



# **ТРОФИМУКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
С УЧАСТИЕМ ИНОСТРАННЫХ УЧЕНЫХ**

**11–16 октября 2021 г.**

## **МАТЕРИАЛЫ**



**ИНГГ  
СО РАН**



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ  
ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
НЕФТИ, ГАЗА И УГЛЯ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
ИМ. А. А. ТРОФИМУКА СО РАН  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



ТРОФИМУКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021  
Год науки и технологий – 2021

Материалы Всероссийской молодежной научной конференции  
с участием иностранных ученых

г. Новосибирск, 11–16 октября 2021 г.

Новосибирск  
2021

УДК 55:550.8+338.012(063)  
ББК ИЗ6я431  
Т 76

#### **Программный комитет**

Председатель – академик РАН *А. Э. Конторович*  
Зам. председателя – д-р техн. наук *И. Н. Ельцов*

#### **Члены программного комитета:**

акад. РАН *В. А. Верниковский*, акад. РАН *М. И. Эпов*, чл.-корр. РАН *В. Н. Глинских*,  
чл.-корр. РАН *В. А. Каширцев*, чл.-корр. РАН *В. А. Конторович*, чл.-корр. РАН *И. Ю. Кулаков*,  
чл.-корр. РАН *Б. Н. Шурыгин*, д-р геол.-минерал. наук *Л. М. Буриштейн*,  
д-р геол.-минерал. наук *Д. В. Гражданкин*, д-р геол.-минерал. наук *Б. Л. Никитенко*,  
д-р геол.-минерал. наук *Н. В. Сенников*, д-р геол.-минерал. наук *А. Н. Фомин*,  
канд. геол.-минерал. наук *И. А. Губин*, канд. геол.-минерал. наук *Д. А. Новиков*,  
канд. геол.-минерал. наук *Т. М. Парфенова*

#### **Организационный комитет**

Председатель – *О. А. Локтионова*  
Секретарь – *С. М. Ибрагимова*

#### **Члены организационного комитета**

*М. В. Соловьев*, *Д. В. Аюнова*, *К. В. Долженко*, *Ф. Ф. Дульцев*, *Е. А. Земнухова*,  
*К. И. Канакова*, *А. А. Федосеев*, *Е. Е. Хогоева*

**Т76** Трофимукские чтения – 2021 : Материалы Всерос. молодежной науч. конф. с участием иностр. ученых / Ин-т нефтегаз. геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН ; Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2021. – 280 с.

ISBN 978-5-4437-1251-2

Сборник содержит материалы докладов, представленных на Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых «Трофимукские чтения – 2021», посвященной 110-летию академика АН СССР и РАН А. А. Трофимука (Новосибирск, Россия, 11–16 октября 2021 г.). В докладах отражены современные теоретические и практические проблемы геологии нефти и газа. Внимание уделено вопросам общей и региональной геологии нефтегазоносных осадочных бассейнов, решению актуальных задач тектоники, седиментологии, литологии, палеогеографии, геохимии, стратиграфии и палеонтологии. В публикациях обсуждаются новые результаты исследований в области геохимии нефти, гидрогеологии и гидрогеохимии нефтегазоносных бассейнов, углеводородного потенциала недр России. Серия работ посвящена моделированию нефтегазообразования в осадочных отложениях Сибири, методам компьютерного моделирования геологических процессов, оценке ресурсов и выявлению закономерностей размещения месторождений углеводородов. В сборник включены доклады, направленные на обсуждение проблем экономики и экологии нефтегазовой отрасли. В ряде докладов представлены результаты изучения геофизических исследований скважин, новые геофизические методы поисков углеводородов. Материалы конференции представляют интерес для специалистов-геологов широкого профиля, а также для преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений, специализирующихся в области наук о Земле.

УДК 55:550.8+338.012(063)  
ББК ИЗ6я431

© Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А. А. Трофимука СО РАН, 2021  
© Новосибирский государственный  
университет, 2021

ISBN 978-5-4437-1251-2

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ (СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, ТЕКТОНИКА, ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ОСАДОЧНЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ)

Багаев Д. З. Геолого-геофизическая модель северной части бассейна Восточно-Сибирского моря с целью обоснования перспективных нефтегазоносных районов.....	8
Гришина А. А., Сапьяник В. В., Торопова Т. Н. Реконструкция обстановок осадконакопления байос-батских отложений в западной части Енисей-Хатангской НГО и сопредельных территорий.....	12
Гришина А. А., Торопова Т. Н., Сапьяник В. В. Геологическое строение западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и перспективы газоносности меловых отложений (на примере Подпимского ССК).....	15
Дроздов Д. К., Пахомова К. А., Виноградов Е. В. Палеогеографическое положение Сибири в позднем венде – раннем кембрии по результатам палеомагнитного анализа осадочной последовательности Оленекского поднятия .....	18
Ефременко В. Д. Белемниты и биостратиграфия нижнемеловых отложений Анабарского района Сибири.....	23
Злобина А. В. Стратиграфия и органическая геохимия нижней юры восточной части Анабаро-Ленского регионального прогиба (бассейн р. Келимяр).....	27
Нечаев М. С. Литологическая характеристика отложений овинпармского горизонта лохковского яруса нижнего девона в разрезе ручья Дэршор (гряда Чернышева).....	30
Пахомова К. А., Дроздов Д. К. Палеогеография Суханского осадочного бассейна по палеомагнитным данным хатыспытской свиты (венд Оленекского поднятия) .....	33
Пащенко А. А. Биостратиграфия синской и куторгиновой свит нижнего кембрия северо-запада Алданской антеклизы.....	38
Смольянова Д. В., Курагин Д. И., Зуева Е. А. Оценка перспектив нефтегазоносности доманиковых отложений юго-восточной части Мухано-Ероховского прогиба .....	42
Тахватулин М. М., Масленников М. А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности юрских, триасовых и пермских отложений южного борта Вилуйской синеклизы.....	45
Удегова В. В., Филиппов Ю. Ф. Потенциально нефтегазоносные комплексы Предъенисейского осадочного бассейна на юго-востоке Западной Сибири .....	48

## СЕКЦИЯ 2. ГЕОФИЗИКА. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Глинских А. В. Численное моделирование потенциалов самопроизвольной поляризации с учетом глинистости пласта-коллектора.....	52
---	----

Кальяк А. А. Модель аппаратного комплекса для определения теплофизических свойств горных пород в условиях естественного залегания .....	56
Крошка Е. С. Сопоставление широкополосных диэлектрических спектров твердых и разрушенных песчаных пород .....	60
Крошка Е. С., Родионова О. В. Широкополосная диэлектрическая спектроскопия просеянных фракций песка и плавленых гранул.....	64
Москаев И. А. Численное моделирование данных скважинной электротомии в геоэлектрических моделях с наклонной двухосной электрической анизотропией .....	68
Сизиков И. С., Тимофеев А. В., Ардюков Д. Г., Носов Д. А. Результаты измерений силы тяжести и смещений в районе Заполярного и Ямбургского нефтегазовых месторождений .....	71
Ульянов Н. А., Яскевич С. В., Дергач П. А. Детекция записей слабых локальных землетрясений с использованием машинного обучения.....	76
Федосеев А. А. Определение вещественного состава отложений баженовской свиты на основе электрофизических моделей смесей.....	79
Хогоева Е. Е. Динамика эмиссионного отклика геологической среды по материалам морской сейсморазведки .....	83
Шилов Н. Н., Грубась С. И., Дучков А. А. Построение сейсмических лучей по решению уравнения эйконала с использованием искусственных нейронных сетей.....	87
Яблоков А. В., Сердюков А. С. Способ подбора архитектуры искусственной нейронной сети для аппроксимации зависимости фазовой скорости поверхностной волны от параметров упругой модели геологической среды .....	91

### СЕКЦИЯ 3. ТЕОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НЕФТИ И ГАЗА, ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОХИМИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Бондоров Р. А., Фомин А. Н. Мацеральный состав и условия формирования углей васюганской свиты на юго-востоке Западно-Сибирского мегабассейна .....	95
Бурухина А. И., Фурсенко Е. А. Распределение углеводородов C <sub>4</sub> –C <sub>9</sub> в нефтях и конденсатах Бованенковского месторождения (полуостров Ямал, Западная Сибирь) .....	99
Дребот В. В. Изотопный состав углерода и кислорода гидрокарбонат-иона ( $\delta^{13}\text{C}$ ) в подземных водах территории Торейских озер (Восточное Забайкалье).....	102
Иванников А. А. Органическая геохимия юрских отложений востока Енисей-Хатангского регионального прогиба.....	106
Мельник Д. С. Параавтохтонные битумоиды в породах хатыспытской свиты венда Оленекского поднятия на северо-востоке Сибирской платформы .....	109

Попова И. Д., Долженко К. В. Влияние асфальто-смолистой компоненты битумоида на пиролитические показатели террагенного органического вещества верхнепалеозойского комплекса Вилуйской синеклизы .....	113
Пыряев А. Н., Максимова А. А. Изотопный состав подземных вод нефтегазоносных отложений центральной части Зауральской мегамоноклизы .....	117
Черных А. В., Пыряев А. Н., Дульцев Ф. Ф. Новые данные об изотопном составе рассолов нефтегазоносных отложений Сибирской платформы.....	121

#### СЕКЦИЯ 4. МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Бардачевский В. Н. Геологическое строение и нефтегазоносность региональных резервуаров нижнемелового клиноформного комплекса Гыданского полуострова .....	126
Белоусов А. А., Титов Б. Г. Моделирование методики определения содержания в породе урана, тория калия методом пассивной гамма-спектрометрии .....	130
Зервандо Я. В., Елишева О. В. Предпосылки заполнения резервуаров неокомского интервала разреза Ай-Яунской площади углеводородами .....	133
Канакова К. И., Канаков М. С., Ибрагимова С. М. Методика выделения литотипов по данным ГИС в отложениях горизонта Ю <sub>1</sub> .....	138
Котухов П. Д. Влияние структурного строения и литологических особенностей вендских терригенных отложений на перспективы нефтегазоносности южного склона Байкитской антеклизы .....	142
Ошорова Е. М., Аюнова Д. В. Сейсмогеологическая характеристика и нефтегазоносность меловых отложений Ванкорской зоны нефтегазонакопления.....	146
Татевосян Л. С. Структурная характеристика отложений НГГЗК Чкаловского месторождения и прилегающих территорий .....	149

#### СЕКЦИЯ 5. МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫМИ ЗАПАСАМИ НЕФТИ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИДРАТНОГО ГАЗА: МЕТОДЫ ИХ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ

Кузнецова М. И. Выявление перспективных объектов баженовской свиты на территории ЯНАО с применением геолого-геофизических критериев .....	152
Соколов П. А. Поточный измеритель минерализации водных растворов .....	156

#### СЕКЦИЯ 6. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ

Кокорев О. Н., Кейслер А. Г., Истомин А. Д., Носков М. Д., Чеглоков А. А. Геоэкологический прогноз эксплуатации пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов.....	160
---	-----

## ПОСТРОЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЯ ЭЙКОНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Н. Н. Шилов, С. И. Грубась, А. А. Дучков

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск*

**Аннотация.** Данная работа посвящена исследованию возможностей построения сейсмических лучей и вычисления лучевых амплитуд по полю времён пробега сейсмических волн – решению уравнения эйконала – рассчитанному с использованием искусственных нейронных сетей или более традиционным конечно-разностным методом. В ряде численных экспериментов показывается, что использование нейросетей может заметно снизить требования к частоте дискретизации модели без большой потери в точности вычислений.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, уравнение эйконала, лучевое трассирование.

### SEISMIC RAY TRACING USING ANN-BASED EIKONAL SOLVER

N. N. Shilov, S. I. Grubas, A. A. Duchkov

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk*

**Annotation.** In this work we investigate the potential of seismic ray tracing based on the seismic travel-time field (i.e., solution of the eikonal equation) computed using artificial neural networks and conventional finite-differences. In a series of numerical tests, we show that the network-based eikonal solver requires considerably less dense computational grid than the finite-difference method.

**Keywords:** artificial neural networks, eikonal equation, seismic ray tracing.

**Введение.** Расчёт времени пробега сейсмических волн играет ключевую роль в прямых и обратных кинематических задачах сейсморазведки. В двумерной постановке задачи поле времён пробега (эйконал)  $\tau(x, z)$  подчиняется так называемому уравнению эйконала

$$|\nabla\tau(x, z)|^2 = \frac{1}{v^2(x, z)}, \quad (1)$$

где символ  $\nabla$  есть градиент, а  $v = v(x, z)$  – скорость распространения волн в данной точке среды.

Уравнение (1) есть нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка; распространёнными конечно-разностными (К-Р) методами его численного решения (1) являются «fast sweeping method» (FSM) [1] и «fast marching method» (FMM) [2]. В работе [3] приводится также альтернативный подход к решению дифференциальных уравнений с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). В настоящей работе проведён сравнительный анализ нейросетевого и конечно-разностного решений уравнения эйконала. В серии численных экс-



периментов оценивается характер сходимости таких решений и их производных при изменении шага вычислительной сетки и демонстрируются возможности их применения в задачах лучевого трассирования и расчёта волновых амплитуд.

**Инструменты и методы.** Для чистоты эксперименты при обучении нейронной сети использовали те же прямоугольные сетки, что и для К-Р решения уравнения эйконала. При оценке точности численных решений и их производных в качестве эталонного решения использовались либо точные формулы, либо поле времён, рассчитанное по лучевому методу. При пересчёте поля времён с прямоугольной сетки на лучевую применялась бикубическая интерполяция.

Все вычисления в данной работе производились с использованием языка программирования Python. Для конечно-разностного решения (1) использовалась открытая программная реализация ФММ [4]. Нейросетевой решатель уравнения эйконала был написан с использованием библиотеки TensorFlow; гиперпараметры нейросети оставались неизменными во всех экспериментах.

### Численные эксперименты

#### 1. Сходимость решений

Для численной оценки порядка сходимости были произведены расчёты времён пробега волн из точечного источника в трёх скоростных моделях:

$$v_1(x, z) = 1 + 0,5 \cdot z, \quad (1)$$

$$v_2(x, z) = 2 \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) + \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot x + \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot z, \quad (2)$$

$$v_3(x, z) = 2 + \exp(-\sqrt{40} \cdot [(x - 2.5)^2 + (y - 2.5)^2]), \quad (3)$$

где  $x$  и  $z$  измеряются в км, а  $v_{1-3}$  – в км / с. Модель  $v_1(x, z)$  соответствует линейному росту скорости с глубиной; модель  $v_2(x, z)$  является её копией, повернутой на  $45^\circ$ . В модели  $v_3(x, z)$  есть локальная аномалия повышенной скорости. Все скоростные модели приведены на рис. 1; белыми линиями показаны сетки, на которых проводилось сравнение точного и численных решений. В модели  $v_1(x, z)$  оценка точности производилась непосредственно на вычислительной (обучающей) сетке, в моделях  $v_2(x, z)$  и  $v_3(x, z)$  – на постоянной лучевой сетке.

На рис. 2 приведены графики относительных погрешностей полученных решений в зависимости от шага обучающей сетки. Погрешности рассчитаны в норме  $L_2$ . По виду графиков можно сделать два вывода:

- сходимость ИНС-решения наблюдается только на обучающей сетке;
- на грубых сетках ИНС позволяют с большей точностью аппроксимировать эйконал и его производные, чем К-Р решение.

#### 2. Лучевое трассирование

Для качественной оценки точности определения производных эйконала вблизи источника были проведены эксперименты по лучевому трассированию. В модели  $v_3(x, z)$  на сетке с шагом 0,04 км были построены нейросетевое и К-Р решения уравнения (1). Затем по лучевому методу были построены три фронта: 10, 30 и 50 мс; от этих фронтов, используя полученные поля времён, были продолжены сейсмические лучи. На рис. 3 видно, что для К-Р подхода требуется отойти от источника на два-три шага вычислительной сетки, чтобы догнать по точности трассирования нейросетевое решение.

#### 3. Расчёт лучевых амплитуд

На рис. 2 видно, что вторые производные эйконала определяются наименее надёжно, как нейросетями, так и К-Р решателем. Однако, по всей видимости, большая часть ошибки обуславливается малой окрестностью источника. Были рассчитаны лучевые амплитуды в модели  $v_1(x, z)$  для системы наблюдений, состоящей из 11 приёмников, расположенных на глубине 0,1 км, и источника в центре модели (рис. 4, слева). Шаг обучающей сетки был снова выбран 0,04 км. Лучи трассировались «сверху вниз», от приёмников к окружности радиуса 50 м (примерно 25 мс) вокруг источника. На этой окружности задавалась начальная амплитуда в предположении однородной модели внутри неё. Далее амплитуды продолжались вдоль лучей в

соответствии с теорией лучевого метода. Зависимость рассчитанной таким образом амплитуды от координаты приёмника приведена на рис. 4, справа. Как можно было ожидать по результатам предыдущего эксперимента, нейросетевое решение уравнения эйконала выигрывает в точности у К–Р подхода.

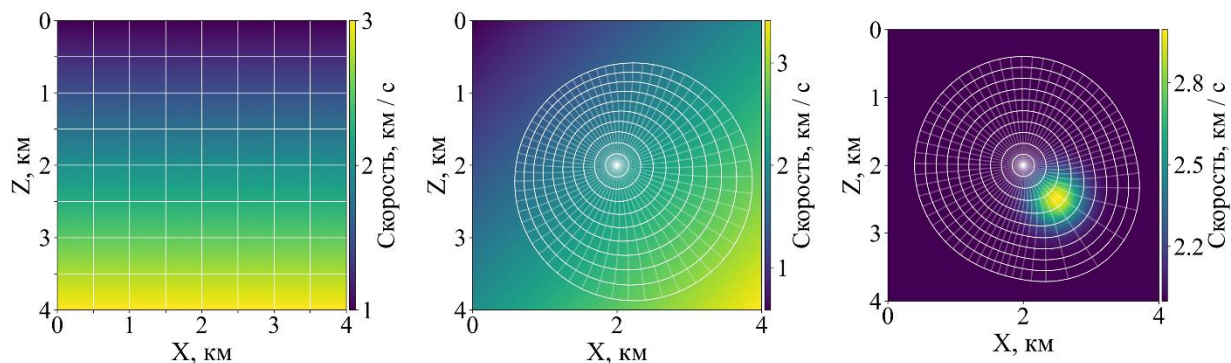


Рис. 1. Модели среды и тестовые сетки для оценки точности решений уравнения эйконала. Размеры ячеек увеличены для наглядности

Fig. 1. Velocity models and test grids for accuracy estimation. Cell dimensions are exaggerated for illustrative purposes

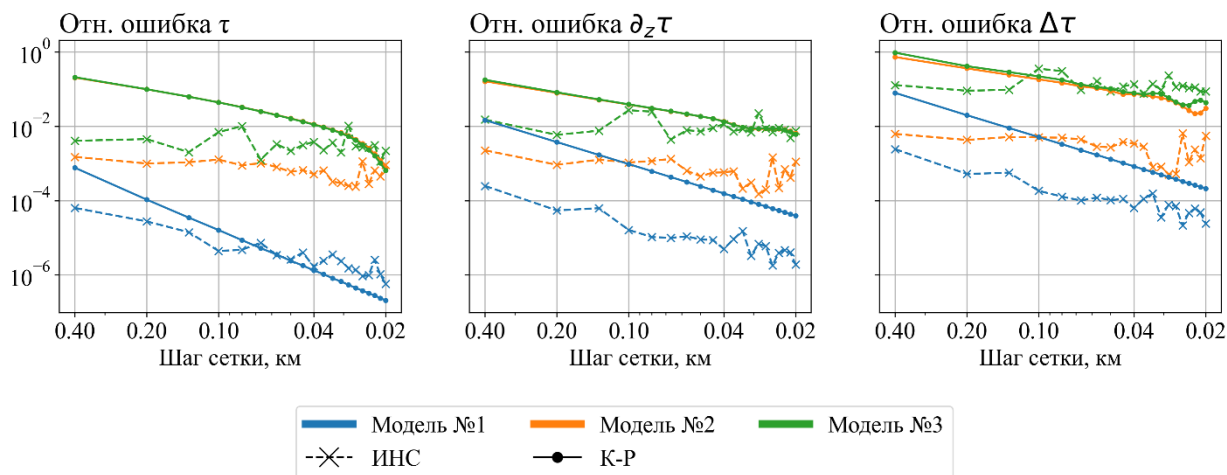


Рис 2. Относительные погрешности определения функции  $\tau(x, z)$  и её производных в норме  $L_2$ . Цветом обозначен номер модели, типом кривой – метод решения (ИНС или К–Р)

Fig. 2. Relative errors of the travel-time function  $\tau(x, z)$  and its derivatives computed in the  $L_2$ -norm. Line colour defines the model, line type stands for the method (ANN or F-D)

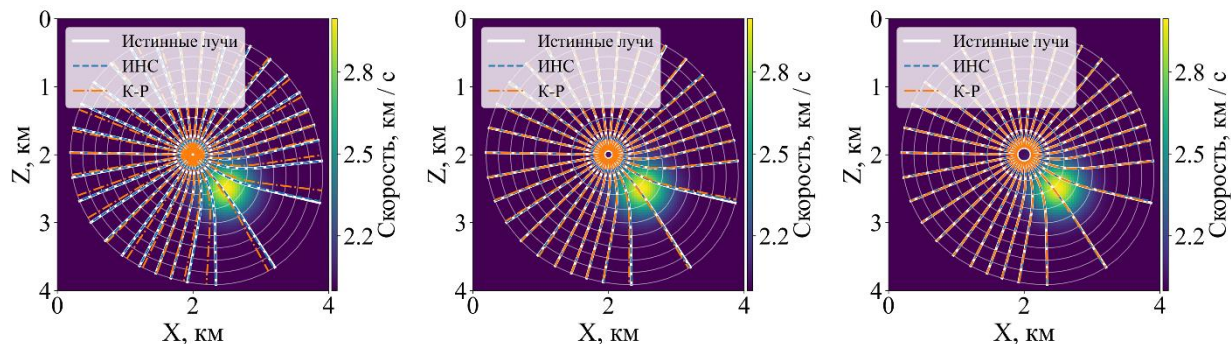


Рис. 3. Результаты лучевого трассирования в модели №3. Лучи строились от фронтов (слева направо) 10, 30 и 50 мс

Fig. 3. Ray tracing results in the model №3. The rays were traced from the fronts at times 10, 30 and 50 ms (from left to right)

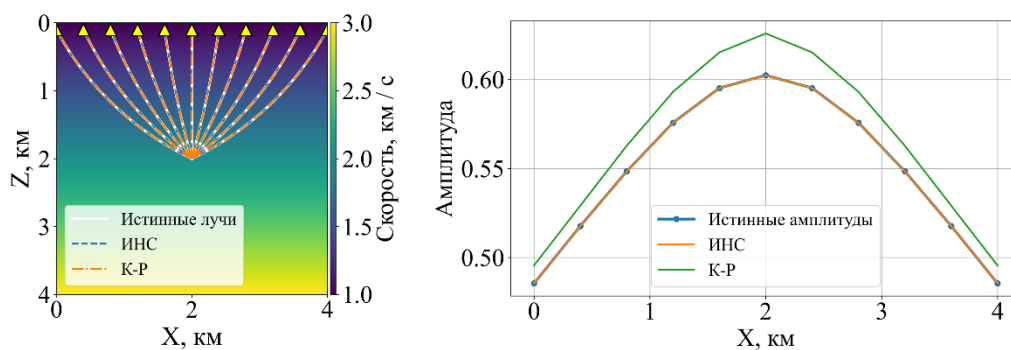


Рис. 4. Слева: система наблюдений и лучевые схемы, справа: лучевые амплитуды в приёмниках

Fig. 4. Left: receiver location and rays, right: ray amplitudes in the receivers

**Выводы.** Проведённые вычислительные эксперименты показали, что численное решение уравнения эйконала на основе нейронных сетей в ряде случаев позволяет вычислять не только сами времена пробега, но и их производные с большей точностью, чем К-Р методы, в том числе на грубых сетках. Особенно интересно более надёжное определение производных эйконала вблизи источника, что позволяет строить сейсмические лучи и рассчитывать лучевые амплитуды непосредственно по найденному полю времён.

Для более полного представления о преимуществах и недостатках нейронных сетей в задачах геометрической сейсмологии необходимо дополнительно исследовать поведение получаемых решений вблизи каустик и их устойчивость к ошибкам в скоростной модели.

## REFERENCES

1. Zhao H. Fast sweeping method for Eikonal equations // *Mathematics of Computation*. – 2005. – Vol. 74. – P. 603–627.
2. Sethian J. A. A Marching Level Set Method for Monotonically Advancing Fronts // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 1996. – Vol. 93. – P. 1591–1595.
3. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // *Journal of Computational Physics*. – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707.
4. Ganster K. eikonalfm 0.9.5 [Elektronnyj resurs]. – 2020. – Rezhim dostupa: <https://pypi.org/project/eikonalfm/>.