

УДК 550.837.11

МЕТОД ПЛОЩАДНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В РУДНЫХ РАЙОНАХ

Стогний В. В.

AREAL SOUNDINGS METHOD OF VARIABLE NATURAL ELECTROMAGNETIC FIELDS IN THE ORE REGIONS

Stogny V. V.

Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia
e-mail: stogny@newmail.ru

Abstract. The basic model of magnetotelluric methods is the model of the horizontally layered half-space with each layer's constant conductivity, on the surface of which plane electromagnetic wave falls vertically. At the same time, together with the vertical one there occurs propagation of the natural electromagnetic disturbances' horizontal trend, containing the vertical electric component as well. It guides to the new areal sounding method's development of variable natural electromagnetic fields in the ore regions, the main characteristic of which together with the vertical zonality is strongly marked lateral heterogeneity in specific conductivity and magnetic permeability parameters.

In this paper there were offered principles of areal sounding method's development, based on the simultaneous dimensions of different frequency variations of all 6 electromagnetic field's components of analyzed area, including electric and magnetic constituents' horizontal and vertical components with the calculation of electromagnetic field's complete tensor.

Keywords: ore region, electromagnetic sounding, variable natural electromagnetic fields, conductivity, magnetic permeability

Введение

Принципиальная возможность использования вариаций горизонтальных компонент переменного естественного электромагнитного поля (ПЕЭМП) инфранизких частот (приблизительно 0,001–1 Гц) для изучения геоэлектрических разрезов на больших глубинах была показана академиком А.Н. Тихоновым [1].

Основы теории магнитотеллурических методов заложены в работах А.Н. Тихонова, Л. Каньяра, М.Н. Бердичевского, Л.Л. Ваннына, В.Н. Дмитриева, А. Прайса и многих других исследователей. Классическая теория магнитотеллурических методов построена для гармонических колебаний плоской монохроматической волны, вертикально падающей на поверхность горизонтально-слоистого разреза. Вместе с тем, такая модель часто неприемлема при исследовании рудных районов, для которых характерны разномасштабные латеральные геоэлектрические неоднородности.

1. Основы теории магнитотеллурических зондирований

В упрощенной теории магнитотеллурических зондирований (МТЗ), фактически повсеместно используемых в настоящее время, в качестве модели поля используется модель плоской монохроматической волны, вертикально падающей на поверхность горизонтально-слоистого разреза, каждый слой которого имеет постоянную удельную проводимость $\sigma(z)$ (постоянное удельное электрическое сопротивление $\rho(z)$, $\sigma(z) = 1/\rho(z)$).

В электроразведке принято пользоваться понятием импеданса, представляющего отношение напряженности электрического поля $\mathbf{E}$ к напряженности магнитного поля $\mathbf{H}$ [2]

$$\mathbf{Z} = \frac{|\mathbf{E}|}{|\mathbf{H}|} e^{i(\psi_E - \psi_H)} = |\mathbf{Z}| e^{i\psi_Z}, \quad (1.1)$$

где $|\mathbf{Z}|$ — модуль импеданса, $\psi_Z = \psi_E - \psi_H$ — фаза импеданса.

Исходя из модели плоского поля, импеданс $\mathbf{Z}$ зависит только от параметров горизонтально-слоистого геоэлектрического разреза (одномерная модель среды $\sigma = \sigma(z)$). Для однородного изотропного полупространства модуль импеданса $|\mathbf{Z}|$ определяется формулой

$$|\mathbf{Z}| = \sqrt{\omega\mu_0\rho}, \quad (1.2)$$

где ω — круговая частота ($\omega = 2\pi f = 2\pi/T$, f — частота, T — период колебаний); μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, ρ — удельное электрическое сопротивление.

Кажущееся сопротивление в магнитотеллурических методах (МТЗ, МТП) определяется выражением

$$\rho_T = \frac{T}{2\pi\mu_0} |\mathbf{Z}|^2, \quad (1.3)$$

где $\mathbf{Z}$ — входной, т.е. измеренный на дневной поверхности, импеданс среды; T — период в секундах; μ_0 — магнитная проницаемость вакуума ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^7$ Гн/м).

Кривые ρ_T носят название амплитудных кривых МТЗ, фазовыми называются кривые [2]

$$\begin{aligned} \phi_T &= \text{Arg } |\mathbf{Z}|; \\ \phi_T &= \phi_E - \phi_H = \phi_{E_y} - \phi_{H_x} + \pi, \end{aligned} \quad (1.4)$$

где ϕ_E , ϕ_H — фазы электрических и магнитных колебаний.

Для модели плоского поля, вертикально падающего на горизонтально-слоистую среду, вертикальные компоненты напряженности электрического E_z и магнитного H_z поля равны нулю ($E_z = 0$; $H_z = 0$) как на поверхности, так и внутри горизонтально-слоистого разреза, а комплексные амплитуды горизонтальных компонент электрического и магнитного полей связаны скалярным комплексным импедансом Z , где

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x}, \quad (1.5)$$

где $E_x/H_y = Z_{xy}$ и $E_y/H_x = Z_{yx}$ — основные импедансы.

Эллипсы поляризации электрического и магнитного векторов на поверхности горизонтально-слоистого полупространства (модель плоского поля) должны иметь взаимно-перпендикулярные большие оси,

одинаковые эксцентриситеты и одинаковые направления поляризационного вращения векторов [3]. При этом дополнительные импедансы Z_{xx} и Z_{yy} равны нулю ($Z_{xx} = E_x/H_x$ и $Z_{yy} = E_y/H_y$ — дополнительные импедансы).

Для горизонтально-слоистой модели среды, содержащей n слоёв с удельными сопротивлениями ρ_j и мощностями h_j , поверхностный (входной) импеданс Z_1 определяется по формуле [2]

$$Z_1(0) = -\frac{\omega\mu_0}{k_1} R_n, \quad (1.6)$$

где k_1 — волновое число 1-го слоя; R_n — так называемый приведенный импеданс n -слойного разреза, определяемый выражением

$$\begin{aligned} R_n &= \text{cth} \left\{ ik_1 h_1 + \text{arch} \left[\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \text{cth} \left\{ ik_2 h_2 + \right. \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \text{arch} \left[\sqrt{\frac{\rho_3}{\rho_2}} \text{cth} \left\{ ik_3 h_3 + \dots \right. \right. \right. \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. \dots + \text{arch} \left\{ \sqrt{\frac{\rho_{n-1}}{\rho_{n-2}}} \text{cth} \left[ik_{n-1} h_{n-1} + \right. \right. \right. \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \text{arch} \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_{n-1}}} \right\} \dots \right] \right] \right] \right\}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Соотношения (1.6) и (1.7) получены Н. В. Липской при условии непрерывности на границах слоёв электромагнитных импедансов.

2. Проблема разработки метода площадных зондирований переменных естественных электромагнитных полей

При латеральной (горизонтальной) неоднородности импедансы Z_{xx} и Z_{yy} не равны нулю, а тангенциальные составляющие электрического $\mathbf{E}_\tau$ и магнитного $\mathbf{H}_\tau$ полей, возбуждаемые вертикально падающей на границу раздела плоской волной, определяются соотношением [4]

$$\mathbf{E}_\tau = [\mathbf{Z}] \mathbf{H}_\tau, \quad (2.1)$$

$$[\mathbf{Z}] = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix}. \quad (2.2)$$

При латеральных неоднородностях возникает и вертикальная компонента магнитного

поля H_z , связанная с его горизонтальными компонентами соотношением [4]

$$H_z = W_{zx}H_x + W_{zy}H_y, \quad (2.3)$$

где W_{zx} , W_{zy} — компоненты тензора Визе–Паркинсона (типпера)

$$[\mathbf{W}] = W_{zx}\mathbf{1}_x + W_{zy}\mathbf{1}_y, \quad (2.4)$$

где $\mathbf{1}_x$, $\mathbf{1}_y$ — орты (единичные векторы).

Наиболее общие линейные связи между спектрами электрической и магнитной компонент магнитотеллурического поля в декартовой системе координат с вертикально направленной осью z представляются следующими соотношениями [5]

$$\begin{cases} E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y + Z_{xz}H_z, \\ E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y + Z_{yz}H_z, \\ E_z = Z_{zx}H_x + Z_{zy}H_y + Z_{zz}H_z, \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\begin{cases} H_x = Y_{xx}E_x + Y_{xy}E_y + Y_{xz}E_z, \\ H_y = Y_{yx}E_x + Y_{yy}E_y + Y_{yz}E_z, \\ H_z = Y_{zx}E_x + Y_{zy}E_y + Y_{zz}E_z. \end{cases} \quad (2.6)$$

Импедансные Z_{ij} и адмитансные Y_{ij} передаточные функции определяются

$$Z_{ij} = \frac{E_i}{H_j}; \quad Y_{ij} = \frac{H_i}{E_j}, \quad (2.7)$$

где i и j — составляющие Е- и Н-компонент электромагнитного поля.

Передаточные функции Z_{ij} и Y_{ij} зависят от частоты вариаций поля, распределения электропроводности среды, а при аномальных магнитных свойствах — и от магнитной проницаемости.

Модель плоского поля, вертикально падающего на горизонтально-слоистый разрез, является простой аппроксимационной моделью поля и среды, приводящим к довольно простым алгоритмам восстановления по входным (поверхностным) импедансам удельной проводимости среды как функции глубины. Вместе с тем, реальная структура естественного переменного электромагнитного поля значительно сложнее, при этом возможна аппроксимационная модель не только вертикально падающей, но и горизонтально распространяющейся волны. Так, для интерпретации суточных вариаций электромагнитного поля (ЭМП) А.Н. Тихонов и Н.В. Липская [6] в 1952 г. использовали не

модель однородной вертикально падающей волны, а схему горизонтально распространяющейся волны магнитного типа.

Выбор аппроксимационной модели структуры переменного ПЕЭМП, используемых в МТЗ и других магнитотеллурических методах, зависит от их генетического типа. Обычно считается, что высокочастотная часть спектра ПЕЭМП, обусловленная грозовой активностью («атмосферики»), имеет горизонтальный тренд распространения, а относительно низкочастотные вариации, с периодом более десятых долей секунды, обусловленные возмущениями в ионосфере, имеют вертикальный тренд. Однако, как показано Д.Н. Четаевым [3], широко используемые в МТЗ устойчивые геомагнитные пульсации типа Рс-1–Рс-5 с периодами 0,2–160 с, разделяющиеся приблизительными границами 4, 12, 45 и 150 с, а также нерегулярные возмущения геомагнитного поля с характерной длительностью более 600 с, называемые геомагнитными вариациями, и сопровождающие их изменения электрического поля имеют отчетливо выраженный горизонтальный тренд. Впервые горизонтальное распространение геомагнитных пульсаций обнаружено Т. Хирроном [7] по данным наблюдений на разнесенной сети пунктов для диапазона пульсаций Рс-3–Рс-4 и Рс-1–Рс-2, при этом фазовые скорости составляли порядка десятков и сотен км/с с их пространственным затуханием порядка 10 дБ на 1000 км. Фазовые скорости пульсаций Рс-3 порядка 1000 км/с были зарегистрированы Р. Манчестером [8]. Исходя из этого, согласно Д.Н. Четаеву [3], «исследование физики геомагнитных пульсаций, доказавшие их электромагнитную природу и обнаружившие распространение вдоль поверхности Земли, со своей стороны показали физическую несостоятельность представлений о первичном магнитотеллурическом поле как об однородной вертикально падающей волне».

Вопрос о структуре ПЕЭМП имеет не только теоретический интерес, но и напрямую связан с вопросом методики исследований. Так, аппаратура магнитотеллурических исследований [9], в том числе современная, включая и широко применяемые пятиканальные модули MTU-5 канадской фирмы «Phoenix Geophysics», обычно содержит до 5 каналов, позволяющих регистрировать го-

ризонгальные составляющие электрического поля E_x , E_y и составляющие H_x , H_y , H_z магнитного поля, из которых вертикальная составляющая H_z обычно используется только на качественном уровне. Однако в структуре ПЕЭМП при их горизонтальном распространении должна содержаться также и вертикальная составляющая электрического поля E_z , наличие которой подтверждено экспериментально во многих регионах мира [3]. В связи с этим описание структуры ПЕЭМП тензором (2.2) тангенциальных компонент, определяемых горизонтальными составляющими E_x , E_y , H_x , H_y , становится недостаточным и требует перехода к полному тензору по 6 измеряемым компонентам поля, включая E_z

$$[\mathbf{Z}] = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} & Z_{xz} \\ Z_{yx} & Z_{yy} & Z_{yz} \\ Z_{zx} & Z_{zy} & Z_{zz} \end{pmatrix}. \quad (2.8)$$

В модели плоского поля с его горизонтальным распространением важным является не только амплитуда составляющих электрической и магнитной компонент, но и пространственное затухание, имеющего частотную дисперсию $\lambda(\omega)$, ω — круговая частота ($\omega = 2\pi f = 2\pi/T$), $\beta(\omega) > \omega/V(\omega)$, $\beta(\omega)$ — декремент пространственного затухания, $V(\omega)$ — горизонтальная скорость волн.

Согласно Д.Н. Четаеву [3], для структуры поля горизонтально распространяющихся геомагнитных пульсаций особым параметром является направление распространения волны, при этом определение азимута направления распространения, фазовой скорости и пространственного затухания волны, то есть горизонтальной дирекции комплексного волнового вектора, и составляет основу дирекционного анализа магнитотеллурических наблюдений.

В 1982–1987 гг. в ФТИНТ АН СССР были произведены исследования по разработке алгоритмов, позволяющих восстанавливать параметры удельной проводимости $\sigma(z)$ модели кусочно-однородной горизонтально-слоистой среды по измеренным значениям импедансов на поверхности при горизонтальном распространении электромагнитной волны, в том числе с частотной дисперсией и сильным затуханием [10, 12, 13], в основу которых были положены операторы Штурма–Лиувилля.

Отметим, что в традиционной магнитотеллурике [14] считается, что горизонтальной неоднородностью внешнего магнитного поля можно пренебречь, а модель Тихонова–Каньяра, в которой горизонтально-слоистое полупространство возбуждается вертикально падающей сверху плоской монохроматической электромагнитной волной, применима в широком классе магнитотеллурических полей со сколь угодно быстрыми, но квазилинейными изменениями H_z на расстояниях порядка утроенной глубины проникновения поля.

Наряду с удельной проводимостью на структуру аномального ПЕЭМП в рудных районах может оказывать также магнитная восприимчивость χ (магнитная проницаемость $\mu = 1 + \chi$). Для изучения латеральных неоднородностей с аномальными магнитными свойствами в практике используется метод геомагнитных вариаций с синхронной регистрацией трёх компонент магнитной индукции в «нормальном» поле и на участке магнитной аномалии [15].

Ввиду сложной структуры ПЕЭМП рудных районов, характерной особенностью которых является ярко выраженная латеральная и вертикальная неоднородность геоэлектрических разрезов как по удельной проводимости, так и по магнитной проницаемости, для их изучения необходимы особые методики, основанные на синхронных площадных наблюдениях разночастотных ПЕЭМП.

Заклучение

Учитывая сложный характер изменения первичного возбуждающего электромагнитного поля, при наличии локальных неоднородностей проводимости и магнитной проницаемости, расположенных на различных глубинах и, в свою очередь, влияющих на структуру электромагнитного поля, по нашему мнению, перспективным направлением исследований является разработка нового метода площадных зондирований, основанного на изучении переменных естественных электромагнитных полей различной природы (ПЗ-ПЕЭМП), основные методические положения которого можно свести к следующему:

1. Измерение в каждой точке всех компонент поля, включая E_z , с вычислением полного тензора электромагнитного импеданса.

2. Синхронное измерение в точках сети, примерно равномерно расположенных по площади, при этом шаг наблюдений (масштаб съёмки) будет зависеть от глубинности латеральных неоднородностей, проявляющихся в соответствующем частотном диапазоне спектра.

3. Разработка алгоритмов, позволяющих по пространственному распределению тензора электромагнитного импеданса определить совместно пространственную неоднородность ПЕЭМП и латеральные неоднородности модели среды (3D-модель), выделив её «нормальную» часть, в пределах которой она удовлетворительно описывается моделью Тихонова–Каньяра, и аномальную часть, обусловленную как латеральными неоднородностями проводимости и магнитной проницаемости, так и горизонтальными неоднородностями первичного поля, в том числе — за счёт волн, распространяющихся в горизонтальном направлении с затуханием.

Разработка нового метода ПЗ-ПЕЭМП, по нашему мнению, позволит значительно повысить эффективность картирования разнотелных латеральных неоднородностей проводимости геологической среды, а при наличии объектов, аномальных по магнитной проницаемости, например, магнетитовых рудных тел, может эффективно использоваться для их локализации, расширяя возможности метода геомагнитных вариаций.

Литература

1. Тихонов А. Н. Об определении электрических характеристик глубинных слоев земной коры // ДАН СССР. 1950. Т. 73. № 2. С. 295–297.
2. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах / Под ред. В. К. Хмелевского, В. М. Бондаренко. Книга первая. М.: Недра, 1989. 438 с. Книга вторая. М.: Недра, 1989. 378 с.
3. Четаев Д. Н. Дирекционный анализ магнитотеллурических наблюдений. М.: Наука, 1985. 227 с.
4. Шуман В. Н. Магнитотеллурический импеданс: фундаментальные модели и возможности обобщения // Геофизический журнал. 2010. Т. 32. № 3. С. 18–28.
5. Семенов В. Ю. Обработка данных магнитотеллурического зондирования. М.: Недра, 1985. 133 с.
6. Тихонов А. Н., Липская Н. В. О вариациях земного электрического поля. ДАН СССР.

1952. Т. 87. № 4. С. 547–550.

7. Herron Th. J. Phase characteristics of geomagnetic micropulsations // Geophysical Research. 1966. Vol. 71. no. 3. P. 871–889.
8. Manchester R. N. Propagation of Pc-1 micropulsations from high to low latitudes // Geophysical Research. 1966, Vol. 71. No. 15. P. 3749–3754.
9. Стогний В. В. Электроразведка: принципы измерения и аппаратура: Учебное пособие. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2009. 247 с.
10. Левченко Е. П. Определение проводимости и магнитной проницаемости земли при горизонтальном распространении возбуждающих волн с сильным затуханием. Харьков: препринт ФТИНТ АН УССР. № 30. 1987. 17 с.
11. Левченко Е. П., Хруслов Е. В. Одномерные обратные задачи магнитотеллурического зондирования. Харьков: препринт ФТИНТ АН УССР. № 10. 1984. 43 с.
12. Хруслов Е. В., Левченко Е. П. О восстановлении параметров среды по результатам электромагнитного зондирования. Харьков: препринт ФТИНТ АН УССР. № 20. 1982. 44 с.
13. Хруслов Е. В., Левченко Е. П., Свищева Е. В. Обратная задача магнитотеллурического зондирования при горизонтальном распространении возбуждающих волн без дисперсии. Харьков: препринт ФТИНТ АН УССР. № 26. 1985. 28 с.
14. Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009. 680 с.
15. Бондаренко С. И., Биезайс Я. Я., Веркин Б. И., Стогний В. В., Фенченко В. Н., Шеремет В. И. Опыт работы со сверхпроводниковыми магнитовариационными станциями // Геология и геофизика. 1981. № 7. С. 94–101.

References

1. Tikhonov A. N. Ob opredelenii elektricheskikh kharakteristik glubinykh sloev zemnoj kory [About determine of the Earth's crust deep layers electric nature]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1950, vol. 73, no. 2, pp. 295–297. (In Russian)
2. Khmelevskii V. K., Bondarenko V. M. (Eds.) *Elektrozvedka: Spravochnik geofizika. V dvukh knigakh* [Geoelectric prospecting: geophysical reference book. In 2 books]. Book 1, Moscow, Nedra Publ., 1989, 438 p. Book 2, Moscow, Nedra Publ., 1989, 378 p. (In Russian)
3. Chetaev D. N. *Direktsionnyi analiz magnitotelluricheskikh nabludenij* [Enunciation analysis

- of the magnetotelluric measurements]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 227 p. (In Russian)
4. Shuman V. N. Magnitotelluricheskij impedans: fundamental'nye modeli i vozmodnosti ikh obobscheniya [Magnetotelluric impedance: fundamental models and possibilities of their generations]. *Geophysical journal*, 2010. vol. 32, no. 3, pp. 18–28. (In Russian)
 5. Semenov V. Yu. Obrabotka dannykh magnitotelluricheskogo zondirovaniya [Processing of magnetotelluric sounding measurements]. Moscow, Nedra Publ., 1985, 133 p. (In Russian)
 6. Tikhonov A. N., Lipskaya N. V. O variatsiyakh zemnogo elektricheskogo poliya [About variations of the Earth's electric field]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1952, vol. 87, no. 4, pp. 547–550. (In Russian)
 7. Herron Th. J. Phase characteristics of geomagnetic micropulsations. *Geophysical Research*. 1966, vol. 71, no. 3, p. 871–889.
 8. Manchester R. N. Propagation of Pc-1 micropulsations from high to low latitudes. *Geophysical Research*, 1966, vol. 71, no. 15, p. 3749–3754.
 9. Stognij V. V. *Elektrozvedka: principy ismereniya i apparatura. Uchebnoe posobie* [Geoelectric prospecting: principles of the measurements and instruments. Teaching aid]. Krasnodar, Kuban State University, 2009, 247 p. (In Russian)
 10. Levchenko E. P. *Opreделение проводимости и магнитной проницаемости земли при горизонтальном распространении возбуждающих волн с сильной затуханием* [Determination of the Earth conductivity and magnetic permeability with horizontal propagation of highly attenuation exciting waves]. Kharkov, preprint of the FTINT AN UkrSSR, 1987, no. 30, 17 p. (In Russian)
 11. Levchenko E. P., Khruslov E. Ya. *Odnomernye obratnye zadachi magnitotelluricheskogo zondirovaniya* [One-dimensional inverse problems of magnetotelluric sounding]. Kharkov, preprint of the FTINT AN UkrSSR, 1984, no. 10, 43 p. (In Russian)
 12. Khruslov E. Ya., Levchenko E. P. *O vosstanovlenii parametrov sredy po rezul'tatam elektromagnitnogo zondirovaniya* [Reconstruction of the parameters of a medium based on electromagnetic sounding data]. Kharkov, preprint of the FTINT AN UkrSSR, 1982, no. 20, 44 p. (In Russian)
 13. Khruslov E. Ya., Levchenko E. P., Svishcheva E. V. *Obratnaya zadacha magnitotelluricheskogo zondirovaniya pri gorizontальном rasprostraneniі возбуждающих волн без дисперсии* [An inverse problem of magnetotelluric probing at horizontal propagation on exciting waves]. Kharkov, preprint of the FTINT AN UkrSSR, 1985, no. 26, 28 p. (In Russian)
 14. Berdichevskij M. N., Dmitriev V. I. *Modeli i metody magnitotelluriki* [Models and Methods of Magnetotellurics]. Moscow, Scientific World Publ., 2009, 680 p. (In Russian)
 15. Bondarenko S. I., Biezais Ya. Ya., Verkin B. Ie., Stognij V. V., Fenchenko V. N., Sheremet V. I. *Opyt raboty so sverkhprovodnikovymi magnitovariatsionnymi stantsiyami* [Experience work with superconducting geomagnetic-variation system]. *Geologiya i geofizika* [Geology and geophysics], 1981, no. 7, pp. 94–101. (In Russian)