

## Обеспечение равномерности глубины обработки почвы

**Абдусалим Тухтакузиев,**  
доктор технических наук, профессор, старший  
научный сотрудник, e-mail: raytbaev@list.ru

Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Ташкентская область, Республика Узбекистан

**Реферат.** Описали условия, необходимые для равномерной обработки почвы на заданную глубину. Показали, что опорные колеса почвообрабатывающих машин должны быть постоянно прижаты к поверхности почвы. Подтвердили необходимость определения оптимального значения вертикальной силы давления опорных колес на почву. (*Цель исследования*) Выявить возможности обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности обработки почвы на примере навесного плуга с опорным колесом. (*Материалы и методы*) Провели исследования с использованием методов теоретической и земледельческой механики, а также аналитической геометрии. Составили схему сил, действующих на плуг в процессе вспашки. (*Результаты и обсуждение*) Получили аналитическую зависимость для определения вертикальной силы давления опорного колеса навесного плуга на почву с учетом размеров и параметров механизма навески трактора, а также навесного устройства плуга. Графическим методом определили оптимальные значения расстояния по вертикали от опорной плоскости плуга до его нижних присоединительных точек. Вычислили оптимальные численные значения учитываемых параметров: расстояние по вертикали от опорной плоскости трактора до точки крепления нижних тяг его механизма навески – 0,6 метра; число корпусов, установленных на плуг, – 4 штуки; масса одного корпуса плуга – 250 килограммов; коэффициент полезного действия плуга – 0,7; глубина вспашки (обработки) – 0,3 метра; расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до носка лемеха первого корпуса – 0,45 метра; продольное расстояние между корпусами плуга – 1,0 метр; ширина полевой доски плуга – 0,2 метра; коэффициент сопротивления перекачиванию опорного колеса плуга – 0,2; диаметр опорного колеса – 0,5 метра и другие. (*Выводы*) Установили, что для обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности вспашки расстояние по вертикали от опорных плоскостей четырехкорпусных плугов, агрегируемых с колесными тракторами класса 3-4, до нижних присоединительных точек должно быть в пределах 0,703-0,771 метра.

**Ключевые слова:** почвообработка, глубина и равномерность вспашки, навесной плуг, вертикальная сила давления опорного колеса.

■ **Для цитирования:** Тухтакузиев А. Обеспечение равномерности глубины обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 34-38. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-34-38.

## Ensuring the Uniformity of Tillage Depth

**Abdusalim Tukhtakuziev,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor, senior research engineer

Research Institute of Agricultural Mechanization, Tashkent region, Republic of Uzbekistan

**Abstract.** The authors have described the required conditions for uniform soil tillage at a given depth. It has been shown that depth wheels of tillage machines should be constantly pressed to the soil surface. The study has confirmed the need to determine the optimal value of the vertical pressure force exerted by the depth wheels on the soil. (*Research purpose*) To determine ways to ensure the given depth of tillage and the required uniformity using a mounted plow with a depth wheel. (*Materials and methods*) The authors conducted theoretical studies using methods of theoretical and agricultural mechanics, as well as analytical geometry. They made a diagram of forces acting on the plow in the process of plowing. (*Results and discussion*) The authors obtained an analytical relationship to determine the vertical pressure force exerted on the soil by a depth wheel of a mounted plow taking into account dimensions and parameters of a tractor mounting system as well as a plow mounting linkage. The optimal values of vertical distance from the plow supporting plane to its lower connecting points were graphically determined. The authors calculated the optimal numerical values of the parameters taken into account: the vertical distance from the tractor's supporting



plane to the attachment point of the lower links of its attachment mechanism is 0.6 meters; the number of bodies installed on a plow – 4; the weight of one plow body is 250 kilograms; the plow efficiency – 0.7; plowing (tillage) depth – 0.3 meters; horizontal distance from the lower connecting points of the plow to the share point of the first body – 0.45 meter; longitudinal distance between the plow bodies – 1.0 meter; plow landside width – 0.2 meters; coefficient of rolling resistance to the depth wheel of the plow – 0.2; the diameter of the depth wheel – 0.5 meters etc. (*Conclusions*) It has been established that in order to ensure a required plowing depth and uniformity, vertical distance from the supporting plane of four-body plows coupled with 3-4 class wheeled tractors to the lower connecting points should be within 0.703-0.771 meters.

**Keywords:** soil tillage, plowing depth and uniformity, mounted plow, vertical pressure of a depth wheel.

**For citation:** Tukhtakuziev A. Obespechenie ravnomernosti glubiny obrabotki pochvy [Ensuring the uniformity of tillage depth] . *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 34-38 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-34-38.

**Г**лубина и равномерность обработки почвы служат основными показателями работы всех почвообрабатывающих машин. Их обеспечение позволяет создать благоприятные условия для роста и развития растений, получения высокого урожая при одновременном созревании [1-3].

Для выполнения этих условий опорные колеса почвообрабатывающих машин должны быть постоянно прижаты к поверхности почвы. Вертикальная сила их давления на почву имеет определенное значение:

$$Q_z = Q_{\text{опт}}$$

где  $Q_z$  – вертикальная сила давления опорных колес на почву;

$Q_{\text{опт}}$  – оптимальное значение вертикальной силы давления опорных колес на почву.

При  $Q_z < Q_{\text{опт}}$  опорные колеса почвообрабатывающих машин недостаточно качественно копируют неровности поверхности поля и в результате не обеспечивают необходимую равномерность глубины обработки почвы, а при  $Q_z > Q_{\text{опт}}$  тратится излишняя и бесполезная энергия на их перекачивание [1, 4, 5].

В ранее проведенных исследованиях вопросы обеспечения условия  $Q_z = Q_{\text{опт}}$  исследованы недостаточно, в частности, отсутствуют конкретные рекомендации по обеспечению этого условия с учетом параметров механизмов навесок тракторов и навесных устройств почвообрабатывающих машин. Настоящие исследования проведены для восполнения этого пробела [4, 6-11].

**Цель исследования** – выявить возможности обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности обработки почвы на примере навесного плуга с опорным колесом.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Исследования провели с использованием методов теоретической и земледельческой механики, а также аналитической геометрии.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Пользуясь схемой, определим вертикальную силу давления опорного колеса плуга на почву (*рис. 1*):

$$Q_z = N_z = \left[ Mg(X_\pi + l_G) + R_{xz}(X_\pi + e + \frac{n_k - 1}{2}L + \frac{\rho_{xz}}{\sin \psi_{xz}}) \sin \psi_{xz} - R_{xz}(H_1 + Z_\pi) \times \right. \\ \left. \times \cos \psi_{xz} - F_x(H_1 + Z_\pi - 0,5b_d) \right] \frac{1}{\left[ X_\pi + l_N - \mu(H_1 + Z_\pi - h - 0,5d_T) \right]}, \quad (1)$$

где  $N_z$  – вертикальная составляющая реакции  $N$  почвы на опорное колесо, Н;

$M$  – масса плуга, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$X_\pi, Z_\pi$  – соответственно, продольное и вертикальное расстояния от нижних присоединительных точек плуга до его мгновенного центра вращения  $\pi$  в продольно-вертикальной плоскости, м;

$l_G$  – расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до его центра тяжести, м;

$R_{xz}$  – равнодействующая сил, действующих на лемешно-отвальную поверхность корпусов плуга, Н;

$e$  – расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до носка лемеха первого корпуса, м;

$n_k$  – число корпусов, установленных на плуг, шт.;

$L$  – продольное расстояние между корпусами плуга, м;

$\rho_{xz}$  – расстояние от носка лемеха среднего (или условно среднего) корпуса до линии действия силы  $R_{xz}$ , м;

$\psi_{xz}$  – угол наклона силы  $R_{xz}$  к горизонту, град.;

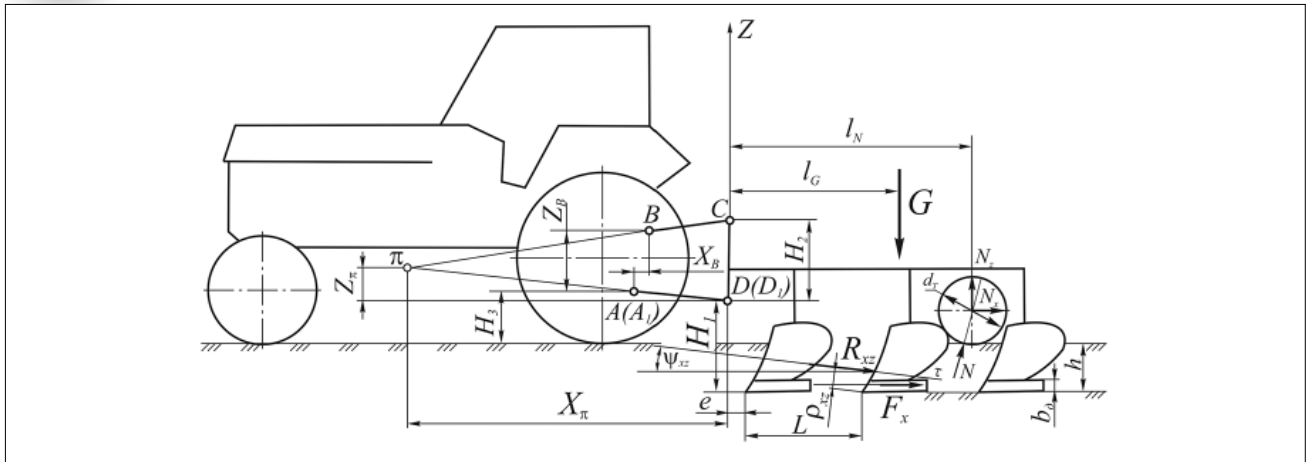


Рис. 1. Схема сил, действующих на плуг в процессе вспашки

Fig. 1. Diagram of forces acting on a plow in the plowing process

$H_1$  – расстояние по вертикали от опорной плоскости плуга до его нижних присоединительных точек, м;

$F_x$  – равнодействующая сил трения полевых досок о стенки борозд, кН;

$b_d$  – ширина полевой доски плуга, м;

$\mu$  – коэффициент сопротивления перекатыванию опорного колеса плуга;

$h$  – глубина вспашки (обработки), м;

$d_T$  – диаметр опорного колеса, м;

$l_N$  – расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до оси вращения его опорного колеса, м.

Для придания выражению (1) общего вида и удобства проводимых по нему расчетов, пользуясь методами аналитической геометрии, расстояние  $X_\pi$  и  $Z_\pi$  выразим через параметры механизма навески трактора и навесного устройства плуга, а  $M$ ,  $l_G$ ,  $R_{xz}$ ,  $F_x$  и  $l_N$  – через физико-механические свойства почвы и параметры плуга [1, 3]:

$$X_\pi = \frac{H_2 \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} \left[ \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B}; \quad (2)$$

$$Z_\pi = \frac{H_2 (H_3 + h - H_1) \left[ \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B}; \quad (3)$$

$$M = n_K m_K; \quad (4)$$

$$l_G = e + \frac{n_K - 1}{2} L; \quad (5)$$

$$l_N = e + (n_K - 1) L; \quad (6)$$

$$R_{xz} = \frac{R_x}{\cos \psi_{xz}} = \frac{n_K \eta k b_K h}{\cos \psi_{xz}}; \quad (7)$$

$$F_x = \frac{1}{6} R_x = \frac{1}{6} n_K \eta k b_K h, \quad (8)$$

где  $H_2$  – расстояние по вертикали между нижними и верхней присоединительными точками плуга, м;

$H_3$  – расстояние по вертикали от опорной плоскости трактора до точки крепления нижних тяг его механизма навески, м;

$l_6$  – длина нижних тяг механизма навески трактора, м;

$X_B, Z_B$  – соответственно расстояния по горизонтали и вертикали между шарнирами крепления нижних и



верхней тяг механизма навески трактора, м;

$l$  – поперечное расстояние между нижними присоединительными точками плуга, м;

$c$  – поперечное расстояние между шарнирами крепления нижних тяг механизма навески трактора, м;

$m_k$  – масса одного корпуса плуга, кг;

$R_x$  – продольная составляющая сил, действующих на лемешно-отвальную поверхность корпусов плуга, Н;

$\eta$  – коэффициент полезного действия плуга;

$\kappa$  – удельное сопротивление почвы при вспашке, Па;

$b_k$  – ширина захвата корпуса плуга, м.

С учетом выражений (2)-(8) уравнение (1) примет следующий вид:

$$Q_Z = \left\{ (n_k m_k g + n_k \eta \kappa b_k h t g \psi_{xz}) \times \frac{H_2 \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} - \frac{7}{6} n_k \eta \kappa b_k h \frac{H_2 (H_3 + h - H_1) \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} + n_k m_k g \left( e + \frac{n_k - 1}{2} L \right) + n_k \eta \kappa b_k h \left\{ \frac{1}{\cos \psi_{xz}} \left[ \left( e + \frac{n-1}{2} L + \frac{\rho_{xz}}{\sin \psi_{xz}} \right) \sin \psi_{xz} - H_1 \cos \psi_{xz} \right] - \frac{1}{6} (H_1 - 0,5 b_0) \right\} \right\} : \left\{ \frac{H_2 \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} + e + (n_k - 1) L + \mu \left\{ H_1 + \frac{H_2 (H_3 + h - H_1) \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} - h - 0,5 d_T \right\} \right\} \quad (9)$$

Так как в этом выражении значения  $H_3, X_B, Z_B, l_0, c$  заданы и известны как параметры трактора,  $H_2$  и  $l$  – стандартизированы,  $M, l_G, l_N, d_T, e, L$  – принимаются в основном из условий надежного и качественного выполнения плугом заданного технологического процесса при минимальных энергозатратах, то условие  $Q_Z = Q_{\text{опт}}$ , а следовательно заданная глубина и требуемая равномерность вспашки зависят в основном от расстояния  $H_1$ . Для определения его оптимального значения по выражению (9) построили графическую зависимость  $Q_Z = f(H_1)$  (рис. 2). Из нее по известному значению  $Q_{\text{опт}}$  вычислили оптимальное значение  $H_1$ .

Считаем, что для применяемых в сельскохозяйственном производстве Республики Узбекистан колесных тракторов класса 3-4 и агрегируемых с ними навесных 4-корпусных плугов с опорным колесом справедливы следующие численные значения параметров:  $H_3 = 0,6$  м;  $X_B = 0,3$  м;  $Z_B = 0,56$  м;  $l_0 = 0,95$  м;  $c = 0,62$  м;  $H_2 = 0,9$  м;  $l = 1,04$  м;  $n_k = 4$  шт.;  $m_k = 250$  кг;  $\eta = 0,7$ ;  $\kappa = 0,9 \cdot 10^5$  Па;  $b_k = 0,45$  м;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>,  $\rho_{xz} =$

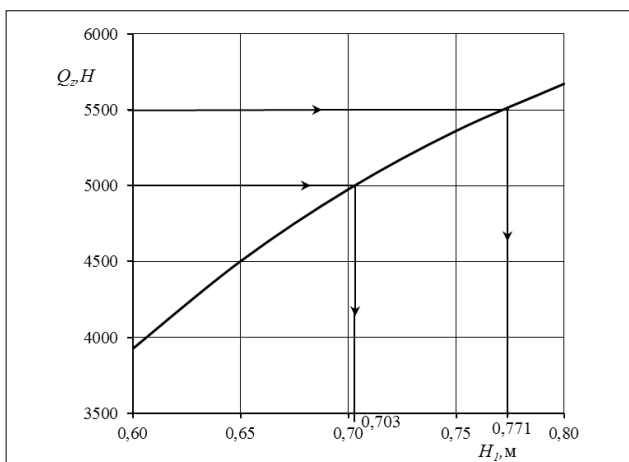


Рис. 2. Зависимость вертикальной силы давления опорного колеса плуга на почву  $Q_Z$  от расстояния по вертикали от опорной плоскости плуга до его нижних присоединительных точек  $H_1$   
 Fig. 2. Relationship between the vertical pressure force of a depth wheel on the soil  $Q_Z$  and the vertical distance from the supporting plane of a plow to its lower connecting points  $H_1$

0,15 м;  $\psi_{xz} = 12^\circ$ ;  $h = 0,30$  м;  $e = 0,45$  м;  $L = 1,0$  м;  $b_d = 0,2$  м;  $\mu = 0,2$ ;  $d_T = 0,5$  м. Подставляя значения  $Q_{\text{опт}}$  (5,0-5,5 кН), определим, что для обеспечения постоянной глубины вспашки 0,3 м вертикальное расстояние от опорных плоскостей до нижних присоединительных точек 4-корпусных плугов, агрегируемых с колесными тракторами класса 3-4, должно быть в пределах 0,703-0,771 м [4].

**Выводы.** Заданная глубина и требуемая равномерность обработки почвы при вспашке навесным плугом с опорным колесом зависят от вертикального расстояния между опорной плоскостью и нижними присоединительными точками. Установили, что у 4-корпусных плугов, агрегируемых с колесными тракторами класса 3-4, для обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности вспашки этот показатель должен находиться в пределах 0,703-0,771 м.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
2. Соколов Ф.А. Агронические основы комплексной механизации хлопководства. Ташкент: Фан. 1977. 224 с.
3. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос. 2005. 671 с.
4. Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения. М.: ВИМ. 2002. 212 с.
5. Бледных В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий. Челябинск: ЧГАА. 2010. 203 с.
6. Лурье А.Б., Любимов А.И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Л.: Машиностроение. 1981. 270 с.
7. Гячев Л.В. Влияние механических параметров почвообрабатывающих машин на устойчивость хода их рабочих органов // *Техника в сельском хозяйстве*. 1988. N3. С. 28-30.
8. Ахметов А.А. Исследование схемы механизма навески универсального предпосевного орудия ОПУ-4 // *Механизация хлопководства*. 1988. N6. С. 4-6.
9. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P., Buckmaster D.R. Engineering principles of agricultural machines. SA: ASABE. 2006. 559.
10. Тухтакузиев А., Гайбуллаев Б. Обоснование параметров навески плуга к овощеводческому трактору ТТЗ-100SP // *Техника в сельском хозяйстве*. 2014. N3. С. 15-16.
11. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. Т. 9. N5. С. 10-13.

### REFERENCES

1. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of soil-cultivating machines]. Moscow: Mashinostroenie. 1977. 328 (In Russian).
2. Sokolov F.A. Agronomicheskie osnovy kompleksnoy mekhanizatsii khlopkovodstva [Agronomic basics of complex mechanization of cotton growing]. Tashkent: Fan. 1977. 224 (In Russian).
3. Klenin N.I., Sakun V.A. Sel'skokhozyaystvennyye i meliorativnyye mashiny [Agricultural and land-improvement machines]. Moscow: Kolos. 2005. 671 (In Russian).
4. Burchenko P.N. Mekhaniko-tehnologicheskie osnovy pochvoobrabatyvayushchikh mashin novogo pokoleniya [Mechanical and technological basics of soil-cultivating machines of a new generation]. Moscow: VIM. 2002. 212 (In Russian).
5. Blednykh V.V. Ustroystvo, raschet i proektirovanie pochvoobrabatyvayushchikh orudiy [Construction, calculation, and design of tillage tools]. Chelyabinsk: ChGAA. 2010. 203 (In Russian).
6. Lur'ye A.B., Lyubimov A.I. Shirokozakhvatnye pochvoobrabatyvayushchie mashiny [Wide-coverage tillage machines]. Leningrad: Mashinostroenie. 1981. 270 (In Russian).
7. Gyachev L.V. Vliyaniye mekhanicheskikh parametrov pochvoobrabatyvayushchikh mashin na ustoychivost' khoda ikh rabochikh organov [Influence of mechanical parameters of soil-cultivating machines on the travel stability of their operating parts]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1988. N3. 28-30 (In Russian).
8. Akhmetov A.A. Issledovaniye skhemy mekhanizma naveski universal'nogo predposevnogo orudiya OPU-4 [Study of the mounting mechanism scheme of a universal pre-sowing tool OPU-4]. *Mekhanizatsiya khlopkovodstva*. 1988. N6. 4-6 (In Russian).
9. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P., Buckmaster D.R. Engineering principles of agricultural machines. SA: ASABE. 2006. 559 (In English).
10. Tukhtakuziev A., Gaybullaev B. Obosnovaniye parametrov naveski pluga k ovoshchevodcheskomu traktoru TTZ-100SP [Determination of the plow mounting scheme on the vegetable-cultivation tractor TTZ-100SP]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2014. N3. 15-16 (In Russian).
11. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Energeticheskaya i tekhnologicheskaya otsenka pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa [Energy and technological assessment of the tillage working body]. *Sel'skokozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. V. 9. N5. 10-13.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.03.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 21.03.2019

Статья принята к публикации 17.06.2019  
The paper was accepted  
for publication on 17.06.2019