

DOI 10.58351/2949-2041.2026.33.4.025

**Пирязев Игорь Олегович,**  
Независимый исследователь  
Piryazev Igor Olegovich

**МОДЕЛЬ ОТВ2 (ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ТЕМП ВРЕМЕНИ 2):  
СЛАБОПОЛЬНЫЙ ПРЕДЕЛ И ГРАВИТАЦИОННЫЕ ТЕСТЫ  
OTV2 MODEL (RELATIVE TEMPO OF TIME 2):  
WEAK-FIELD LIMIT AND GRAVITATIONAL TESTS**

**Аннотация.** В работе рассматривается модель ОТВ2, в которой фундаментальной величиной является поле темпа физических процессов  $\Phi(x)$ , определяющее локальную скорость протекания всех элементарных процессов.

Целью работы является вывод слабопольного предела модели ОТВ2 и проверка её согласия с классическими гравитационными тестами.

**Abstract.** This paper considers the OTV2 model, in which the fundamental quantity is the tempo field of physical processes  $\Phi(x)$ , determining the local rate of all elementary processes.

The aim of the work is to derive the weak-field limit of the OTV2 model and to test its consistency with classical gravitational tests.

**Ключевые слова:** ОТВ2, поле темпа процессов, гравитация как градиент темпа, ньютоновская гравитация, гравитационное смещение частоты, отклонение света.

**Keywords:** OTV2, tempo field of physical processes, gravity as a gradient of tempo, Newtonian gravity, gravitational frequency shift, light deflection.

## 1. Введение

В общей теории относительности гравитация описывается как геометрическое свойство пространства-времени [1]. Масса и энергия искривляют метрику, а движение тел определяется геодезическими линиями в этом искривлённом пространстве. Такая интерпретация успешно описывает широкий круг явлений, однако она не является единственно возможной с точки зрения физического смысла наблюдаемых эффектов.

В модели ОТВ2 предлагается альтернативный подход, в котором первичной величиной является не геометрия, а темп физических процессов. Вводится поле  $\Phi(x)$ , определяющее локальную частоту всех физических процессов. В этом подходе время не задаётся заранее, а возникает как производная величина, связанная с темпом процессов. Таким образом, различия в ходе времени интерпретируются как различия в локальной частоте физических процессов.

Целью данной работы является вывод слабопольного предела модели ОТВ2 и проверка её согласия с классическими экспериментальными тестами гравитации. В частности, рассматриваются следующие эффекты:

- ньютоновский закон гравитации,
- гравитационное смещение частоты,
- отклонение света в гравитационном поле,
- задержка Шапиро.

В работе будет показано (схема приведена на рисунке 1), что все эти эффекты естественным образом воспроизводятся в рамках модели ОТВ2. При этом гравитация интерпретируется как градиент поля темпа  $\Phi$ , а геометрическое описание возникает как эффективный язык для описания наблюдаемых явлений.



## ОТВ2: СЛАБОПОЛЬНЫЙ ПРЕДЕЛ И ГРАВИТАЦИОННЫЕ ТЕСТЫ

Гравитация как градиент темпа физических процессов

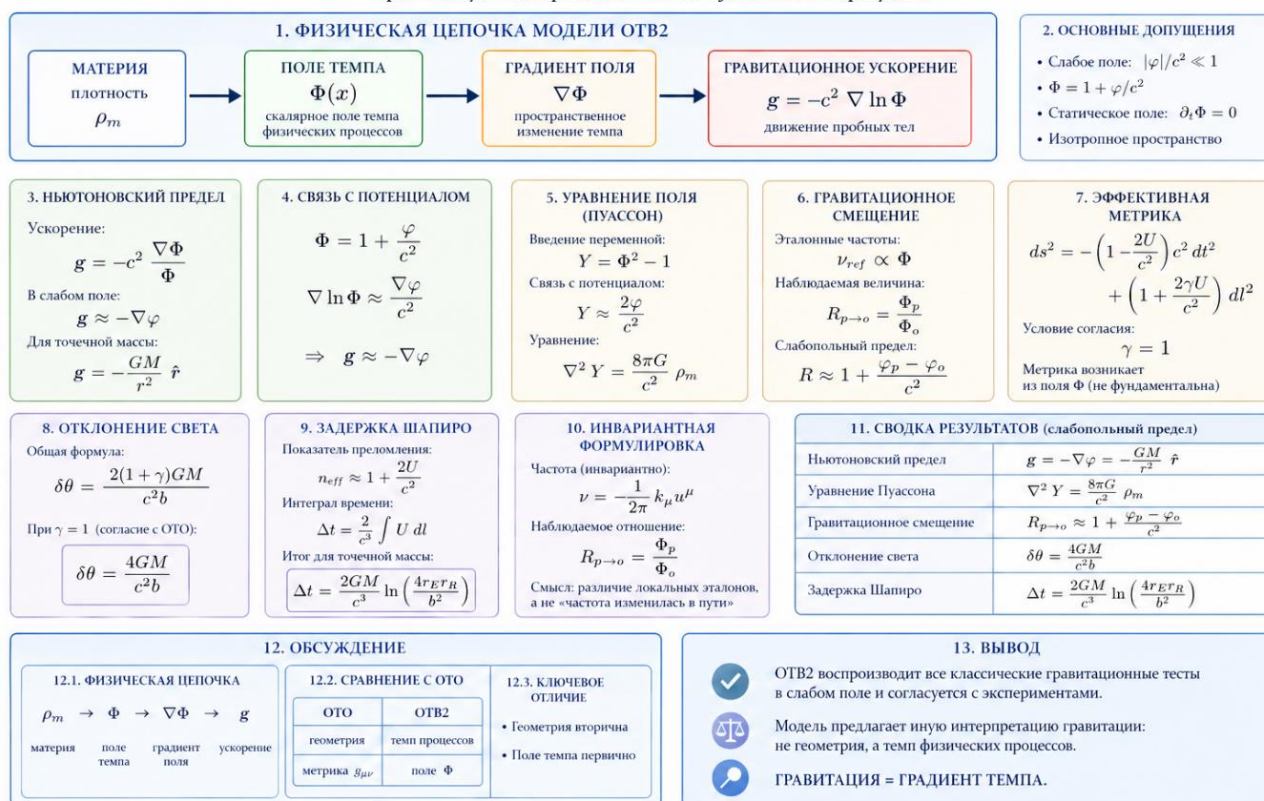


Рис.1. ОТВ2 слабопольный предел и гравитационные тесты.

## 2. Основные определения ОТВ2

### 2.1. Поле темпа

В модели ОТВ2 вводится скалярное поле темпа физических процессов:

$$\Phi(x)$$

где  $x$  обозначает точку пространства-времени.

Поле  $\Phi(x)$  задаёт локальный темп протекания всех физических процессов – от микроскопических (атомные переходы) до макроскопических. Оно является фундаментальной величиной модели и определяет локальную «частотную шкалу» физики.

### 2.2. Связь времени

Связь между координатным временем  $t$  и собственным временем физического процесса  $\tau$  задаётся соотношением [2]:

$$d\tau = \frac{dt}{\Phi(x)}$$

где:

$d\tau$  – собственная длительность элементарного физического процесса,

$dt$  – координатное время,

$\Phi(x)$  – локальное значение поля темпа.

Это соотношение означает, что наблюдаемое течение времени определяется не геометрией, а темпом физических процессов в данной точке.

### 2.3. Физический смысл

Поле  $\Phi$  задаёт относительную скорость протекания процессов:

при  $\Phi > 1$  – процессы протекают быстрее (за фиксированное  $dt$  происходит больше элементарных событий),



при  $\Phi < 1$  – процессы протекают медленнее (вблизи массы темп замедляется),  
при  $\Phi = 1$  – выбранная область используется как локальная нормировка (фон).

Таким образом, различия во «времени» интерпретируются как различия в темпе физических процессов, а не как свойство геометрии пространства-времени.

### 3. Связь с потенциалом

#### 3.1. Ввод потенциала

В слабом гравитационном поле вводится положительная глубина ньютоновского потенциала [3]:

$$U(r) = \frac{GM}{r}$$

где:

$G$  – гравитационная постоянная,

$M$  – масса источника гравитации,

$r$  – расстояние до центра массы.

Величина  $U(r)$  характеризует «глубину» гравитационного поля и используется как малый параметр слабопольного разложения:

$$\frac{U}{c^2} \ll 1.$$

#### 3.2. Нормировка

В модели ОТВ2 поле темпа связывается с потенциалом следующим образом:

$$\Phi = 1 - \frac{U}{c^2}$$

Такая нормировка выбирается так, чтобы:

при удалении от источника  $r \rightarrow \infty$ ,  $U \rightarrow 0$ , и

$$\Phi \rightarrow 1,$$

что соответствует фоновому состоянию;

вблизи массы  $U > 0$ , и

$$\Phi < 1,$$

что соответствует замедлению темпа процессов.

Таким образом, масса создаёт «провал» поля темпа.

#### 3.3. Через стандартный потенциал

В стандартной записи ньютоновский потенциал вводится как:

$$\varphi = -U$$

где  $\varphi$  – отрицательный потенциал, принятый в классической гравитации.

Тогда выражение для поля темпа принимает вид:

$$\Phi = 1 + \frac{\varphi}{c^2}$$

Эта форма удобна тем, что напрямую связывает ОТВ2 с традиционной формулировкой гравитационного потенциала и позволяет легко переходить к стандартным результатам в слабопольном пределе.

### 4. Ускорение (ньютоновский предел)

#### 4.1. Основная формула

В модели ОТВ2 гравитационное ускорение определяется через градиент поля темпа:

$$g = -c^2 \nabla \ln \Phi$$

где:

$g$  – гравитационное ускорение,

$c$  – скорость света,

$\nabla$  – оператор градиента,

$\Phi$  – поле темпа процессов.



#### 4.2. Линеаризация

В слабом поле используется выражение:

$$\Phi = 1 - \frac{U}{c^2}$$

Тогда:

$$\ln \Phi = \ln \left( 1 - \frac{U}{c^2} \right)$$

При условии  $U/c^2 \ll 1$  используется разложение [4]:

$$\ln(1 - x) \approx -x$$

что даёт:

$$\ln \Phi \approx -\frac{U}{c^2}$$

#### 4.3. Получение закона Ньютона

Подставляя это выражение в формулу ускорения:

$$g = -c^2 \nabla \left( -\frac{U}{c^2} \right)$$

получаем:

$$g = \nabla U$$

Для потенциала точечной массы:

$$U = \frac{GM}{r}$$

имеем:

$$\nabla U = -\frac{GM}{r^2} \hat{r}$$

где  $\hat{r}$  – единичный радиальный вектор.

Следовательно:

$$g = -\frac{GM}{r^2} \hat{r}$$

что совпадает с ньютоновским законом гравитационного ускорения [4].

### 5. Уравнение поля (Пуассон)

#### 5.1. Введение переменной

Для удобства анализа вводится вспомогательная величина:

$$Y = \Phi^2 - 1$$

где  $\Phi$  – поле темпа процессов.

Эта переменная позволяет напрямую связать поле темпа с ньютоновским потенциалом в линейном приближении.

#### 5.2. Связь с потенциалом

В слабом поле:

$$\Phi = 1 + \frac{\varphi}{c^2}$$

Тогда:

$$\Phi^2 = \left( 1 + \frac{\varphi}{c^2} \right)^2 \approx 1 + \frac{2\varphi}{c^2}$$

(квадратичные члены порядка  $\varphi^2/c^4$  отбрасываются).

Следовательно:

$$Y = \Phi^2 - 1 \approx \frac{2\varphi}{c^2}$$

#### 5.3. Уравнение

Из стандартного уравнения Пуассона [5]:



$$\nabla^2 \varphi = 4\pi G \rho_m$$

где  $\rho_m$  – плотность материи,  
получаем:

$$\nabla^2 Y = \frac{2}{c^2} \nabla^2 \varphi$$

Подставляя:

$$\nabla^2 Y = \frac{2}{c^2} \cdot 4\pi G \rho_m$$
$$\nabla^2 Y = \frac{8\pi G}{c^2} \rho_m$$

Таким образом, плотность материи выступает источником поля темпа через величину  $Y$ , а уравнение принимает форму, аналогичную уравнению Пуассона [4].

## 6. Гравитационное смещение

### 6.1. Эталонные частоты

В модели ОТВ2 локальные эталонные частоты масштабируются полем темпа:

$$\nu_{\text{ref}} \propto \Phi$$

где  $\nu_{\text{ref}}$  – частота локального эталона (например, атомного перехода), а  $\Phi$  – значение поля темпа в данной точке.

Это означает, что все физические процессы, включая излучение и измерение частоты, масштабируются одинаково через  $\Phi$ .

### 6.2. Наблюдаемая величина

Рассмотрим излучение из точки  $p$  (источник) и наблюдение в точке  $o$  (наблюдатель). Наблюдаемое отношение частот определяется как отношение частоты пришедшего сигнала к локальному эталону наблюдателя:

$$R_{p \rightarrow o} = \frac{\nu_{\gamma(p \rightarrow o), o}}{\nu_{\text{ref}, o}}$$

В рамках ОТВ2 это отношение выражается через поле темпа:

$$R_{p \rightarrow o} = \frac{\Phi_o}{\Phi_p}$$

где:

$\Phi_p$  – значение поля в точке источника,

$\Phi_o$  – значение поля в точке наблюдателя.

### 6.3. Слабопольный предел

В слабом поле используется выражение:

$$\Phi = 1 + \frac{\varphi}{c^2}$$

Тогда:

$$R_{p \rightarrow o} = \frac{1 + \varphi_o/c^2}{1 + \varphi_p/c^2}$$

При условии  $|\varphi|/c^2 \ll 1$  получаем разложение:

$$R_{p \rightarrow o} \approx 1 + \frac{\varphi_p - \varphi_o}{c^2}$$

Это совпадает со стандартной формулой гравитационного смещения частоты [6].

Таким образом, гравитационное смещение в ОТВ2 возникает как следствие различия темпов физических процессов в точках источника и наблюдателя.

## 7. Эффективная метрика (через поле темпа)

### 7.1. Введение

В модели ОТВ2 метрика пространства-времени не является фундаментальной величиной, а возникает как эффективное описание поля темпа  $\Phi(x)$ .



Исходное соотношение между собственным и координатным временем имеет вид:

$$d\tau = \frac{dt}{\Phi(x)}$$

Отсюда следует, что временная компонента метрики определяется выражением:

$$g_{00} = -\frac{1}{\Phi^2}$$

Вводя пространственную часть, получаем эффективную метрику:

$$ds^2 = -\frac{c^2 dt^2}{\Phi^2} + \Phi^{2\gamma} dl^2$$

где:

$\Phi(x)$  – поле темпа физических процессов,

$\gamma$  – постньютоновский параметр.

### 7.2. Переход к слабополюму пределу

В слабом поле используется разложение:

$$\Phi = 1 + \frac{\varphi}{c^2}, \quad \left| \frac{\varphi}{c^2} \right| \ll 1$$

Тогда:

$$\frac{1}{\Phi^2} \approx 1 - 2\frac{\varphi}{c^2}$$

и

$$\Phi^{2\gamma} \approx 1 + 2\gamma\frac{\varphi}{c^2}$$

Подставляя в метрику, получаем:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2\varphi}{c^2}\right) c^2 dt^2 + \left(1 + \frac{2\gamma\varphi}{c^2}\right) dl^2$$

Переходя к стандартному обозначению потенциала:

$$\varphi = -U$$

Получаем [7]:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2U}{c^2}\right) c^2 dt^2 + \left(1 + \frac{2\gamma U}{c^2}\right) dl^2$$

### 7.3. Условие согласия

Для совпадения с экспериментально проверенными результатами общей теории относительности необходимо [7]:

$$\gamma = 1$$

При этом метрика принимает стандартный слабополюсный вид ОТО.

### 7.4. Интерпретация

В модели ОТВ2:

метрика не является фундаментальной величиной,

она возникает как эффективное описание поля темпа  $\Phi$ ,

гравитационные эффекты определяются градиентом поля  $\Phi$ .

Таким образом, геометрическое описание гравитации является вторичным, а первичной величиной является поле темпа физических процессов.

## 8. Отклонение света

### 8.1. Общая формула

В слабополюсном приближении угол отклонения света в гравитационном поле точечной массы задаётся выражением [8]:

$$\delta\theta = \frac{2(1 + \gamma)GM}{c^2 b}$$



где:

$\delta\theta$  – угол отклонения светового луча,

$G$  – гравитационная постоянная,

$M$  – масса источника,

$c$  – скорость света,

$b$  – прицельный параметр (минимальное расстояние луча до центра массы),

$\gamma$  – постньютоновский параметр.

## 8.2. Результат

При условии согласия с общей теорией относительности:

$$\gamma = 1$$

получаем:

$$\delta\theta = \frac{4GM}{c^2 b}$$

Таким образом, в рамках ОТВ2 при выполнении условия  $\gamma = 1$  воспроизводится стандартный результат отклонения света, совпадающий с предсказанием ОТО [8].

## 9. Задержка Шаapiro

### 9.1. Показатель преломления

В слабом гравитационном поле распространение света можно описать через эффективный показатель преломления:

$$n_{\text{eff}} \approx 1 + \frac{2U}{c^2}$$

где:

$n_{\text{eff}}$  – эффективный показатель преломления,

$U$  – ньютоновский потенциал,

$c$  – скорость света.

Это выражение отражает замедление распространения света в гравитационном поле.

### 9.2. Интеграл времени

Дополнительное время прохождения сигнала (задержка) определяется интегралом вдоль траектории луча [9]:

$$\Delta t = \frac{2}{c^3} \int U dl$$

где:

$\Delta t$  – задержка сигнала,

$dl$  – элемент длины вдоль траектории луча.

### 9.3. Итог

Для точечной массы результат принимает вид [9]:

$$\Delta t = \frac{2GM}{c^3} \ln \left( \frac{4r_E r_R}{b^2} \right)$$

где:

$r_E$  – расстояние от массы до источника сигнала,

$r_R$  – расстояние от массы до приёмника,

$b$  – прицельный параметр.

Таким образом, в модели ОТВ2 воспроизводится стандартная формула задержки Шаapiro, совпадающая с результатом общей теории относительности.

## 10. Инвариантная формулировка

### 10.1. Частота



Частота излучения в релятивистской формулировке определяется инвариантно через скалярное произведение волнового вектора и 4-скорости наблюдателя [10]:

$$\nu = -\frac{1}{2\pi} k_\mu u^\mu$$

где:

$\nu$  – наблюдаемая частота,

$k_\mu$  – ковариантный волновой 4-вектор,

$u^\mu$  – 4-скорость наблюдателя.

Это выражение не зависит от выбора координат и задаёт физически измеряемую частоту [10].

### 10.2. Наблюдаемое отношение

Для источника в точке  $p$  и наблюдателя в точке  $o$  в модели ОТВ2 наблюдаемое отношение частот выражается через поле темпа:

$$R_{p \rightarrow o} = \frac{\Phi_o}{\Phi_p}$$

где:

$\Phi_p$  – значение поля в точке источника,

$\Phi_o$  – значение поля в точке наблюдателя.

### 10.3. Важный смысл

Ключевая интерпретация этого результата:

наблюдаемое смещение возникает из-за различия локальных эталонов частоты, частоты всех физических процессов в каждой точке масштабируются одинаково через  $\Phi$ , нельзя интерпретировать эффект как «изменение частоты света само по себе» при распространении.

Таким образом, гравитационное смещение в ОТВ2 отражает различие темпов физических процессов между источником и наблюдателем, а не изменение частоты сигнала в пути.

## 11. Сводка результатов

В слабополюном пределе модель ОТВ2 воспроизводит все основные классические гравитационные эффекты. Итоговые выражения можно свести к компактному набору формул:

Ньютоновский предел (ускорение):

$$g = -\frac{GM}{r^2} \hat{r}$$

Уравнение Пуассона:

$$\nabla^2 \gamma = \frac{8\pi G}{c^2} \rho_m$$

Гравитационное смещение частоты:

$$R_{p \rightarrow o} \approx 1 + \frac{\varphi_p - \varphi_o}{c^2}$$

Отклонение света:

$$\delta\theta = \frac{4GM}{c^2 b}$$

Задержка Шапиро:

$$\Delta t = \frac{2GM}{c^3} \ln\left(\frac{4r_E r_R}{b^2}\right)$$

Этот набор выражений полностью совпадает с предсказаниями общей теории относительности в слабом поле, что подтверждает согласие модели ОТВ2 с классическими гравитационными тестами [11].



## 12. Обсуждение

### 12.1. Физическая цепочка

В модели ОТВ2 гравитация возникает как последовательный процесс, связывающий материю и ускорение через поле темпа:

$$\rho_m \rightarrow \Phi \rightarrow \nabla\Phi \rightarrow g$$

где:

$\rho_m$  – плотность материи,

$\Phi$  – поле темпа процессов,

$\nabla\Phi$  – градиент поля,

$g$  – гравитационное ускорение.

Таким образом, гравитационное взаимодействие интерпретируется как результат пространственного изменения темпа физических процессов.

### 12.2. Сравнение с ОТО

Сравнение подходов:

ОТО	ОТВ2
геометрия	темп процессов
метрика	поле

В общей теории относительности гравитация описывается через искривление пространства-времени, тогда как в ОТВ2 она определяется через распределение и градиенты поля темпа [12].

### 12.3. Ключевое отличие

Основное различие подходов заключается в следующем:

геометрия пространства-времени рассматривается как вторичное, эффективное описание,

фундаментальной величиной является поле темпа  $\Phi$ , определяющее локальную физику.

Таким образом, ОТВ2 предлагает альтернативную интерпретацию гравитации, в которой первична не геометрия, а динамика темпа физических процессов.

## 13. Вывод

В работе был получен слабопольный предел модели ОТВ2 и показано, что она корректно воспроизводит все основные классические гравитационные тесты. В частности, получены выражения, совпадающие с результатами общей теории относительности для ньютоновского ускорения, уравнения Пуассона, гравитационного смещения частоты, отклонения света и задержки Шапиро.

Тем самым подтверждается, что ОТВ2 в области слабых гравитационных полей не противоречит экспериментальным данным и наблюдениям [13].

Ключевой результат заключается в том, что при совпадении наблюдаемых эффектов модель предлагает иную физическую интерпретацию:

гравитация возникает не как геометрическое искривление пространства-времени, а как проявление градиента поля темпа физических процессов.

Таким образом, ОТВ2 сохраняет проверенные предсказания общей теории относительности, но переносит фундаментальный уровень описания с геометрии на поле темпа  $\Phi$ , делая геометрическое представление вторичным, эффективным описанием

## Список литературы:

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: в 4 т. Т. 1: Работы по теории относительности 1905–1920 / А. Эйнштейн. – М.: Наука, 1965. – 700 с.
2. Мизнер Ч. Гравитация: в 3 т. Т. 1 / Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер; пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 480 с.



3. Ландау Л. Д. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 8-е изд. – М.: Наука, 1988. – 512 с.
4. Вейнберг С. Гравитация и космология: принципы и приложения общей теории относительности / С. Вейнберг; пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 696 с.
5. Петров А. З. Новые методы в общей теории относительности / А. З. Петров. – М.: Наука, 1966. – 288 с.
6. Паунд Р. В. Гравитационное смещение частоты / Р. В. Паунд, Г. А. Ребка // Успехи физических наук. – 1960. – Т. 71, № 8. – С. 557–560.
7. Уилл К. Теория и эксперимент в гравитационной физике / К. Уилл; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
8. Шацки М. Световые лучи в гравитационном поле / М. Шацки // Успехи физических наук. – 1962. – Т. 76, № 2. – С. 285–310.
9. Шапиро И. И. Радиолокационные исследования гравитационного поля / И. И. Шапиро // Успехи физических наук. – 1964. – Т. 84, № 9. – С. 121–140.
10. Мёллер К. Теория относительности / К. Мёллер; пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1975. – 400 с.
11. Владимиров Ю. С. Геометрофизика: релятивистская теория гравитации / Ю. С. Владимиров. – М.: БИНОМ, 2005. – 512 с.
12. Турышев В. Г. Экспериментальные проверки общей теории относительности / В. Г. Турышев // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179, № 1. – С. 3–34.
13. Уилл К. М. Теория и эксперимент в гравитационной физике: 2-е изд. / К. М. Уилл; пер. с англ. – М.: Ленанд, 2018. – 352 с.

