Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

С. С. Герштейн, А. А. Логунов, М. А. Мествиришвили, Интеграл движения в общей теории относительности и эффект накопления избыточной внутренней энергии тела при гравитационном сжатии, *ТМФ*, 2015, том 183, номер 1, 152–160

DOI: <https://doi.org/10.4213/tmf8813>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением <http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 34.229.108.108

26 апреля 2023 г., 16:21:59

© 2015 г.

С. С. Герштейн*, А. А. Логунов,
М. А. Мествиришвили*

ИНТЕГРАЛ ДВИЖЕНИЯ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТ НАКОПЛЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ТЕЛА ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ СЖАТИИ

Показано, что при гравитационном сжатии сферического тела его внутренняя энергия неограниченно увеличивается при приближении радиуса тела к величине GM/c^2 , что приводит к отрицательному дефекту массы и из-за неустойчивости сферического гравитационного сжатия неизбежно вызовет взрывной процесс с выбросом части массы тела. Этот вывод точно следует из общей теории относительности в гармонических координатах.

Ключевые слова: радиус Шварцшильда, коллапс, псевдотензор энергии-импульса, принцип причинности Гильберта, гармонические координаты.

DOI: 10.4213/tmf8813

Уравнение Гильберта–Эйнштейна в произвольных координатах можно записать, следуя монографии [1], в форме

$$(-g)(T^{ik} + t_g^{ik}) = \frac{\partial h^{ikl}}{\partial x^l}, \quad (1)$$

где

$$h^{ikl} = \frac{\partial}{\partial x^m} \lambda^{iklm}, \quad \lambda^{iklm} = \frac{1}{16\pi} (-g)(g^{ik} g^{lm} - g^{il} g^{km}). \quad (2)$$

Мы работаем в системе единиц $G = c = 1$. Из (2) находим

$$h^{ikl} = -h^{ilk}. \quad (3)$$

Из уравнений (1) и (3) следует, что в произвольной системе координат имеет место закон сохранения

$$\frac{\partial}{\partial x^k} (-g)(T^{ik} + t_g^{ik}) = 0, \quad (4)$$

*Институт физики высоких энергий, Протвино, Московская обл., Россия.
E-mail: Semen.Gershtein@ihep.ru

где t_g^{ik} – псевдотензор Ландау–Лифшица в произвольной системе координат [1]:

$$(-g)t_g^{ik} = \frac{1}{16\pi} \left\{ \partial_l \tilde{g}^{ik} \partial_m \tilde{g}^{lm} - \partial_l \tilde{g}^{il} \partial_m \tilde{g}^{km} + \frac{1}{2} \tilde{g}^{ik} \tilde{g}_{lm} \partial_p \tilde{g}^{ln} \partial_n \tilde{g}^{pm} - \right. \\ \left. - (\tilde{g}^{il} \tilde{g}_{mn} \partial_p \tilde{g}^{kn} \partial_l \tilde{g}^{mp} + \tilde{g}^{kl} \tilde{g}_{mn} \partial_p \tilde{g}^{in} \partial_l \tilde{g}^{mp}) + \right. \\ \left. + \tilde{g}_{lm} \tilde{g}^{np} \partial_n \tilde{g}^{il} \partial_p \tilde{g}^{km} + \frac{1}{8} (2\tilde{g}^{il} \tilde{g}^{km} - \tilde{g}^{ik} \tilde{g}^{lm}) (2\tilde{g}_{np} \tilde{g}_{qr} - \tilde{g}_{pq} \tilde{g}_{nr}) \partial_l \tilde{g}^{nr} \partial_m \tilde{g}^{pq} \right\}, \quad (5)$$

где $\tilde{g}^{mn} = \sqrt{-g} g^{mn}$, $m, n = 0, 1, 2, 3$.

Согласно монографии Фока [2] в общей теории относительности (ОТО) для изолированной системы масс существуют привилегированные гармонические системы координат, в которых условия гармоничности, уравнение состояния вещества и уравнения Гильберта–Эйнштейна образуют полную систему дифференциальных уравнений. При соответствующих физических условиях эта система уравнений позволяет однозначно определить такие физические величины, как $g^{mn}(x)$, давление p , плотность ρ и скорость движения вещества $\vec{v}$. Фок специально отмечал: “...замечания о привилегированном характере гармонической системы координат ни в коем случае не должны быть понимаемы в смысле какого-либо запрещения пользоваться другими координатными системами”.

Мы будем далее использовать в расчетах гармонические координаты. В силу уравнений (1) псевдотензор Ландау–Лифшица вне тела совпадает с псевдотензором Фока. Согласно (4) имеет место сохранение интегралов движения [1]

$$P^i = \int (-g)(T^{ik} + t_g^{ik}) dS_k. \quad (6)$$

О физической сущности этих величин в [1] говорится: “При отсутствии гравитационного поля в галилеевых координатах $t_g^{ik} = 0$, и написанный интеграл переходит в $\int T^{ik} dS_k$, т. е. в 4-импульс материи. Поэтому величины (96,11) (*величины (6) в нашей нумерации – Авт.*) должны быть отождествлены с полным 4-импульсом материи вместе с гравитационным полем”. Интегрируя по гиперповерхности $x^0 = \text{const}$, получим интеграл по трехмерному объему

$$P^i = \int (-g)(T^{i0} + t_g^{i0}) dV. \quad (7)$$

В наших доказательствах используется принцип причинности Гильберта, а в литературе по ОТО он иногда даже не упоминается. Ниже мы приводим формулировку принципа причинности, точно следуя Гильберту [3]: “До сих пор мы считали эквивалентными все системы координат x_s , которые получаются из какой-нибудь системы под действием произвольного преобразования. Этот произвол следует ограничить, если мы хотим встать на ту точку зрения, согласно которой две находящиеся на одной и той же временной линии мировые точки находятся в причинно-следственном отношении и поэтому не могут перейти под действием преобразования в синхронные мировые точки. Выделим x_0 в качестве координаты **собственного времени** и сформулируем следующее определение. **Собственной**

системой пространственно-временных координат называется такая система, в которой помимо $g < 0$ всегда выполняются следующие четыре неравенства:

$$g_{11} < 0, \quad \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{vmatrix} > 0, \quad \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{vmatrix} < 0, \quad g_{00} > 0. \quad (8)$$

Преобразование, которое переводит такую систему пространственно-временных координат в другую собственную систему пространственно-временных координат, называется **собственным** преобразованием пространственно-временных координат. Далее он отмечает: “Так как при любом преобразовании координат временная линия остается временной линией, две мировые точки любой временной линии при собственном преобразовании пространственно-временных координат никогда не переходят в точки с одним и тем же значением временной координаты, т.е. не могут стать синхронными”. И далее он пишет: “Движение материальной точки в гравитационном поле происходит по геодезической, которая есть временная линия. Движение света в гравитационном поле происходит по геодезической нулевой линии.

Так как мировая линия, по которой происходит движение материальной точки, должна быть временной линией, материальную точку, как нетрудно видеть, с помощью **собственных** преобразований пространства-времени всегда можно привести в состояние покоя, т.е. всегда существует **собственная** система пространственно-временных координат, относительно которой материальная точка покоится”.

Условия Гильберта (8) на метрические коэффициенты обязательны. Гильберт это специально подчеркивал: “Итак, мы видим, что лежащие в основе принципа причинности фундаментальные понятия причины и следствия и в новой физике не приводят к каким-либо противоречиям, если к нашим основным уравнениям мы присовокупим неравенства (31) (неравенства (8) в нашей нумерации – Авт.), то есть ограничимся рассмотрением **собственных** пространственно-временных координат”.

Условия причинности Гильберта обеспечивают неизменность порядка в сигнатуре (+ – –) при собственных координатных преобразованиях. Из неравенств (8) очевидно, что условия причинности Гильберта не налагают никаких ограничений на метрические коэффициенты $g_{0\alpha}$.

Принцип причинности Гильберта имеет фундаментальное значение. Это означает, что в ОТО физический смысл имеют только такие решения уравнений Гильберта–Эйнштейна, которые удовлетворяют принципу причинности Гильберта. К сожалению, в книги по ОТО глубоко проникли решения уравнений Гильберта–Эйнштейна, которые не удовлетворяют принципу причинности.

В статье [4] мы установили, что уравнения ОТО и принцип причинности Гильберта исключают возможность коллапса, однако, как изменяется при этом радиус тела $r_0(t)$ при гравитационном сжатии, не было ясно. В настоящей статье мы отвечаем на этот вопрос путем вычисления интеграла движения в гармонических координатах, которые, как показал академик Фок, являются привилегированными.

В ОТО для нестатического сферически-симметричного тела интервал вне тела является статическим и в гармонических координатах имеет вид [2]

$$ds^2 = \frac{r-M}{r+M} dt^2 - \frac{r+M}{r-M} dr^2 - (r+M)^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2). \quad (9)$$

Переходя от сферических координат к прямоугольным, которые окажутся гармоническими, получим (здесь $\alpha, \beta = 1, 2, 3$)

$$g_{00} = \frac{r-M}{r+M}, \quad g_{0\alpha} = 0, \quad g_{\alpha\beta} = -\left(1 + \frac{M}{r}\right)^2 \delta_{\alpha\beta} - \frac{r+M}{r-M} \frac{M^2}{r^4} x_\alpha x_\beta.$$

Используя эти выражения, находим [2]

$$\sqrt{-g} g^{\alpha\beta} = \tilde{g}^{\alpha\beta} = -\delta_{\alpha\beta} + M^2 \frac{x_\alpha x_\beta}{r^4}, \quad \tilde{g}^{00} = \frac{(r+M)^3}{r^2(r-M)}, \quad \tilde{g}^{0\alpha} = 0. \quad (10)$$

Эти формулы позволяют проверить, что координаты x_α действительно являются гармоническими [2]:

$$\frac{\partial \tilde{g}^{\alpha\beta}}{\partial x^\beta} = 0. \quad (11)$$

Следуя работе [5], представим интеграл движения (7) в форме

$$P^0 = \int_{V_0(t)} (-g)(T^{00} + t_g^{00}) dV + \int_{V_1(t)} (-g)t_g^{00} dV, \quad (12)$$

где $V_0(t)$ – объем тела, $V_1(t)$ – объем (бесконечный) вне тела. Вычисление интеграла по объему $V_1(t)$ в гармонических координатах x_α дает

$$\int_{V_1(t)} (-g)t_g^{00} dV = -M^2 \left(\frac{4}{r_0(t) - M} - \frac{1}{2r_0(t)} + \frac{M}{r_0^2(t)} + \frac{M^2}{2r_0^3(t)} \right). \quad (13)$$

Поскольку интеграл движения (7) сводится к поверхностному интегралу, он легко вычисляется [1],

$$P^0 = M, \quad (14)$$

и определяет “... полную массу системы, включая массу, принадлежащую полю, заключенному внутри данного объема” [2].

Подставляя соотношения (13) и (14) в (12), получим точное равенство

$$\int_{V_0(t)} (-g)(T^{00} + t_g^{00}) dV = M + M^2 \left[\frac{4}{r_0(t) - M} - \frac{1}{2r_0(t)} + \frac{M}{r_0^2(t)} + \frac{M^2}{2r_0^3(t)} \right], \quad (15)$$

ранее найденное в релятивистской теории гравитации (РТГ) благодаря наличию в ней *тензора* энергии-импульса гравитационного поля [5]. Поскольку физическое решение, полученное путем сшивания нестатического сферически-симметричного решения внутри тела с внешним решением (9), удовлетворяет принципу причинности Гильберта, объем тела при гравитационном сжатии всегда конечен, а следовательно, конечна и энергия тела [6].

Ограниченность энергии тела при гравитационном сжатии на основании выражения (15) исключает возможность коллапса и приводит к выводу, что в макромире величина GM/c^2 приобретает фундаментальное значение как минимальный, недостижимый радиус тела массы M :

$$r_0(t) > M. \quad (16)$$

Отсюда следует, что имеющее массу тело не может быть точечным. Вычисляя величину $t_g^{ik} g_{ik} = t_g$ в ОТО в гармонических координатах, получим [5]

$$32\pi t_g = -\frac{r_g^2(24r^2 - 16rr_g + 5r_g^2)}{4r^2(r - M)(r + M)^3}, \quad r_g = 2M. \quad (17)$$

Для сшивания внешнего решения с внутренним необходима ограниченность величины t_g , т.е. необходимо, чтобы было выполнено неравенство

$$r > M, \quad (18)$$

что находится в согласии с условием (16).

Прежде чем обсуждать дальнейшие выводы из основного соотношения (15), остановимся на анализе ранее полученных, но почему-то детально не изученных формул и решений, которые, как мы увидим, определенно указывали на невозможность коллапса, а следовательно, и на невозможность существования черных дыр.

Ограничение (16) получено из анализа интеграла движения (15). Однако и ранее были точные указания, что такое ограничение должно иметь место. Для статического гравитационного поля из анализа геодезического движения пробного тела следовала точная формула [1], [7]

$$\sqrt{g_{00}} = \text{const} \sqrt{1 - v^2},$$

где v – физическая скорость пробного тела. Применяя эту формулу к гармоническому решению (9), мы получили бы неравенство (16). Конечно, такое заключение из характера движения пробного тела еще не было доказательством. Необходимо было задуматься и точно определить сам источник гравитационного поля. Прежде всего надо было внешнее решение Шварцшильда сшить на поверхности нестатического сферического тела с внутренним решением [6]. Именно так, как известно, должно строиться физическое решение в математической физике. Такой путь изучения исключил бы возможность появления каких-либо физических нелепостей. Однако вместо этого пошли по пути устранения шварцшильдовской особенности с помощью сингулярных координатных преобразований. Так началось аналитическое продолжение вакуумного шварцшильдовского решения, и возникла концепция черных дыр в нарушение закона сохранения барионного числа, закона сохранения электрического заряда и принципа причинности Гильберта. Но вакуумное решение в принципе не имеет никакого отношения к динамическому процессу гравитационного сжатия массивного тела.

Из неравенства (16), в частности, следует, что пробное тело, радиально движущееся по геодезической, достигает поверхности тела за конечное время и с физической скоростью $v < c$. Неравенство (16) доказывает правильность физического

вывода Эйнштейна [8], сделанного им в 1939 г.: “Основным результатом проведенного исследования является четкое понимание того, что в реальном мире отсутствуют «шварцшильдовские сингулярности». Хотя приведенная теория рассматривает только такие скопления, в которых частицы движутся по круговым траекториям, вряд ли следует сомневаться в том, что рассмотрение и самого общего случая приведет к тем же результатам. Шварцшильдовская сингулярность отсутствует, так как вещество нельзя концентрировать произвольным образом; в противном случае частицы, образующие скопление, достигнут скорости света”. Это заключение статьи [8] Эйнштейна исключало возможность существования черных дыр. Относительно этого физического вывода Эйнштейна Прескилл и Торн в 1995 г. в предисловии к книге [9] писали: “В некотором смысле то, что мы называем теперь «черной дырой», уже было известно в 1916 г., когда К. Шварцшильд нашел свое решение полевого уравнения Эйнштейна. Но в течение десятилетий большая часть физиков упорно сопротивлялась таким «возмутительным» приложениям решения Шварцшильда. (Эта часть физиков включала в себя и самого Эйнштейна, который написал в 1939 г. вызывающую сожаление статью, в которой доказывал, что «черные дыры» не могут существовать.)”.

Но мы выше на основании соотношения (15) точно установили, что упрек Прескилла и Торна в адрес Эйнштейна неправомерен. Вывод Эйнштейна правилен. Существование черных дыр не следует из ОТО и противоречит закону сохранения барионного числа, закону сохранения электрического заряда и принципу причинности Гильберта.

При гравитационном сжатии тела барионное число сохраняется и определяется выражением [10]

$$N = \int n_0 \left[\frac{V(t, r)}{1 - v^2} \right]^{1/2} r^2 dr \sin \theta d\theta d\phi. \quad (19)$$

Здесь v – физическая скорость вещества, n_0 – плотность барионного числа в сопутствующей системе, $V(t, r)$ – метрический коэффициент при радиальной переменной.

Из формулы (19) очевидно, что при гравитационном сжатии из-за положительности N радиальная переменная не может в принципе стать временной переменной. Этот вывод следует также из закона сохранения электрического заряда. Отсюда следует, что решение уравнений Гильберта–Эйнштейна, в котором радиальная переменная при гравитационном сжатии становится временной, и наоборот, не имеет физического смысла. Это решение несовместимо также с принципом причинности Гильберта. К сожалению, такие решения глубоко проникли даже в учебники.

В качестве доказательства существования черных дыр особенно часто используют решение Толмена [1] для пылевого шара. Проанализируем ситуацию с этим решением. Интервал для решения Толмена имеет вид [1]

$$ds^2 = d\tau^2 - \frac{r'^2}{1 + f(R)} dR^2 - r^2(\tau, R)(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (20)$$

$$\dot{r}^2 = f(R) + \frac{F(R)}{r}, \quad (21)$$

где $f(R)$ и $F(R)$ – произвольные функции, удовлетворяющие условиям $(1 + f(R)) > 0$, $F(R) > 0$ при $R > 0$. Вычисляя из $dr = \dot{r} d\tau + r' dR$ величину $(r')^2 dR^2$ и подставляя

в (20), получим после учета (21) интервал в следующей форме:

$$ds^2 = \frac{1}{1+f(R)} \left(1 - \frac{F(R)}{r}\right) d\tau^2 - \frac{1}{1+f(R)} dr^2 + \frac{2\dot{r} dr d\tau}{1+f(R)} - r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2). \quad (22)$$

В интервале (22) метрический коэффициент g_{00} равен

$$g_{00} = \frac{1}{1+f(R)} \left(1 - \frac{F(R)}{r}\right). \quad (23)$$

В силу принципа причинности Гильберта из положительности g_{00} следует неравенство

$$r > F(R). \quad (24)$$

Таким образом, интервал, представленный в возможных формах (20) и (22), удовлетворяет принципу причинности Гильберта только в физической области, определяющейся неравенством (24). Последнее находится в согласии с неравенством (16). Область

$$r \leq F(R) \quad (25)$$

является нефизической областью. Все это подтверждает высказывание Дирака [11]: “Математики могут проникать за границу шварцшильдова радиуса и попадать внутрь, но я настаиваю на том, что эта внутренняя область не является физическим пространством”.

Если рассмотреть интервал (20) во всей области изменения радиальной переменной, включая и область $r \leq F(R)$, то, например, для интервала (20) с метрическими коэффициентами

$$e^{\lambda(\tau, R)} = (r')^2, \quad r(\tau, R) = \left(\frac{9F(R)}{4}\right)^{1/3} (\tau_0 - \tau)^{2/3} \quad (26)$$

пробная частица, имеющая произвольную начальную скорость и движущаяся по геодезической

$$\frac{du^0}{ds} + \Gamma_{11}^0 (u^1)^2 = 0, \quad \Gamma_{11}^0 = (\dot{r})' r', \quad u^0 = \frac{d\tau}{ds}, \quad u^1 = \frac{dR}{ds}, \quad (27)$$

будет иметь физическую скорость

$$v^2 = (r')^2 \left(\frac{dR}{d\tau}\right)^2 = \frac{\eta^2}{\eta^2 + (\tau_0 - \tau)^{4/3}}, \quad (28)$$

где η^2 – константа интегрирования.

Отсюда очевидно, что физическая скорость пробной частицы, движущейся по геодезической, в интервале Толмена (26) за ограниченное время τ_0 приобретает скорость, равную скорости света, что физически недопустимо. Последнее свидетельствует о нефизичности решения Толмена вида (20) в области $r \leq F(R)$. На основании этого *нефизического* решения Толмена авторы статьи [12] и пришли к выводу о безграничном гравитационном сжатии, т. е. к коллапсу.

Итак, мы видим, что многие ранее полученные конкретные результаты указывают на недопустимость коллапса. Вернемся теперь к точному соотношению (15).

Из (15) видно, что после того как термоядерные и тепловые источники энергии звезды исчерпаны, звезда большой массы ($M > 3M_{\odot}$), испытывающая гравитационное сжатие, при приближении радиуса звезды к GM/c^2 будет неограниченно накапливать избыточную положительную энергию, что приведет к отрицательному дефекту массы, который из-за неустойчивости процесса сферического гравитационного сжатия неизбежно вызовет взрывной процесс с выбросом части энергии. Так что образуется не черная дыра, а звезда при гравитационном сжатии переходит в состояние, когда она взрывным способом выбрасывает часть своей массы. Именно такие объекты, а не черные дыры могут существовать в природе. Они проявляются по взрывным выбросам энергии и имеют материальную поверхность. Такой процесс имеет общий характер, и при его многократном повторении, возможно, могут остаться только объекты в устойчивом состоянии.

Ранее отмечалось противоположное: “Модели с отрицательным дефектом массы заведомо не могут возникнуть путем конденсации диффузного вещества” и далее: “Образование тела с положительной энергией в ходе эволюции звезды представляется маловероятным и искусственным” [10]. Но, как мы выше установили на основании соотношения (15), образование тела с положительной энергией в ходе эволюции представляется не маловероятным и искусственным, а наоборот, после истощения термоядерной энергии естественным процессом эволюции звезды является накопление в ней избыточной положительной внутренней энергии. Это находится в соответствии с эмпирической “концепцией В. А. Амбарцумяна (1960 г.), согласно которой эволюция идет от сверхплотного состояния к диффузному; состояния с положительной энергией способны взрываться и переходить из плотного состояния в диффузное” [10]. Может быть, такое и происходит в природе в квазарах и активных центрах галактик. Все это требует специального расчета.

К аналогичному выводу о невозможности гравитационного коллапса пришли авторы статей [13] и [14].

Благодарности. В заключение авторы выражают благодарность В. А. Петрову, А. П. Самохину, Н. Е. Тюрину за внимание и ценные обсуждения.

Список литературы

- [1] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, *Теоретическая физика*, т. II: *Теория поля*, Наука, М., 2001.
- [2] В. А. Фок, *Теория пространства, времени и тяготения*, Физматлит, М., 1961.
- [3] Д. Гильберт, “Основания физики (второе сообщение) (1924)”, Перевод Ю. А. Данилова, *Избранные труды*, т. II: *Анализ. Физика. Проблемы. Personalia*, Факториал, М., 1998, 379–398.
- [4] А. А. Логунов, М. А. Мествиришвили, *ТМФ*, **170**:3 (2012), 489–496.
- [5] А. А. Логунов, М. А. Мествиришвили, *ТМФ*, **174**:2 (2013), 292–302.
- [6] Дж. Л. Синг, *Общая теория относительности*, ИЛ, М., 1963.
- [7] А. А. Логунов, *УФН*, **165**:2 (1995), 187–203; *Релятивистская теория гравитации*, Наука, М., 2012.
- [8] А. Эйнштейн, *Собрание научных трудов*, т. II: *Работы по теории относительности 1921–1955 гг.*, Наука, М., 1966.

- [9] Р. Ф. Фейнман, Ф. Б. Мориниго, У. Вагнер, *Фейнмановские лекции по гравитации*, Янус-К, М., 2000.
- [10] Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, *Релятивистская астрофизика*, Наука, М., 1967.
- [11] P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc. Ser. A*, **270**:1342 (1962), 354–356.
- [12] Ю. Оппенгеймер, Г. Снайдер, “О безграничном гравитационном сжатии”, *Альберт Эйнштейн и теория гравитации*, Сб. статей, ред. Е. Куранский, Мир, М., 1979, 353–361; J. R. Oppenheimer, H. Snyder, *Phys. Rev.*, **56**:5 (1939), 455–459.
- [13] T. W. Marshall, *Fields tell matter how to move*, [arXiv:1103.6168](#); *Astrophys. Space Sci.*, **342**:2 (2012), 329–332.
- [14] A. Mitra, *Astrophys. Space Sci.*, **332**:1 (2011), 43–48.

Поступила в редакцию 6.11.2014