



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 Трофимуковские 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 «Трофимуковские 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 ₄ –C ₉ 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 ₁	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
---	-----

СПОСОБ ПОДБОРА АРХИТЕКТУРЫ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ЗАВИСИМОСТИ ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ ОТ УПРУГОЙ МОДЕЛИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

А. В. Яблоков, А. С. Сердюков

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

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск

Аннотация. Настоящая работа посвящена разработке способа настройки архитектуры и гиперпараметров полносвязной многослойной искусственной нейронной сети, применяемой для решения задачи построения одномерной скоростной модели поперечной волны верхней части геологического разреза обращением дисперсионных кривых частотной зависимости фазовых скоростей поверхностной волны. Способ разрабатывается с использованием статистического анализа распределений ошибок определения параметров одномерных скоростных моделей геологической среды, построенных по результатам численных исследований. Разработанный способ универсален и может применяться для решения аналогичных задач.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, поверхностные волны, инверсия.

AN APPROACH TO SELECT AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ARCHITECTURE TO APPROXIMATE THE DEPENDENCE OF SURFACE WAVE PHASE VELOCITY ON AN EARTH ELASTIC MODEL

A. V. Yablokov, A. S. Serdyukov

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk
Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk*

Annotation. The paper is dedicated to the development of an approach for tuning the architecture and hyperparameters of a fully connected multilayer artificial neural network used to solve the problem of restoring one-dimensional velocity models of the shear wave of the upper part of the geological section by inverting the dispersion curves of the frequency dependence of the phase velocities of the surface wave. The approach is developed using a statistical analysis of errors distributions in determining the parameters of one-dimensional velocity models of the earth, constructed from the results of numerical studies. The developed approach is universal and can be used to solve similar issues.

Key words: artificial neural network, surface waves, inversion.

Введение. Известные из публикаций алгоритмы построения скоростной модели верхней части геологического разреза обращением дисперсионных кривых фазовых скоростей поверхностных волн имеют ряд ограничений. Так, точность алгоритмов, основанных на методах локальной оптимизации (Левенберга – Марквардта, Оккама и др.) существенно зависит от

начального приближения. При использовании алгоритмов, основанных на методах глобальной оптимизации (Монте-Карло, GWO и др.) требуются значительные вычислительные ресурсы, что ограничивает применимость метода многоканального анализа поверхностных волн (MASW) при обработке больших объёмов сейсморазведочных данных. С другой стороны, всё чаще при решении обратных задач геофизики используются алгоритмы на основе методов машинного обучения из-за простоты их реализации, устойчивости результатов, высокой скорости и точности вычисления. Исследованиями показана возможность определения скоростного строения геологической среды обращением дисперсионных кривых поверхностных волн с помощью многослойного персептрона [1], ИНС смешанной плотности [2] и свёрточных искусственных нейронных сетей [3]. Общий недостаток известных исследований – отсутствие предлагаемого способа генерации обучающей выборки и настройки архитектуры используемого типа ИНС.

Таким образом, известный алгоритм обращения дисперсионных кривых фазовых скоростей поверхностных волн с использованием ИНС нуждается в развитии – необходимо разработать и включить в алгоритм способ настройки архитектуры и гиперпараметров ИНС для решения задачи определения скоростного строения геологической среды обращением дисперсионных кривых поверхностных волн. Способ подбора архитектуры искусственной нейронной сети разрабатывается с использованием алгоритма определения скорости поперечной волны и мощности слоёв одномерной скоростной модели применением подобранных весов многослойной полносвязанной ИНС [4]. Тренировочным набором данных для обучения ИНС является набор векторов дисперсионных кривых фазовых скоростей V_R (матрица входных параметров ИНС) и конкатенация, соответствующих им значений векторов скорости S-волны V_S и мощности слоёв h (матрица выходных параметров ИНС).

Разработанный способ подбора архитектуры искусственной нейронной сети

Архитектура ИНС оказывает ключевое влияние на точность построения оператора решения обратной задачи. Разработка способа подбора архитектуры ИНС выполняется в ходе численных экспериментов по обращению синтетических дисперсионных кривых фазовых скоростей с применением подобранных весов ИНС.

Подбор весов ИНС (W) осуществляется в ходе итерационного решения задачи минимизации функционала: $M([V_S^1 \dots V_S^N, h^1 \dots h^{N-1}] \cdot W - [V_R^1 \dots V_R^M]) \rightarrow \min$, где M – выбранный вид функционала невязки, а W – веса ИНС. Веса W – это обратный оператор, который отображает пространство дисперсионных кривых фазовых скоростей поверхностных волн в пространство параметров скоростной модели:

$$W[V_R^1 \dots V_R^M] = [V_S^1 \dots V_S^N, h^1 \dots h^{N-1}], \quad (1)$$

где N – число слоёв скоростной модели, M – число отсчётов по частоте в дисперсионной кривой, а $V_R = (V_R^1 \dots V_R^M)$ – значения фазовых скоростей, рассчитанные по значениям $V_S = (V_S^1 \dots V_S^N)$ и $h = (h^1 \dots h^{N-1})$. Фазовая скорость волны Релея V_R наиболее чувствительна к изменениям значений V_S и h . Поэтому при решении прямой задачи и подготовке набора тренировочных данных для вычисления скорости Р-волны V_P используется соотношение: $V_P/V_S = Const = \sqrt{2(1-\nu)/(1-2\nu)}$, где $\nu = 0.35$ – коэффициент Пуассона. Значения плотности принимаются постоянными: $\rho = const = 1900 \text{ кг/м}^3$.

Ключевыми факторами, оказывающими наибольшее влияние на сходимость подбора весов W , являются: 1) масштабирование входного и выходного набора данных; 2) объем тренировочного набора данных; 3) количество скрытых слоёв и нейронов; 4) вид функционала невязки M (MAE, MSE, MSLE и др.); 5) тип функции активации (Sigmoid, Tanh, ReLU, Linear и др.); 6) алгоритм оптимизации (SGD, Adam, Nadam, Adagrad, Adadelatа и др.) и способ снижения скорости обучения (ступенчатый, полиномиальный и др.).

При подборе архитектуры ИНС влияние каждого фактора рассматривается отдельно. Эффективность подбора весов оценивается визуальным анализом кривой обучения – значений функционала невязки на каждой эпохе, сопоставлением статистических моментов (математи-

ческого ожидания, стандартного отклонения, коэффициентов асимметрии и эксцесса) распределений ошибок определения скорости S-волны и мощности слоёв с использованием различных гиперпараметров ИНС, неизменяемых в процессе подбора весов. Вычисление распределений средней (по всем слоям скоростной модели) абсолютной ошибки (MAE) восстановления скорости S-волны и мощности слоёв выполняется по формулам:

$$V_S^{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_S^{true,i} - V_S^{restored,i}|, \quad (2)$$

$$h^{MAE} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |h^{true,i} - h^{restored,i}|, \quad (3)$$

где V_S^{true} и h^{true} – истинные значения скорости S-волны и мощности слоёв, $V_S^{restored}$ и $h^{restored}$ – восстановленные с использованием подобранных весов ИНС. Для подбора архитектуры ИНС рассматривается ряд синтетических скоростных моделей, включающие от 2 до 6 слоёв. Из результатов исследования следует вывод, что архитектура и гиперпараметры ИНС не зависят от числа слоёв в скоростных моделях, а задача восстановления значений h более нетривиальна, поскольку h имеет меньшее влияние на фазовую скорость поверхностной волны, чем V_S . В следствие этого, в первую очередь критерием выбора гиперпараметров ИНС является точность восстановления значений h , а во вторую очередь – значений V_S .

Рассмотрим пример выбора оптимального вида функционала невязки. Используются метрики, применяемые для решения задач регрессии: средняя абсолютная ошибка (MAE), средняя квадратичная ошибка (MSE), средняя логарифмическая ошибка (MSLE), метрика Канберра и расстояние Брея – Кёртиса. Огибающие гистограмм распределений V_S^{MAE} и h^{MAE} между истинными и восстановленными значениями параметров скоростной модели, рассчитанные при использовании различных функционалов невязки, представлены на рис. 1. Оптимальный вид функционала невязки обеспечивает низкие значения математического ожидания и стандартного отклонения, высокие значения коэффициентов асимметрии и эксцесса полученных распределений. Метрики MAE и Брея – Кёртиса приводят к наименьшим значениям математического ожидания (около 0,65 м) и стандартного отклонения (около 0,19 м) распределения h^{MAE} по сравнению с остальными метриками. Однако функционал MAE имеет бóльшие значения коэффициентов асимметрии и эксцесса, чем расстояние Брея – Кёртиса: 1,17 и 3,84 против 1,04 и 3,39, соответственно. К тому же функционал MAE имеет меньшие значения математического ожидания и стандартного отклонения распределения V_S^{MAE} , чем расстояние Брея – Кёртиса: 9,74 и 49,56 м/с против 10,24 и 50,12 м/с, соответственно. Таким образом, в качестве функционала невязки выбирается средняя абсолютная ошибка (MAE). Аналогичным образом анализируются распределения ошибок для остальных гиперпараметров ИНС.

По результатам численных исследований разработан способ настройки архитектуры и гиперпараметров полносвязной многослойной ИНС для аппроксимации нелинейной зависимости фазовой скорости поверхностной волны от скорости поперечной волны и мощности слоёв с использованием статистического анализа распределений ошибок определения параметров скоростной модели.

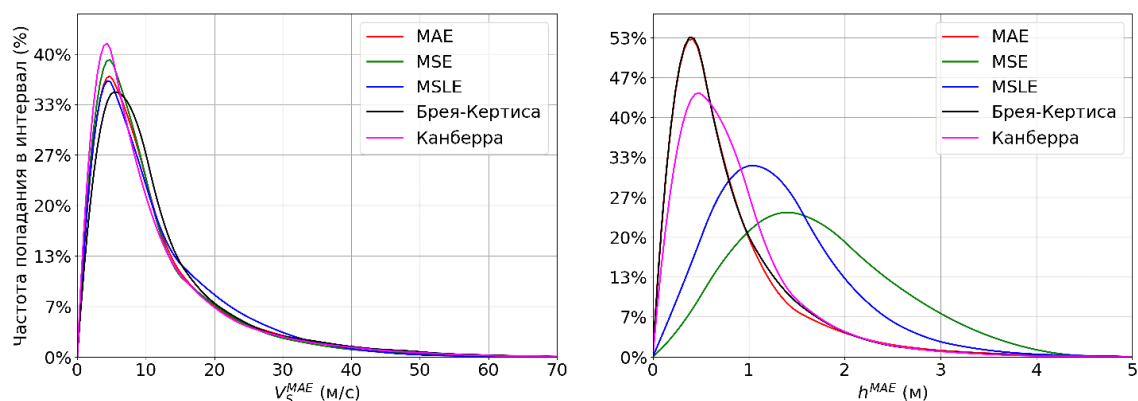


Рис. 1. Сравнение огибающих распределений ошибок восстановления скорости S-волны V_S^{MAE} (слева) и мощности h^{MAE} (справа) при использовании различных функционалов невязки для обучения ИНС

Fig. 1. Comparison of the envelopes of the restoring error distribution of the S-wave velocity V_S^{MAE} (left) and thicknesses h^{MAE} (right) between using different loss functions when ANN is being trained

REFERENCES

1. Çaylak Ç., Kaftan İ. Determination of near-surface structures from multi-channel surface wave data using multi-layer perceptron neural network (MLPNN) algorithm // Acta Geophysica. – 2014. – V. 62. – № 6. – P. 1310–1327.
2. Near-real-time near-surface 3D seismic velocity and uncertainty models by wavefield gradiometry and neural network inversion of ambient seismic noise / R. Cao [et al.] // Geophysics. – 2020. – V. 85. – N 1. – P. KS13–KS27.
3. Using deep learning to derive shear-wave velocity models from surface-wave dispersion data / J. Hu [et al.] // Seismological Research Letters. – 2020. – V. 91. – N 3. – P. 1738–1751.
4. An artificial neural network approach for the inversion of surface wave dispersion curves / A. V. Yablokov [et al.] // Geophysical Prospecting. – 2021. – V. 69. – N 7. – P. 1405–1432.