



4. Иванов А. И., Иванов А. А. К расчету спектров ядерного магнитного резонанса // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 4.

5. Jelesko F., Gaebel T., Popa I. et al. Observation of coherent oscillation of single nuclear spin and realization of a two-qubit conditional quantum gate // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93. P. 130501.

#### Об авторах

Александр Алексеевич Иванов — асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: aivanov023@gmail.com

Алексей Иванович Иванов — д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: AIvanov@kantiana.ru

#### About authors

Aleksander Ivanov — PhD student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: aivanov023@gmail.com

Prof. Aleksey Ivanov — I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: AIvanov@kantiana.ru

УДК 550.338

**А. В. Марков, А. Р. Абдуллаев, М. В. Клименко**

### ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ $N_mF2$ ЗИМОЙ В СРЕДНИХ ШИРОТАХ

*Представлены результаты проведенного исследования зависимости дневных  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  на различных долготах от солнечной и геомагнитной активности в январе 2012 – 2015 гг. Рассмотрена зависимость суточных вариаций  $N_mF2$  от уровня солнечной активности. Показано, что зависимость  $N_mF2$  от солнечной активности носит линейный характер, отличающийся на различных станциях.*

*The paper presents the results of the study according to day  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  at different longitudes by solar and geomagnetic activity in January 2012-2015. The dependence of the daily variations of  $N_mF2$  of the level of solar activity. It is shown that the dependence of  $N_mF2$  and solar activity is linear in nature, different at different stations.*

**Ключевые слова:** солнечная активность, широтные зоны, электронная концентрация, ионосфера.

**Key words:** solar activity, latitudinal zones, electronic concentration, ionosphere.



## Введение

Электронная концентрация в максимуме  $F2$ -слоя, дневных  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$ , возрастает с уровнем солнечной активности пропорционально числу солнечных пятен или индексу  $F_{10.7}$  [1]. Во всех широтных зонах, суточно-сезонные вариации электронной концентрации в ионосфере вызваны изменениями скорости ионообразования, пропорциональной косинусу зенитного угла Солнца. Нейтральный состав контролируется глобальной термосферной циркуляцией и нейтральной температурой, а перенос плазмы связан с нейтральными ветрами [2]. Зависимость суточно-сезонных вариаций параметров  $F$  области ионосферы от солнечной активности над станциями восточно-сибирского региона детально исследована в [3]. Показано, что для Иркутска и Норильска рост солнечной активности приводит к наибольшему увеличению электронной концентрации в максимуме  $F2$ -слоя в дневное время вблизи зимнего солнцестояния. В наименьшей степени зависимость  $N_mF2$  от солнечной активности проявляется в ночной зимней ионосфере, которая в наибольшей мере контролируется потоками плазмы из плазмосферы. В работе [4] было показано, что полуденные значения дневных  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  в Миллстоун Хилле в зимние время года хорошо описываются линейной зависимостью от индекса солнечной активности  $F_{10.7}$ .

### 1. Данные наблюдений и обработка результатов

Для выявления зависимости от солнечной активности значений дневных  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  на средних широтах в январе 2012–2015 гг. нами использовались данные индекса солнечной активности  $F_{10.7}$ , взятые с сайта [http://lasp.colorado.edu/lisird/tss/noaa\\_radio\\_flux.html](http://lasp.colorado.edu/lisird/tss/noaa_radio_flux.html), и индекса геомагнитной активности  $A_p$  с сайта <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index.html>. По этим данным проведены усреднения индексов солнечной и геомагнитной активности. В таблице 1 приведены 27-дневные и 81-дневные усреднения индексов солнечной ( $F_{10.7}$ ) и геомагнитной ( $A_p$ ) активности за рассматриваемый период времени. Индексы геомагнитной активности  $\langle A_p \rangle_{27}$  и  $\langle A_p \rangle_{81}$  показали, что рассматриваемые периоды были геомагнитно-спокойными. Для нахождения зависимости электронной концентрации в  $F2$ -слое ионосферы от солнечной активности мы использовали  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$ , поскольку, как видно из таблицы 1, значения  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  и  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$  близки друг к другу.

Для выявления зависимости от солнечной активности дневных значений  $N_mF2$  на средних и субавроральных широтах для 19 января 2012–2015 гг. нами были взяты данные  $N_mF2$  семи среднеширотных и субавроральных ионозондов из мировой сети станций с сайта <http://spidr.ngdc.noaa.gov> и данные ионозондов Калининград и Иркутск, обработанные вручную в интерактивном режиме. В таблице 2 приведены координаты всех используемых станций.



Таблица 1

**27- и 81- дневные усредненные значения  $F_{10.7}$  и  $A_p$  индексов  
для 19 января 2012–2015 годов**

| Год  | $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$ | $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$ | $\langle A_p \rangle_{27}$ | $\langle A_p \rangle_{81}$ |
|------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 2012 | 128                             | 124                             | 7,3                        | 6,5                        |
| 2013 | 122                             | 110                             | 5,4                        | 4,7                        |
| 2014 | 149                             | 154                             | 4,7                        | 6,8                        |
| 2015 | 132                             | 139                             | 9,3                        | 10,2                       |

Таблица 2

**Список используемых станций**

| Станция      | Широта, градусы | Долгота, градусы |
|--------------|-----------------|------------------|
| Port Stanley | - 51,7          | - 57,8           |
| Jeju         | 33,5            | 126,5            |
| I-Cheon      | 37,1            | 127,5            |
| Boulder      | 40,0            | - 105,3          |
| Rome         | 41,8            | 12,5             |
| Pruhonicе    | 50,0            | 14,6             |
| Irkutsk      | 52,5            | 104,0            |
| Kaliningrad  | 54,0            | 20,0             |
| Moscow       | 55,5            | 37,3             |

Нами была проведена дополнительная ручная обработка данных с сайта <http://spidr.ngdc.noaa.gov> ввиду различных технических аспектов записи данных. Были получены 27-дневные медианные (с серединой 19 января) суточные вариации  $N_mF2$  над 9 станциями для 2012–2015 гг. Суточные вариации  $N_mF2$  были получены по мировому времени UT и переведены в местное время LT.

**2. Содержательная часть**

Анализ суточных вариаций  $N_mF2$  для девяти среднеширотных и субавроральных ионозондов показывает, что наибольшее влияние солнечная активность оказывает на дневные значения  $N_mF2$ .

По полученным суточным вариациям  $N_mF2$  над всеми станциями для 2012–2015 гг. имел место следующий парадокс: в январе 2014 г., когда значения индекса солнечной активности  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  были больше, чем в 2015 г., дневные значения  $N_mF2$  оказались меньше. Затем мы усреднили дневные значения  $N_mF2$  за четыре часа (10:00–14:00 LT) для каждой выбранной станции. Таким образом, были получены среднедневные январские медианные значения  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  для каждого года.



На основе значений  $\langle N_mF2 \rangle$  и  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  за: 1) 2012, 2013, 2015; 2) 2012 – 2014; 3) 2012 – 2015 были получены линейные регрессии дневных

$$\langle N_mF2 \rangle_{27} = a_0 + a_1 \times (\langle F_{10.7} \rangle - 70).$$

В таблице 3 представлены коэффициенты линейной регрессии.

Таблица 3

**Коэффициенты линейной регрессии  
для различных временных интервалов**

| Станция     | Коэффициент линейной регрессии для 2012, 2013, 2015 |        | Коэффициент линейной регрессии для 2012, 2013, 2014 |       | Коэффициент линейной регрессии для 2012–2015 |       |
|-------------|---|--------|---|-------|--|-------|
|             | $a_0$   | $a_1$  | $a_0$   | $a_1$ | $a_0$  | $a_1$ |
| Boulder     | - 7,654   | 0,306  | 6,88  | 0,038 | 7,73   | 0,034 |
| I-Cheon     | - 4,159   | 0,239  | 6,26  | 0,046 | 7,02   | 0,043 |
| Irkutsk     | - 3,728   | 0,237  | 7,35  | 0,035 | 7,84   | 0,031 |
| Jeju        | 0,329   | 0,172  | 6,28  | 0,062 | 6,69   | 0,059 |
| Kaliningrad | - 4,867   | 0,236  | 4,85  | 0,053 | 5,77   | 0,049 |
| Moscow      | - 4,671   | 0,236  | 5,13  | 0,053 | 5,88   | 0,049 |
| PortStanley | 11,682  | - 0,06 | 6,83  | 0,028 | 6,80   | 0,028 |
| Pruhonicе   | - 9,441   | 0,322  | 5,21  | 0,049 | 6,32   | 0,043 |
| Rome        | - 7,196   | 0,284  | 4,54  | 0,064 | 5,47   | 0,060 |

63

На рисунке 1 даны графики зависимости данных  $\langle N_mF2 \rangle$  от солнечной активности и результаты линейных регрессий. Видно, что:

(1) при построении линейной регрессии без учета данных за 2014 г. происходят наибольшие изменения линейной зависимости  $\langle N_mF2 \rangle$  от уровня солнечной активности по сравнению с линейной регрессией, построенной по данным 2012 – 2015 гг.;

(2) наибольшие отклонения от линейной регрессии, построенной за 2012 – 2015 гг., наблюдаются по данным за 2015 г. Кроме того, при построении линейной регрессии за 2012, 2013, 2015 гг. для значений  $\langle F_{10.7} \rangle_{27} = 70$  получаются отрицательные значения  $\langle N_mF2 \rangle$ , чего не наблюдается в регрессиях за 2012 – 2014 и 2012 – 2015 гг.

Все это свидетельствует о том, что январь 2015 г. является аномальным с точки зрения зависимости среднедневных  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  от солнечной активности. Проанализировав наибольшие отклонения  $N_mF2$  от их линейных регрессий и значения  $\langle Ap \rangle_{27}$  и  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  для четырех лет, мы выяснили, что завышение линейной регрессии в 2015 г. соответствует повышенной геомагнитной активности в этот год. На основе этого сделан вывод о положительном вкладе геомагнитной активности в дневные январские значения  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$ .

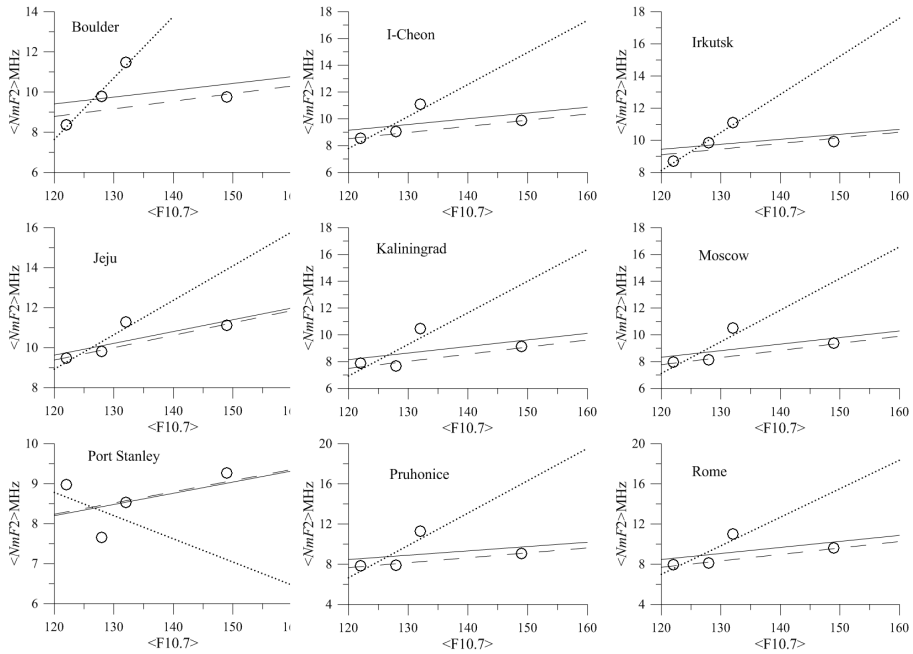


Рис. 1. Зависимость дневных  $N_mF2$  от солнечной активности на различных станциях, полученных методом линейной регрессии данных (представленных кругами) для 19 января:  
 (1) 2012, 2013, 2015 (пунктирная линия);  
 (2) 2012, 2013, 2014 (штриховая линия);  
 (3) для всех рассмотренных лет (сплошная линия)

Для более детальной проверки данного факта мы построили двойную линейную регрессию  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  от  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  и  $\langle Ap \rangle_{27}$

$$\langle N_mF2 \rangle_{27} = b_0 + b_1 \times (\langle F_{10.7} \rangle_{27} - 70) + b_2 \times (\langle Ap \rangle_{27} - 4)$$

и увеличили количество рассматриваемых лет. Для исследования использовались данные ионозондов в Калининграде, Иркутске и Москве, обработанные вручную в интерактивном режиме для 15 января 2008 – 2015 гг. (табл. 4).

Сравнение двойной линейной регрессии с данными наблюдений и линейной регрессией (рис. 2) выявило меньшие отклонения двойной линейной регрессии от исходных данных, что подтверждает вывод о положительном вкладе геомагнитной активности в дневные январские значения  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$ .

В таблицах 5 и 6 приведены коэффициенты и среднеквадратичные ошибки линейной и двойной линейной регрессии для всех станций по  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  и  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$ .



Таблица 4

27- и 81-дневные усредненные значения  $F_{10.7}$ ,  
7-дневные усредненные значения индекса  $A_p$  и  $N_mF2$  над Иркутском,  
Калининградом и Москвой для 15 января 2008 – 2015 годов

| Год  | $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$ | $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$ | $\langle A_p \rangle_{27}$ | Дневные (10–14LT) $\langle N_mF2 \rangle_{27}$ |       |       |
|------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|-------|-------|
|      |                                 |                                 |                            | Ирк  | КЛД   | Мск   |
| 2008 | 72                              | 71,88                           | 8,4                        | 3,69   | 2,76  | —     |
| 2009 | 67,7                            | 66,8                            | 4                          | 3,3  | 2,44  | 2,91  |
| 2010 | 79,4                            | 79                              | 3,1                        | 3,81   | 2,96  | 3,25  |
| 2011 | 81                              | 85                              | 5,9                        | 4,61   | 4,28  | 4,19  |
| 2012 | 131                             | 124                             | 7,2                        | 9,77   | 7,41  | 8,09  |
| 2013 | 126,5                           | 111,2                           | 5,3                        | 8,59   | 7,65  | 8,18  |
| 2014 | 153                             | 154,5                           | 5,5                        | 9,78   | 9,10  | 9,42  |
| 2015 | 130                             | 137,3                           | 9,6                        | 10,94  | 10,44 | 10,57 |

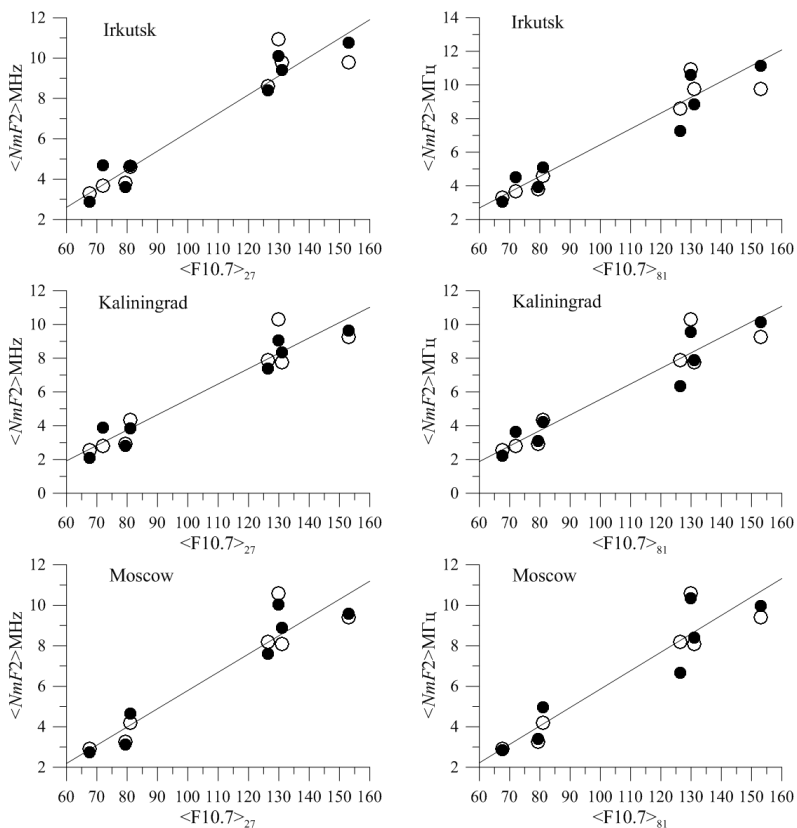


Рис. 2. Зависимость полуденных значений  $\langle N_mF2 \rangle_{27}$  для 15 января от солнечной активности  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$  на трех выбранных станциях по данным наблюдений (светлые кружки) и по результатам линейной (по  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$  – сплошные линии) и двойной линейной (по  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$  и  $\langle A_p \rangle_{27}$  – темные кружки) регрессий, полученных на полном массиве данных за 2008 – 2015 гг.



Таблица 5

Коэффициенты и среднеквадратической ошибки (MSE)  
для линейной и двойной линейной регрессии для всех лет,  
полученных с помощью  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  индекса

| Станция     | Линейная регрессия |       |      | Двойная линейная регрессия |       |       |      |
|-------------|--------------------|-------|------|----------------------------|-------|-------|------|
|             | $a_0$              | $a_1$ | MSE  | $b_0$                      | $b_1$ | $b_2$ | MSE  |
| Калининград | 2,837              | 0,091 | 1,02 | 3,664                      | 0,082 | 0,323 | 0,60 |
| Москва      | 3,093              | 0,09  | 0,79 | 2,911                      | 0,071 | 0,510 | 0,19 |
| Иркутск     | 3,535              | 0,093 | 0,78 | 3,080                      | 0,088 | 0,325 | 0,38 |

66

Таблица 6

Коэффициенты и среднеквадратической ошибки (MSE)  
для линейной и двойной линейной регрессии для всех лет,  
полученных с помощью  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$  индекса

| Станция     | Линейная регрессия |       |      | Двойная линейная регрессия |       |       |      |
|-------------|--------------------|-------|------|----------------------------|-------|-------|------|
|             | $a_0$              | $a_1$ | MSE  | $b_0$                      | $b_1$ | $b_2$ | MSE  |
| Калининград | 2,802              | 0,092 | 0,75 | 2,497                      | 0,086 | 0,223 | 0,57 |
| Москва      | 3,132              | 0,091 | 0,75 | 3,086                      | 0,074 | 0,405 | 0,42 |
| Иркутск     | 3,629              | 0,094 | 0,89 | 3,336                      | 0,088 | 0,233 | 0,70 |

### Заключение

В результате рассмотрения зависимости суточных вариаций  $N_m F_2$  и среднедневных январских значений  $N_m F_2$  от солнечной активности показано, что зависимость  $N_m F_2$  носит линейный характер, отличающийся на различных станциях. Был получен следующий парадокс: в январе 2014 г., когда значения индекса солнечной активности  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  были больше, чем в 2015 г., дневные значения  $N_m F_2$  оказались меньше.

Таким образом, подтверждается версия о положительном вкладе геомагнитной активности в январские дневные значения  $N_m F_2$ . Сравнение среднеквадратичных ошибок с использованием  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  и  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$  показывает, что:

- 1) результат двойной линейной регрессии значительно лучше описывает значения дневных  $\langle N_m F_2 \rangle_{27}$ , чем результат линейной регрессии;
- 2) не выявлено преимуществ использования  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  или  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$  для построения линейной регрессии;
- 3) для двойной линейной регрессии использование  $\langle F_{10.7} \rangle_{27}$  приводит к меньшим MSE, чем использование  $\langle F_{10.7} \rangle_{81}$ .

### Список литературы

1. Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А. Физика ионосферы. М., 1988.
2. Rishbeth H., Müller-Wodarg I. C. F. Vertical circulation and thermospheric composition: a modelling study // Ann. Geophysic. 1999. Vol. 17. P. 794–805.
3. Ratoevsky K. G., Oinats A. V., Medvedev A. V. Similarities and differences between regular variations of F2-layer parameters of the polar and midlatitude ionosphere in East Siberian sector // Solar-Terrestrial Physics. 2015. Vol. 1, № 2. P. 70–79.



4. *Lei J., Liu L., Wan W. and Zhang S.-R.* Variations of electron density based on long-term incoherent scatter radar and ionosonde measurements over Millstone Hill // Radio Sci. 2005. Vol. 40. RS2008.

5. *Karpenko A. L., Manaenkova N. I.* Nonlinear time series analysis of the ionospheric measurements // Geologishe Rundschau. 1996. Vol. 85, № 1. P. 124–129.

6. *Khmyrov G. M., Galkin I. A., Kozlov A. V. et al.* Exploring digisonde ionogram data with SAO-X and DIDBase // Proc. AIP Conf. Radio Sounding and Plasma Physics. 2008. Vol. 974. P. 175–185.

7. *Reinisch B. W., Galkin I. A., Khmyrov G. et al.* Automated collection and dissemination of ionospheric data from the digisonde network // Adv. Radio Sci. 2004. Vol. 2. P. 241–247.

#### Об авторах

Александр Витальевич Марков – магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: aleksandr\_markov\_94@mail.ru

Алишер Рашитович Абдуллаев – магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: alish3@mail.ru

Максим Владимирович Клименко – канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: maksim.klimenko@mail.ru

#### About authors

Aleksandr Markov – undergraduate, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: aleksandr\_markov\_94@mail.ru

Alisher Abdullaev – undergraduate, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: alish3@mail.ru

Dr Maksim Klimenko – Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: maksim.klimenko@mail.ru

УДК 378.4

**И. В. Врублевская, А. В. Пец**

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО РЕСУРСА ПРАКТИКУМА ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ

*Рассматриваются проблемы, связанные с использованием цифровых технологий в лабораторном практикуме по атомной физике. Введено понятие внутреннего и внешнего интеллекта пользователя компьютерных программ. К интеллектуальным цифровым технологиям отнесены системы компьютерной алгебры, виртуальных измерительных приборов. Приведены примеры модернизации двух лабораторных работ по атомной физике. В первой из них изучается движение электронов в магнитном поле по винтовой линии. Во второй – объединяются пре-*