университет. Томск, 2003. С. 143–151.
12. Воинова, В. Н. Окислительно-восстановительные ферменты серой лесной почвы и влияние на их активность внесения органического вещества и условий увлажнения : автореф. дис. ... канд. биол. наук / В. Н. Воинова. М., 1980. 15 с.
13. Инишева, Л. И., Белова, Е. В. Агрохимические, биологические свойства и режимы осушенных торфяных почв / Л. И. Инишева, Е. В. Белова // Агрохимия. 2003. № 4. С. 22–28.
14. Славнина, Т. П., Инишева, Л. И. Биологическая активность почв Томской области / Т. П. Славнина, Л. И. Инишева. Томск : Изд-во ТГУ, 1987. 216 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Взаимодействие $\pi$ мезонов на протоне в конечном состоянии <i>Егоров М. В.</i> .....	5
Принцип соответствия в прецессии спина <i>Константинова О. А.</i> .....	10
Вектор Умова – Пойнтинга наклонного магнитного ротатора <i>Мастерова М. А.</i> .....	15
Исследование уравнений движения заряженной частицы в поле прецессирующего магнитного дипольного момента <i>Мастерова М. А.</i> .....	21
$N = 2$ суперчастица вблизи горизонта событий экстремальной черной дыры Керра – Ньюмана – AdS – dS <i>Орехов К. А.</i> .....	26
Построение лагранжианов для антисимметричных массивных бозонных полей в искривленном пространстве с помощью БРСТ-подхода <i>Рыскина Л. Л.</i> .....	31
Лагранжево описание безмассового заряженного поля произвольного целого спина во внешнем электромагнитном поле <i>Снегирев Т. В.</i> .....	36
Излучение атомной цепочки, возбужденной каналирующей частицей <i>Соседова М. А.</i> .....	41
Обратная задача для Фурье-компонент поля диполя <i>Янц Ю. Г.</i> .....	46
Решение обратной задачи для частотного случая поля диполя <i>Янц Ю. Г.</i> .....	50

## ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ

Разработка экспериментального оборудования для подготовки учащихся к сдаче ГИА по физике <i>Галеева У. Б., Новикова О. Л.</i> .....	59
Профессиональная направленность в преподавании курса физики в вечерней (сменной) общеобразовательной школе № 4 города Томска <i>Ефименко А. А.</i> .....	62

Влияние возрастных особенностей на формирование ключевых компетенций <i>Куроленко О. В.</i> .....	65
Колебательные спектры бинарных нитридов <i>Пермякова М. Ю., Обухов С. В.</i> .....	68
Расчеты свойств ZnO методом функционала плотности <i>Сороковенко И. Р.</i> .....	70
Организация проектной деятельности на уроках физики в основной школе <i>Хакимова А. Х.</i> .....	73

## АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ

О внутренних автоморфизмах группы $D_{2n}$ <i>Авдеева Н. Н.</i> .....	79
О силовских Р-подгруппах групп $GL(2, Z_p)$ и $SL(2, Z_p)$ <i>Балицкая З. И.</i> .....	81
О гипергеометрическом решении алгебраического уравнения пятой степени <i>Гребенюк В. Б.</i> .....	85
Решение задачи установившегося течения идеальных двухфазных сред в открытых каналах переменного поперечного сечения <i>Нысанов Е. А., Каратаев Г. С.</i> .....	86
О построении кольца по заданному множеству идеалов <i>Козлов В. О.</i> .....	90
Критерий дистрибутивности пары подгрупп <i>Прокопчук И. И.</i> .....	93

## МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

Элементы начертательной геометрии <i>Воскобойникова М. А.</i> .....	99
Преобразования подобия плоскости и пространства в решении задач <i>Дёмина Ю. А.</i> .....	103
Проектная деятельность на уроках геометрии в среднем звене <i>Жигарова О. С.</i> .....	107
Применение инверсии в решении задач <i>Захарова Е. С.</i> .....	110
Выпуклые и невыпуклые многогранники <i>Семёнова А. А.</i> .....	113

Замечательные кривые на плоскости <i>Сиухина О. К.</i> .....	118
Обучение решению задач на построение <i>Шах Н. А.</i> .....	123
Математическая игра как способ развития мышления школьников <i>Юсупова Е. В.</i> .....	126

## ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Микропроцессорная система для устройства стабилизации температуры в аппаратно-программном комплексе для реализации локальной гипертермии <i>Гладышева Е. И.</i> .....	133
Сайт школы как средство дистанционного обучения <i>Долганов В. М.</i> .....	135
Реализация принципа фундаментальности при обучении информатике в педагогическом вузе <i>Долганова Н. Ф.</i> .....	137
Перспективы развития языка GIL <i>Зорин Ю. А.</i> .....	139
Моделирование обратного преобразователя напряжения <i>Зубакин А. Г., Шнайдер В. В.</i> .....	142
Обучение разработке электронных учебных материалов с использованием пакета E-Course 2.0 <i>Казарин С. А.</i> .....	145
Технология получения образовательного контента, основанная на применении баз знаний <i>Кречетов И. А.</i> .....	148
Психологические аспекты программно-педагогических средств <i>Нетесова О. С.</i> .....	150
Практико-ориентированный подход в обучении программированию <i>Обухова О. В.</i> .....	152
Применение информационных технологий при обучении решению уравнений на уроках математики в школе <i>Батырхан Тилейхан</i> .....	155
Использование Framework JQuery для разработки web-приложений <i>Янюшкин В. В.</i> .....	159



## ГЕОГРАФИЯ

Опасные метеорологические явления в России <i>Бородина А. О., Ершова Т. В.</i> .....	165
Зависимость грозовой активности от конвективного потенциала атмосферы <i>Бугаева Д. А., Карташова Е. В., Константинова Д. А.</i> .....	168
Динамика экологического состояния воздушного бассейна г. Томска по результатам исследований 2010–2011 гг. <i>Бусыгина Ю. С., Черепанова О. А., Федорова Е. В., Родикова А. В.</i> .....	172
Динамика концентрации пыли в атмосфере крупного города Алтайского края <i>Дутт Е. В.</i> .....	174
Термодинамические характеристики атмосферы в дни с градом <i>Золотухина О. И., Константинова Д. А.</i> .....	177
Эколого-познавательная экскурсия выходного дня «Томск – город родников» <i>Карнаева М. В.</i> .....	181
Показатели оценки уровня комфортности климата (на примере Томской области) <i>Касицкая А. В.</i> .....	184
Переработка отходов в Томской области <i>Кириллова Е. Н., Ершова Т. В.</i> .....	188
Характеристика аэрологических индексов при грозовой атмосфере в Сибири <i>Кламм С. В., Ершова Т. В.</i> .....	192
Экологическое содержание школьной географии <i>Копылова Н. В., Петрова Е. Ю.</i> .....	195
Условия формирования и морфоаналитическая характеристика почв трассы нефтепровода Ванкорское месторождение – НПС «Пурпе» <i>Миннулина Н. И.</i> .....	200
Черноземные почвы памятника природы «Склон с реликтовой растительностью» у села Коларово <i>Носкова К. Л.</i> .....	204
Термодинамические характеристики атмосферы Западной Сибири в дни с грозой <i>Разумова О. В., Константинова Д. А.</i> .....	207
Использование ландшафтно-индикационных связей при изучении структуры почвенного покрова на примере юго-западной части Академгородка г. Томска <i>Свинцова Н. С.</i> .....	211
Солнечная радиация и исчисление времени <i>Серая Н. Ю.</i> .....	218

Реализация экологического образования и воспитания в средних общеобразовательных учреждениях России <i>Скокишина Ю. С., Петрова Е. Ю.</i> .....	221
Характеристика почв городища Рюзаково <i>Студенкова Н. А.</i> .....	225
Особенности регионального развития томского научно-образовательного комплекса <i>Судникова А. И., Волкова Е. С., Алпатова Н. В.</i> .....	227
Влияние географических особенностей местности на конвективный потенциал атмосферы <i>Тунаев Е. Л., Константинова Д. А.</i> .....	231
Экологическое образование и воспитание школьников посредством экскурсионной деятельности <i>Холодова Е. В., Петрова Е. Ю.</i> .....	235

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Видовая и популяционно-генетическая структура малярийных комаров (Diptera, Culicidae) республики Карелия <i>Ахметова Н. М., Перевозкин В. П.</i> .....	241
Активность метаногенов и метанотрофов в эфтрофном болоте «Таган» <i>Бенц М. В., Сергеева М. А.</i> .....	245
Влияние условий прокалки шихты на кислотно-основные и люминесцентные свойства электролюминофора ZnS:Cu <i>Зятиков И. А.</i> .....	249
Сравнительная оценка состояния кратковременной зрительной памяти у студентов ТГПУ <i>Платонова Е. С.</i> .....	254
Содержание витаминов в разных видах овощей в зависимости от способа кулинарной обработки <i>Порфирьева Ю. А.</i> .....	256
Влияние на морфогенез и продуктивность <i>Lactuca sativa</i> L. длины волны люминесцентного излучения флуоресцентных пленок <i>Потехина Н. Н., Пермякова Н. Л., Батракова К. А.</i> .....	260
Акустические аспекты полового поведения малярийных комаров (Diptera, Culicidae) <i>Принцева А. А., Масленников П. В., Бондарчук С. С., Перевозкин В. П.</i> .....	265
Диагностика заражения инвазией мясных и рыбных продуктов на рынках Томска <i>Приставко И. А.</i> .....	269

К изучению ихтиофауны реки Парабель <i>Саиспаева А. А., Зингер Г. В.</i> .....	272
Влияние на рост и развитие <i>Lactuca sativa</i> L. интенсивности люминесцентного излучения флуоресцентных пленок <i>Сенникова Д. С., Пермякова Н. Л., Батракова К. А.</i> .....	275
Сравнительное изучение физиолого-биохимических показателей в хвое <i>Pinus sylvestris</i> L. болотных экосистем <i>Сурнина Е. Н., Жаровская Е. А., Сараева О. В., Шик М. Ю.</i> .....	280
Нематоды, паразитирующие в кишечнике ортоптероидных насекомых <i>Сытникова А. Е.</i> .....	283
Влияние ионизирующего излучения на биологические объекты <i>Тимофеев О. П.</i> .....	285
Многофункциональная роль болот <i>Царегородцев Д. Б.</i> .....	289
Изменение состояния организма под действием радиоволн <i>Чаводаева М. Ю.</i> .....	291
Неблагоприятное действие шума на организм человека <i>Чукова А. В.</i> .....	295
Использование компьютерных технологий при изучении эмбриогенеза хордовых на примере ланцетника обыкновенного <i>Шаврина Ю. П., Зингер Г. В.</i> .....	299
Активность ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы в торфяных почвах эвтрофного болота Таган <i>Шкрёбова С. В., Порохина Е. В., Голубина О. А.</i> .....	302

*Научное издание*

**I ВСЕРОССИЙСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ**

**Всероссийская с международным участием конференция  
студентов, аспирантов и молодых ученых**

**«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ»**

*г. Томск  
25–29 апреля 2011 г.*

**ТОМ I  
ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТОЧНЫЕ НАУКИ**

*Материалы конференции*

Технический редактор: О. П. Крикунова  
Ответственный за выпуск: Л. В. Домбраускайте

Бумага: офсетная.  
Печать: трафаретная.  
Усл. печ. л.: 18,1.  
Уч. изд. л.: 15,8.

Сдано в печать: 5.12.2011 г.  
Формат: 64×80/16.  
Заказ: 623/Н.  
Тираж: 100 экз.

Издательство Томского государственного педагогического университета  
634061, г. Томск, ул. Киевская, 60  
Отпечатано в типографии Издательства ТГПУ  
г. Томск, ул. Герцена, 49. Тел. (3822) 52-12-93.  
e-mail: [tipograf@tspu.edu.ru](mailto:tipograf@tspu.edu.ru)