

УДК 551.58(268.46)(045)

## **Анализ многолетней изменчивости приземной температуры воздуха в районе Двинского залива Белого моря за период 1915–2015 гг.**

***В.В. Красильникова***

*Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Архангельск, Россия  
vikakrasilnikova@yandex.ru*

Проанализирована долгопериодная изменчивость приземной температуры воздуха в районе Двинского залива Белого моря. Проведенный анализ позволил дать количественную оценку, характеризующую изменение климата в этом районе за последние 100 лет.

Анализ данных наблюдений показал, что тенденция потепления климата подтверждается ростом температуры воздуха как в целом за год, так и за многолетний период времени. Изменение приземной температуры воздуха происходит со скоростью 0,012 °C/год (или 0,1 °C/10 лет) и в целом составляет 1,2 °C/101 год для всех анализируемых станций. Полученные результаты подтверждают наличие двух периодов потепления, наблюдавшихся в 1915–1945 и 1985–2015 гг. Все результаты, полученные в ходе работы, свидетельствуют о тенденции смягчения климата в районе Двинского залива Белого моря в конце XX – начале XXI века.

*Ключевые слова:* Белое море, приземная температура воздуха, норма, аномалия, изменение климата

## **Analysis of inter-annual variability of surface air temperature in the Dvina Bay of the White sea for the period 1915–2015**

***V.V. Krasilnikova***

*Northern Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring Agency, Arkhangelsk, Russia  
vikakrasilnikova@yandex.ru*

The long-term variability of the surface air temperature in the area of the Dvina Bay of the White Sea is analyzed. The analysis has allowed to make a quantitative assessment characterizing the climate change over the past 100 years.

The analysis of observational data showed that the tendency of climate warming is confirmed by the increase of air temperature both in the whole year and in the long-term period of time. The change in surface air temperature occurs at a rate of 0.012 °C/year (or 0.1 °C/10 years) and is 1.2 °C /101 year for all analyzed stations. The obtained results confirm the presence of two periods of warming observed in 1915-1945 and 1985-2015. All the results obtained in the course of the work, indicate the trend of climate mitigation in the Dvina Bay of the White sea in the late XX-early XXI centuries.

*Keywords:* White sea, surface air temperature, norm, anomaly, climate change

## Введение

Наряду с исследованием глобальных изменений климата все большее значение приобретает изучение климатических отклонений в отдельных регионах [2].

В конце XX – начале XXI века наиболее заметные климатические изменения наблюдаются в Арктическом регионе.

Интерес к изменениям климата в высоких широтах объясняется тем, что они затрагивают наиболее важные для человечества факторы – использование морских путей, добыча полезных ископаемых на морском шельфе, разрушение многолетней мерзлоты. Как известно, именно в высоких широтах расположены основные очаги климатических изменений [6].

Приземная температура воздуха используется как один из основных показателей изменения климата в высоких широтах Северного полушария. В результате этого в работе проанализирована многолетняя изменчивость приземной температуры воздуха в районе Двинского залива Белого моря.

## Материалы и методы обработки данных

Анализ многолетней изменчивости приземной температуры воздуха проводился за период 1915–2015 гг. по данным трех гидрометеорологических станций, которые располагаются в Двинском заливе Белого моря: МГ-2 Жижгин, МГ-2 Зимнегорский Маяк, МГ-2 Мудьюг.

Станции выбраны в соответствии с необходимыми требованиями:

- равномерное распределение по территории региона;
- удаленность крупных промышленных источников;
- длительность рядов наблюдений;
- отсутствие пропусков в рядах наблюдений.

Наиболее однородный ряд данных по основным анализируемым характеристикам относится к интервалу времени 1915–2015 гг., так как начиная с 1915 г. ряд анализируемых характеристик содержит наименьшее количество пропусков.

Ниже приведены характеристики, которые были проанализированы в работе:

- 1) среднегодовая приземная температура воздуха (ПТВ), °С;
- 2) даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и осенью.

На основании собранного массива данных был создан электронный архив, обеспечивающий быстрый и удобный доступ к анализируемым данным. В него вошли данные по всем вышеперечисленным характеристикам за период 1915–2015 гг.

В ходе выполнения работы были использованы данные архива ФГБУ «Северное УГМС».

Выявление тенденций многолетнего изменения ПТВ для района Двинского залива Белого моря проводилось методом скользящего

осреднения с шагом 11 лет (с последующим сдвигом на один год). Выбор периода осреднения в 11 лет обусловлен существованием цикла изменения солнечной активности [4], а также путем расчета линейных трендов. Под трендом понимается медленное изменение анализируемой величины по сравнению с рядом наблюдений. Линейный тренд рассчитан с использованием линейного уравнения регрессии:

$$y(t) = b_1 \cdot t + b_0,$$

где  $y(t)$  – среднее значение величин;

$b_0$  – оценка среднего значения величины, осредненного по рассмотренному временному интервалу;

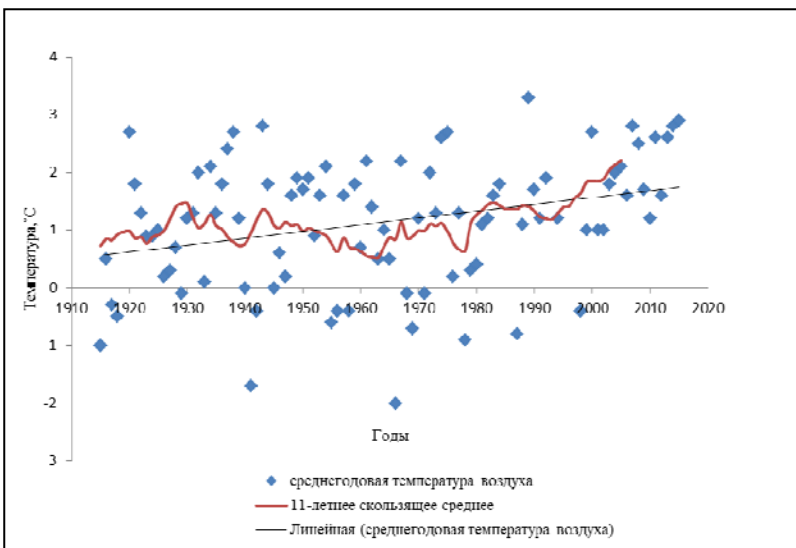
$b_1$  – оценка коэффициента линейного тренда, который равен средней скорости изменения величин в год на протяжении рассматриваемого временного интервала;

$t$  – время в годах [2].

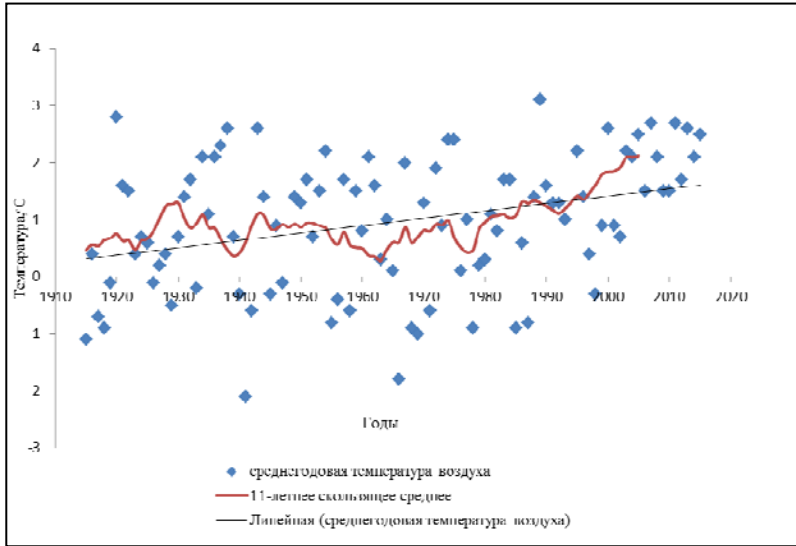
## Результаты

На рис. 1–3 представлен многолетний ход среднегодовой ПТВ, дающий представление о характере колебаний данной характеристики за период 1915–2015 гг. по всем анализируемым станциям.

Представленные графики наглядно отображают внутреннюю структуру двух периодов потепления климата.

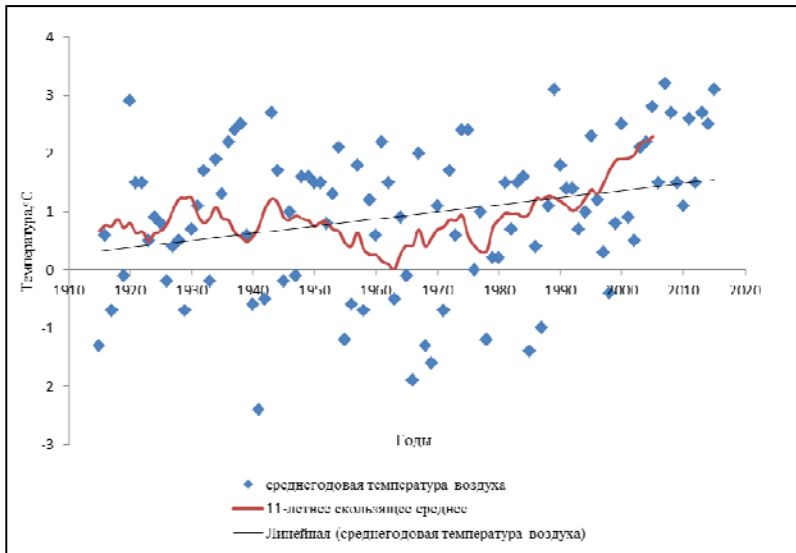


**Рис. 1.** Многолетняя изменчивость среднегодовой ПТВ, МГ-2 Жижгин.  
**Fig. 1.** Long-term variability of the annual average of SAT, MG–2 Jiggin.



**Рис. 2.** Многолетняя изменчивость среднегодовой ПТВ, МГ-2 Зимнегорский маяк.

**Fig. 2.** Long-term variability of the annual average of SAT, MG-2 Zimnegorskij Majak.



**Рис. 3.** Многолетняя изменчивость среднегодовой ПТВ, МГ-2 Мудьюг.

**Fig. 3.** Long-term variability of the annual average of SAT, MG-2 Mudjug.

Так, «первое» потепление приходится на интервал времени 1915–1945 гг. Необходимо отметить, что в данный временной интервал на фоне общего повышения температуры выделяются кратковременные периоды понижения температуры («похолодания») с 1920 по 1925 и с 1935 по 1940 год.

Наиболее интенсивное повышение температуры воздуха наблюдается с 1985 г. по настоящий промежуток времени – «современный» период потепления. В «современный» период потепления также наблюдаются кратковременные периоды понижения температуры («похолодания»), но при значительно меньших амплитудах и временных масштабах по сравнению с периодом «первого» потепления.

Расчет линейного тренда среднегодовой ПТВ показывает, что потепление происходит в среднем для всех анализируемых станций со скоростью 0,012 °С/год (или 0,1 °С/10 лет) и в целом составляет 1,2 °С/101 год (табл. 1).

**Таблица 1.** Величины потепления для периода 1915–2015 гг.  
**Table 1.** The magnitude of warming for the period 1915–2015

Станция	Коэффициент линейного тренда, °С/год
МГ-2 Жижгин	0,012
МГ-2 Зимнегорский Маяк	0,013
МГ-2 Мудьюг	0,012

Рассматривая проявление потеплений для интервалов времени 1915–1945 и 1985–2015 гг., можно утверждать, что в период каждого из потеплений наблюдается более интенсивное повышение температуры воздуха, чем за весь анализируемый период 1915–2015 гг.

Так, для «первого» потепления коэффициент линейного тренда среднегодовой ПТВ составляет в среднем 0,02 °С/год, для «современного» потепления – 0,06 °С/год. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что «современное» потепление происходит со скоростью значительно выше скорости «первого» потепления для всех анализируемых станций (табл. 2).

Для оценки изменения термических условий «современного» периода необходимо проводить их сравнение с нормой за единичный период. В качестве стандартного периода для оценки климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат, по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) используется период в 30 лет. В настоящее время это период 1961–1990 гг. [2].

Анализируя период «современного» потепления, можно утверждать, что среднегодовая ПТВ за период 1985–2015 гг. в среднем выше нормы (1961–1990 гг.) на 0,8 °С для всех анализируемых станций (табл. 3).

**Таблица 2.** Сравнение периодов потепления в районе Двинского залива Белого моря

**Table 2.** A comparison of the periods of warming in the area of the Dvina Bay of the White sea

Станция	Коэффициент линейного тренда, °С/год	
	1915–1945 гг.	1985–2015 гг.
МГ-2 Жижгин	0,02	0,05
МГ-2 Зимнегорский Маяк	0,02	0,06
МГ-2 Мудьюг	0,02	0,07

**Таблица 3.** Сравнение среднегодовой ПТВ за период 1985–2015 гг. с нормой 1961–1990 гг.

**Table 3.** Comparison of the annual average SAT for the period 1985–2015 with the norm 1961–1990

Станция	Норма ПТВ, °С (1961–1990 гг.)	Среднегодовая ПТВ, °С (1985–2015 гг.)	Аномалия, °С
МГ-2 Жижгин	1,00	1,72	+0,72
МГ-2 Зимнегорский Маяк	0,80	1,50	+0,70
МГ-2 Мудьюг	0,60	1,49	+0,89

Изучение климатических особенностей дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С весной и осенью, являющихся границами тепло и вегетационного сезонов, представляет большую значимость при рассмотрении сезонной динамики природных процессов [2, 3].

Для оценки наблюдаемых изменений дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С рассчитаны средние даты за периоды 1915–1945 и 1985–2015 гг. в весенний и осенний сезоны соответственно (в табл. 4, 5).

**Таблица 4.** Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной

**Table 4.** The date of transition of the average daily air temperature through 0 °С in the spring

Станция	Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной	
	1915–1945 гг.	1985–2015 гг.
МГ-2 Жижгин	28 апреля	20 апреля
МГ-2 Зимнегорский Маяк	26 апреля	17 апреля
МГ-2 Мудьюг	26 апреля	18 апреля

**Таблица 5** Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью

**Table 5.** The date of transition of the average daily air temperature through 0 °С in autumn

Станция	Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью	
	1915–1945 гг.	1985–2015 гг.
МГ-2 Жижгин	9 ноября	9 ноября
МГ-2 Зимнегорский Маяк	29 октября	5 ноября
МГ-2 Мудьюг	29 октября	5 ноября

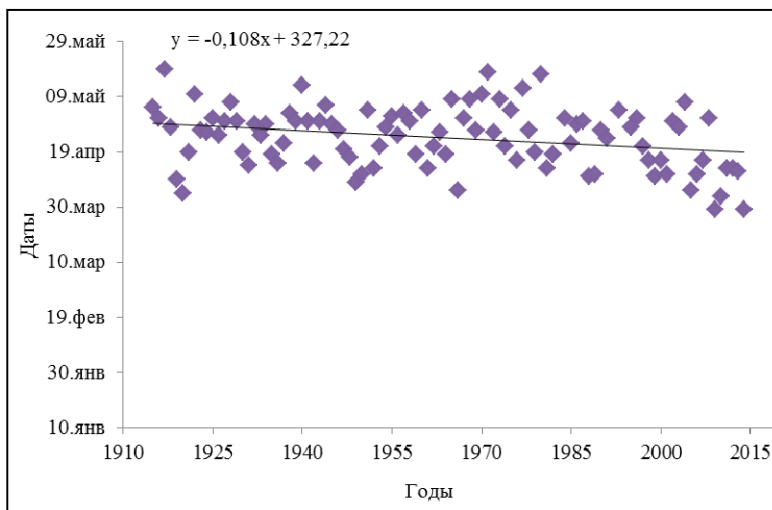
Анализ двух временных периодов 1915–1945 и 1985–2015 гг. показывает, что переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной за последний 31 год в среднем происходил раньше на 8–9 дней для всех анализируемых станций. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью также за последний 31 год в среднем наблюдался позже на 8 дней только для МГ-2 Зимнегорский Маяк и МГ-2 Мудьюг. Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью для МГ-2 Жижгин не изменилась.

Рассматривая тенденции изменения дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и осенью для двух временных периодов 1915–1945 и 1985–2015 гг., можно сделать вывод, что для района Двинского залива Белого моря преобладает тенденция смещения повышения среднесуточной температуры воздуха весной на более ранние сроки, а сроки понижения среднесуточной температуры воздуха осенью смещаются на более поздние сроки.

Данные изменения сроков перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и осенью за последние 100 лет (1916–2015 гг.) можно рассмотреть на примере МГ-2 Мудьюг (рис. 4, 5).

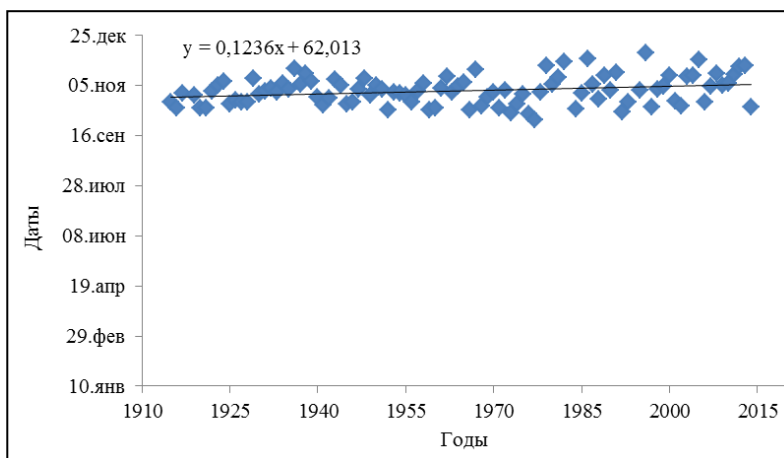
Оценка трендов изменчивости дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и осенью для МГ-2 Мудьюг за последние 100 лет указывает на то, что коэффициент линейного тренда следует рассматривать как среднюю скорость изменения исследуемой переменной на рассматриваемом отрезке времени [5]. Полученные графики отображают наличие отрицательного тренда изменения дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и положительного тренда изменения дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью. Данные выводы подтверждают, что «современный» период времени характеризуется более ранними и поздними сроками перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и осенью соответственно.

В результате анализа тенденций изменения дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и осенью для МГ-2 Мудьюг можно сделать вывод, что скорость смещения дат в среднем достигает 10 дней за 100 лет.



**Рис. 4.** Многолетняя изменчивость даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной для МГ-2 Мудьюг.

**Fig. 4.** Long-term variability of the date of transition of the average daily air temperature through 0 °C in the spring MG-2 Mudyug.



**Рис. 5** Многолетняя изменчивость даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью для МГ-2 Мудьюг.

**Fig. 5.** Long-term variability of the date of transition of the average daily air temperature through 0 °C in autumn MG-2 Mudyug.



### Выводы

Анализ данных наблюдений МГ-2 Жижгин, МГ-2 Зимнегорский Маяк и МГ-2 Мудьюг за период 1915–2015 гг. показал, что тенденция потепления климата подтверждается ростом температуры воздуха как в целом за год, так и за многолетний период времени. Это говорит о том, что многолетнее изменение приземной температуры воздуха для района Двинского залива Белого моря имеет однонаправленный характер.

Так, изменение приземной температуры воздуха происходит со скоростью 0,012 °С/год (или 0,1 °С/10 лет) и в целом составляет 1,2 °С/101 год для всех анализируемых станций.

Полученные результаты подтверждают наличие двух периодов потепления, наблюдавшихся в 1915–1945 и 1985–2015 гг. На основе полученных в ходе работы количественных оценок среднегодовой приземной температуры воздуха можно утверждать, что «современное» потепление (1985–2015 гг.) является более мощным по сравнению с «первым» потеплением (1915–1945 гг.).

Рассматривая тенденции изменения дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной и осенью для двух временных периодов 1915–1945 и 1985–2015 гг., необходимо отметить, что для территории Двинского залива Белого моря преобладает тенденция смещения весеннего повышения среднесуточной температуры воздуха на более ранние сроки, а сроки осеннего понижения среднесуточной температуры воздуха смещаются на более поздние сроки.

Все результаты, полученные в ходе работы, свидетельствуют о тенденции смягчения климата в районе Двинского залива Белого моря в конце XX – начале XXI века.

### Список литературы

1. Иванов Б.В., Павлов А.К., Андреев О.М., Журавский Д.М., Священников П.Н. Исследование снежно-ледового покрова залива Грэн-Фьорд (арх. Шпицберген): исторические данные, натуральные исследования, моделирование // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 2 (92). С. 43-54.
2. Казанцева З.К. Водозова Т.Е. Исследовать современные наблюдаемые изменения климата на территории Северного УГМС: Отчет о научно-исследовательской работе. Архангельск, 2003. 88 с.
3. Мирвис В.М., Гусева И.П., Мещерская А.В. Тенденции изменения временных границ теплого и вегетационного сезонов на территории бывшего СССР за длительный период // Метеорология и гидрология. 1996. № 9. С. 106-119.
4. Монин А.С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том 1: Изменения климата. М.: Росгидромет, 2008. 227 с.
6. Фролов И.Е., Гудкович З.М., В.П. Карклин, В.М. Смоляницкий. Изменение климата Арктики и Антарктики – результат действия естественных причин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 52-61.

### References

1. Ivanov B.V., Pavlov A.K., Andreev O.M., Zhuravskii D.M., Svyashchennikov P.N. Issledovanie snezhno-ledovogo pokrova zaliva Gren-F'ord (arkh. Shpitsbergen): istoricheskie dannye, natural'nye issledovaniya, modelirovanie [Investigation of snow and ice cover in Grøn fjorden (Spitsbergen): historical data, in situ observations and modelling]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of Arctic and Antarctic], 2012, no. 2 (92), pp. 43-54 [in Russ.].
2. Kazantseva Z.K., Vodovozova T.E. Issledovat' sovremennye nablyudaemye izmeneniya klimata na territorii Severnogo UGMS: Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote. Arkhangel'sk, 2003, 88 p. [in Russ.].
3. Mirvis V.M., Guseva I.P., Meshcherskaya A.V. Tendentsii izmeneniya vremennykh granits teplogo i vegetatsionnogo sezonov na territorii byvshego SSSR za dlitel'nyi period. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1996, no. 9, pp. 106-119. [in Russ.].
4. Monin A.S. Prognoz pogody kak zadacha fiziki. Moscow: Nauka Publ., 1969, 184 p. [in Russ.].
5. Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Tom 1: Izmeneniya klimata. Moscow: Rosgidromet Publ., 2008, 227 p. [in Russ.].
6. Frolov I.E., Gudkovich Z.M., V.P. Karklin, V.M. Smolyanitsky. Izmenenie klimata Arktiki i Antarktiki – rezul'tat deistviya estestvennykh prichin [Climate change in the Arctic and Antarctic – result of natural causes. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of Arctic and Antarctic], 2010, no. 2 (85), pp. 52-61 [in Russ.].

Поступила в редакцию 27.04.2018 г.  
Received by the editor 27.04.2018.