YAK 550.834.017

Подход к построению слоистой скоростной модели верхней части разреза по данным времен первых вступлений

An approach to constructing a layered near-surface velocity model based on the first break times

G.S. Chernyshov¹, A.A. Duchkov^{1,2}, G.N. Loginov¹, D.A. Litvichenko³, A.A. Nikitin¹ ¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the RAS, RF, Novosibirsk ²Novosibirsk State University, RF, Novosibirsk ³Gazpromneft STC LLC, RF, Tyumen

E-mail: DuchkovAA@ipgg.sbras.ru

Keywords: seismic exploration, near-surface structure, first-break traveltimes, neural networks, seismic ray tomography

Land seismic surveys are often carried out in regions with a complex structure of the upper part of the section. The main complicating factors are significant differences in relief heights, inhomogeneity of the low-velocity zone and the presence of high-velocity layers of permafrost. An important stage of processing, in this case, is the construction of a velocity model of the nearsurface area based on the times of the first arrivals of seismic waves and its further accounting when constructing seismic images. The presence of boundaries in the resulting model may be necessary when choosing a floating or final datum or embedding in a depth model.

The article discusses approaches to automating the procedure for constructing a near-surface model within the framework of the reflected waves method. First, a method for automatic picking of the first break times was implemented based on convolutional neural networks. Testing on real data has shown that the use of neural networks provides a more robust acquisition of first break times compared to standard approaches implemented in processing packages. Secondly, a method is proposed for constructing a layered near-surface velocity model based on the first break times. We use ray seismic tomography to build a smooth velocity model, then we convert it to a layered model. Testing on synthetic data simulating the geological conditions of Western Siberia has shown the possibility of building the layered near-surface model with good accuracy. Finally, an example of the implementation of methods in the form of modules in a processing package for their further use for processing real data is shown.

аземные сейсморазведочные работы часто проводятся в регионах со сложной структурой верхней части разреза (ВЧР). Основными осложняющими факторами являются значительные перепады высот рельефа, а также наличие высокоскоростных слоев многолетнемерзлых пород (ММП) и неоднородной зоны малых скоростей [1]. Недоучет таких факторов при обработке данных, полученных методом общей глубинной точки (МОГТ), может приводить к ложным кинематическим и динамическим аномалиям в глубинном сейсмическом разрезе [2]. Принято разделять влияние ВЧР на длиннои короткопериодную составляющие (по сравнению с максимальными удалениями сейсмической расстановки). Короткопериодные вариации строения ВЧР снижают когерентность при суммировании сейсмограмм ОГТ, но существующие процедуры коррекции остаточных статических поправок хорошо справляются с этой проблемой.

Г.С. Чернышов¹, А.А. Дучков^{1,2}, к.ф.-м.н., Г.Н. Логинов¹, Д.А. Литвиченко³, А.А. Никитин¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН ²Новосибирский гос. технический университет ³Научно-Технический Центр «Газпром нефти» (ООО «Газпромнефть НТЦ»)

Адрес для связи: DuchkovAA@ipgg.sbras.ru

Ключевые слова: сейсморазведка, верхняя часть разреза (ВЧР), времена первых вступлений, нейронные сети, лучевая сейсмическая томография

DOI: 10.24887/0028-2448-2022-1-26-31

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90114

Для устранения длиннопериодной составляющей необходимо построить модель ВЧР, используя дополнительную информацию. Далее можно либо ввести предварительные статические поправки, либо включить модель ВЧР в общую глубинно-скоростную модель интервальных скоростей [3]. Основной информацией для построения скоростной модели ВЧР являются времена прихода первых вступлений сейсмических волн. При этом в обработке сейсмических данных для 3D систем наблюдения важным аспектом становятся автоматизация используемых процедур и скорость вычислений.

С точки зрения автоматизации, важной является процедура снятия времен первых вступлений, так как форма волны в первых вступлениях может существенно меняться по площади и в зависимости от расстояния от источника. Это создает сложности при подборе оптимальных параметров данной процедуры в современных обрабатывающих пакетах. Поэтому кроме алгоритмов анализа сигналов [4] для решения этой задачи в сейсмологии в последние годы используются методы машинного обучения [5].

Для инверсии полученных времен основными являются модификации метода «t0`» [6, 7] и лучевая томография [8]. Первая группа методов требует ручной отметки веток годографа для обозначения участков прослеживания головных волн от разных геологических границ. Кроме того, имеется ряд ограничений, связанных с криволинейностью границ и углом их наклона. Результатом применения метода становится слоистая скоростная модель с возможностью латеральных изменений скорости внутри слоев.

Метод лучевой томографии по временам первых вступлений хорошо подходит для автоматизации обработки. Он позволяет строить модели с гладкими вариациями скоростей. Такое представление моделей ВЧР не всегда удобно для обработки сейсмических данных, так как часто требуется наличие линии приведения для расчета предварительных (длиннопериодных) статических поправок. Кроме того, ВЧР часто имеет выраженно слоистый характер, а уровень приведения ассоциируют с границей, ниже которой разрез считается достаточно однородным. Как правило, это граница обводненного слоя. Вместе с тем, типичным для месторождений Западной и Восточной Сибири является наличие слоя ММП со значительной изменчивостью геометрии кровли.

При обсуждении ограничений и новых подходов к реализации отдельных процедур обработки сейсмических данных существенным является вопрос их тестирования и апробации. Такое тестирование невозможно провести для отдельно взятой процедуры. Как правило, требуется пройти весь граф обработки до получения суммарного разреза, т.е. новые реализации процедур должны быть встроены в коммерческие обрабатывающие пакеты. В последние годы стали появляться широкие возможности для встраивания сторонних разработок в производственные пакеты обработки. Для большинства пакетов производители развивают инструменты взаимодействия со сторонними программами (Application Programming Interface -API) и даже наборы средств разработки (Software Development Kit - SDK).

В статье рассмотрены некоторые подходы к автоматизации процедуры построения модели ВЧР в рамках графа обработки данных наземной сейсморазведки: 1) автоматическое снятие времен первых вступлений на основе использования искусственных нейронных сетей; 2) построение слоистой модели ВЧР по результатам сейсмической томографии. Приведен пример встраивания новых разработок в виде модуля в обрабатывающий пакет для их дальнейшего тестирования и апробации.

Снятие времен первых вступлений

Задача снятия времен первых вступлений решалась с использованием сверточных нейронных сетей. Такой тип нейронной сети кажется естественным [5], так как действие сверточного слоя на трассу состоит в применении набора фильтров. Для нейронной сети форму-

лируется задача классификации, т.е. каждый отсчет сейсмической трассы должен быть отнесен к одному из трех классов: 1) первое вступление, 2) шум до первого вступления, 3) сигнал после первого вступления. Таким образом, на вход нейронной сети подается сейсмическая трасса; на выходе получают три трассы, которые показывают вероятность принадлежности отсчета к одному из трех перечисленных классов. Для снятия времени первого вступления используется только трасса вероятности для первого класса.

Для решения задачи использовалось обучение нейронной сети с учителем. В качестве обучающей выборки выбраны реальные сейсмические трассы с одной площади, для которых времена первых вступлений сняты в обрабатывающем пакете после тщательного подбора параметров. Для автоматизации обработки в дальнейшем планируется исключить или минимизировать использование данных со снятыми временами. Поэтому рассматривался вопрос, насколько большой должна быть обучающая выборка. Для этого обучение нейронной сети проводилось на разных объемах обучающей выборки (от 5 до 100000 трасс). Для тестирования обученная сеть применялась на всех оставшихся трассах площади (около 4,5 млн трасс). Точность снятия времен первых вступлений на тестовой выборке оценивалась как доля трасс с разницей времен не более трех отсчетов. Также исследовались сверточные нейронные сети с разным числом скрытых слоев. Результаты тестирования приведены в таблице, из которой видно, что удовлетворительный результат достигается уже при использовании 5000 размеченных трасс и трех скрытых слоев сверточной нейронной сети.

Число скрытых слоев нейронной сети	Точность снятия времен первых вступлений, %, на тестовой выборке с числом трасс				
	5 000	10 000	25 000	50 000	100 000
1	83,5	83,6			
2	91,0	91,3			
З	93,0	94,7			
4	94,3	95,0	95,3	95,6	96,0
5	94,5	95,7	95,7	95,9	96,1

На рис. 1 приведен набор сейсмотрасс с наибольшей невязкой между разметкой обучающей выборки и результатами работы нейронной сети. Из него хорошо видна устойчивость обучения нейронной сети. Результаты нейронной сети не всегда совпадают с разметкой об-



Рис. 1. Трассы обучающей выборки с большими невязками между временами обучающей разметки (1) и результатами нейронной сети (2)

27

учающей выборки. В некоторых случаях нейронная сеть отрабатывает лучше, чем разметка обучающей выборки – оранжевые метки попадают на первые вступления трассы лучше, чем синие. Отметим, что подобные примеры составляют около 5 % всего набора данных, и большая часть из них может быть отброшена на этапе пост-процессинга.

Для корректного контроля качества снятия времен первых вступлений необходимо использовать их в дальнейшем графе обработки для построения модели ВЧР, предварительных (длиннопериодных) статических поправок, а затем и суммарного разреза. На рис. 2 представлены суммарные разрезы для времен первых вступлений, снятых в обрабатывающем пакете и полученных с помощью предложенной нейронной сети. Использование нейронных сетей дало более устойчивые оценки времен, поэтому после томографического построения модели ВЧР удалось также оценить остаточные статические поправки по наблюденным и рассчитанным временам первых вступлений. В остальном граф обработки был идентичным для приведенных примеров. На рис. 2 штриховыми линиями обозначены области, где становятся видны отражающие границы.

Итоговый алгоритм снятия времен первых вступлений включает:

1) предварительную обработку трассы (удаление тренда и нормализация);

2) применение сверточной нейронной сети для построения детектирующей функции (вероятность принадлежности к классу «первое вступление»);

 пост-процессинг (обнуление значений детектирующей функции для времен, меньших, чем линейный годограф для эффективной скорости v_{eff});

 снятие времени первого вступления (по максимуму детектирующей функции); 5) контроль качества и отбраковку выбросов во временах первых вступлений.

Для реализации последнего пункта строится кроссплот всех значений времен первых вступлений для площади в зависимости от удаления. Далее задается шаг по удалению (10–50 м) для бинирования времен. Для каждого бина рассчитывается среднее значение и дисперсия времен о. Затем отбраковываются все времена, которые выходят за рамки 30 от среднего.

В ходе работ реализован потоковый программный модуль автоматического пикирования времен первых вступлений для обрабатывающего пакета Prime. Модуль принимает на вход сейсмические трассы (сортировка не важна). Результатом его работы является библиотека времен первых вступлений для каждой трассы (времена могут быть записаны в заголовки трасс). Основным входным параметром служит эффективная скорость v_{eff} , которая используется для построения линейного годографа на этапе пост-процессинга. В настоящее время модуль применяется для снятия времен первых вступлений для данных от взрывного источника. Может потребоваться дообучение нейронной сети при работе на новых площадях. Отдельной задачей также является снятие времен первых вступлений для виброданных.

Построение скоростной модели ВЧР

Следующим этапом построения модели ВЧР является инверсия снятых годографов первых вступлений. Рассмотрим стандартную постановку задачи лучевой томографии. Основная идея заключается в том, что принимается некоторая начальная скоростная модель, чаще всего это линейный градиент скорости по глубине. В предположении близости начальной модели к истинной задача оценки аномалий ско-



Рис. 2. Сравнение разрезов для времен первых вступлений, полученных в обрабатывающем пакете (а) и с помощью нейронной сети (б)

рости линеаризуется и сводится к решению системы линейных уравнений [8]

$A\Delta v = \Delta t$,

где A – томографическая матрица; $\Delta v = v - v_0 - ско-$ ростные аномалии относительно начальной скоростной модели v_0 ; v – истинная скоростная модель; $\Delta t = t - t_0$ – невязки времен первых вступлений; t – времена первых вступлений из данных (истинная скоростная модель); t_0 – времена, рассчитанные в начальной модели v_0 .

Среди множества других факторов на результат томографической инверсии влияет также параметризация вектора модельных параметров. В частности, можно записать томографическую систему линейных уравнений в более общем виде

$(AW)(W^{-1}\Delta m) = \Delta t$

где W – диагональная весовая матрица, элементы w_{ii} которой позволяют регулировать значимость для разных элементов вектора модельных параметров Δm .

В специальной литературе встречается две параметризации вектора модельных параметров [9]. Во-первых, они могут задаваться в скоростях ($m_0 = v_0$), что соответствует весовым параметрам $w_{ii} = 1/v_{0i}^2$, во-вторых, в медленностях (обратных скоростях), что соответствует единичным весовым параметрам $w_{ii} = 1$. Видно, что способы различаются масштабированием параметров в зависимости от начальной скоростной модели v_{0i}^2 . Поскольку в начальной модели скорость растет с глубиной, то для разных аномалий чувствительность на глубине к временным невязкам будет разной. Авторами предложен промежуточный вариант параметризации, позволяющий получать в среднем лучшие результаты на всех глубинах исследуемой модели. Выделяются следующие основные этапы работы алгоритма лучевой томографии:

1) задание начальной скоростной модели;

 решение прямой задачи расчета времен первых вступлений и построения лучей в начальной скоростной модели [10], расчет невязок между наблюденными и рассчитанными временами;

 составление томографической матрицы в соответствии с выбранной параметризацией томографической задачи;

 регуляризация томографической задачи путем дополнения матрицы блоками, отвечающими за гладкость и амплитуду аномалий [8]; вес блоков подбирается пользователем;

5) решение системы линейных уравнений.

Алгоритм протестирован на синтетических данных, которые использовались для модели со сложным строением ВЧР [11]. Моделирование проводилось для 3D системы наблюдений со следующими параметрами: расстояние между пунктами приема составляло 50 м, между пунктами взрыва – 50 м, между линиями приема/возбуждения – 300 м, объем данных достигал ~6 млн времен первых вступлений.

Для построения гладкой скоростной модели методом сейсмической томографии использовалась томографическая сетка с шагом по оси X - 150 м, по оси Y - 150 м, по оси Z - 10 м. В начальной скоростной модели скорость с глубиной возрастала с постоянным градиентом 4,2 м/(с·м), скорость на нулевой глубине составляла 1200 м/с. Параметры томографической инверсии: число итераций томографии – 3, вес сглаживания по горизонтали – 2700, по вертикали – 1300, параметризация модели – медленность. Результаты томографической инверсии и карта статических поправок до подошвы модели замещения (изоскорость 1600) приведены на рис. 3.



Рис. З. Вертикальный разрез гладкой модели ВЧР, полученной методом томографии (а), и карта статических поправок (б)



Рис. 4. Сопоставление разрезов истинной скоростной (а) и рассчитанной (б) моделей

Алгоритм реализован в виде отдельного плагина в обрабатывающем пакете Prime. Плагин принимает на вход времена первых вступлений, рельеф дневной поверхности и параметры томографической инверсии.

Выбор уровня приведения для полученной гладкой скоростной модели становится нетривиальной задачей из-за отсутствия резких границ слоев. Распространенным подходом является расчет поправок до линии изоскорости, равной пластовой скорости слоя, до кровли которого предполагается рассчитать вертикальное время. Однако для томографической модели изолиния со значением скорости в нижележащем слое всегда будет на глубинах ниже, чем истинное положение границы. Если интересующая граница является самой глубокой из тех, что можно наблюдать по данным времен первых вступлений, значение скорости в слое может не достигать глубины максимального проникновения луча или находиться в неустойчивой области модели с небольшим количеством проходящих через нее лучей.

В работе [12] утверждается, что границы слоев в гладкой скоростной модели соответствуют линиям изоскоростей со значениями около арифметического среднего скоростей в вышележащем и нижележащем слоях. Предлагаемый метод конвертации гладкой скоростной модели в слоистую заключается в переборе изолиний для нескольких значений скорости. Для полученных границ строятся слоистые модели, и в них рассчитываются времена первых вступлений. Выбор правильной изолинии для задания границ осуществляется по минимальной невязке между рассчитанными и наблюденными временами первых вступлений. Число слоев и скорости могут быть получены из априорной информации или при анализе годографов первых вступлений.

Для рассмотренного примера гладкая скоростная модель разбивается на однородные слои со скоростями 600, 900, 1200 и 2400 м/с. Поскольку перебор скоростных моделей подразумевает большой объем расчетов времен первых вступлений, то из всех данных были выбраны 100 пунктов возбуждения для расчета невязки по времени. Изоскорости для каждой границы подбирались с шагом 10 м/с. Границами слоев стали изолинии в гладкой модели с изоскоростями: 835, 1020 и 1740 м/с. Итоговая временная невязка для всех имеющихся данных составила 4,1 мс, что не превышает невязки на третьей итерации лучевой томографии.

Таким образом, основными этапами построения слоистой модели ВЧР являются:

1) снятие времен первых вступлений на сейсмограммах;

2) построение кросс-плота времен первых вступлений для всей площади и грубая оценка основных веток головных волн и кажущихся скоростей;

 лучевая томография для построения гладкой скоростной модели;

4) преобразование гладкой скоростной модели в слоистую с заданным количеством слоев и скоростей.

Полученную однородно-слоистую модель (рис. 4) можно назвать моделью эффективных скоростей волн первых вступлений, так как для каждого слоя подбирается одна скорость, наилучшим образом описывающая наблюдаемый годограф соответствующей головной волны.

Построение слоистой скоростной модели ВЧР позволило включить ее в общую глубинно-скоростную модель, которая потом уточнялась методом томографии по данным отраженных волн и далее использовалась для миграции результатов. Следует отметить, что применение гладкой скоростной модели было невозможным, так как она не поддерживается в используемом программном обеспечении. В качестве альтернативного подхода можно было взять границу из слоистой модели как линию приведения и рассчитать предварительные статические поправки по гладкой скоростной модели.

Выводы

1. По результатам тестирования модуля снятия времен первых вступлений установлено, что для обучения нейронной сети с нуля достаточно на всю площадь иметь 5000 трасс с известными временами. Обученная нейронная сеть успешно отработала на данных с соседней площади в том же регионе.

2. Предложенный метод автоматической отбраковки ложных выбросов на основе априорно заданной эффективной скорости годографа первых вступлений и статистического анализа снятых времен является достаточно результативным. Сравнение временных разрезов показало, что использование нейронных сетей позволяет получить более устойчивые времена первых вступлений и повысить качество предварительных (длиннопериодных) статических поправок.

3. Разработанный и реализованный модуль построения слоистой скоростной модели ВЧР признан эффективным. Рассмотренный в статье подход был протестирован на синтетических данных для модели ВЧР со структурой, приближенной к условиям Западной Сибири. Тестирование показало возможность с хорошей точностью восстанавливать слоистую структуру ВЧР до кровли слоя ММП.

Список литературы

І. Долгих Ю.Н. Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР. – М.: ЕАГЕ Геомодель, 2014. – 212 с.

2. Сысоев А.П. Прикладные задачи компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке и интерпретации сейсмических данных. – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН. – 2011. – 90 с.

Э. Давлетханов Р. Учет неоднородностей ВЧР статическими поправками или включение их в пластовую модель среды – что выбрать? // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 76–91.

4. Akram J., Eaton D.W. A review and appraisal of arrival-time picking methods for downhole microseismic data arrival-time picking methods // Geophysics. – 2016. – V. 81. – P. KS71–KS91.

5. Machine Learning in Seismology: Turning Data into Insights / O. Kong, D.T. Trugman, Z.E. Ross [et al.] // Seismological Research Letters. – 2018. – V. 90. – N 1. – P. 3–14.

6. *Боганик Г., Гурвич И.* Сейсморазведка. – Тверь: Издательство АИС, 2006. – 744 с.

7. Yilmaz Ö. Seismic data analysis. – Tulsa: Society of exploration geophysicists, 2001. – V. 1. – 1809 p.

8. Nolet G. (ed.) Seismic tomography: with applications in global seismology and exploration geophysics. – Luxembourg: Springer Science & Business Media, 1987. – V. 5. – 385 p.

9. Zelt C.A. Traveltime tomography using controlled-source seismic data // Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. – 2011. – P. – 1453–1473.

 Nikitin A.A., Serdyukov A.S., Duchkov A.A. Cache-efficient parallel eikonal solver for multicore CPUs // Computational Geosciences. – 2018. – V. 22. – N 3. – P. 775–787. Новые подходы в оптимизации расчета волновых полей, связанных непосредственно с выделенной целевой областью сейсмического отклика / А.В. Шалашников, Д.Б. Фиников, Н.И. Хохлов, А.М. Иванов // Геофизические технологии. – 2019. – № 1. – С. 4–32.

12. Assessment of crustal velocity models using seismic refraction and reflection tomography / C.A. Zelt, K. Sain, J.V. Naumenko, D.S. Sawyer // Geophysical Journal International. – 2003. – V. 153. – N 3. – P. 609–626.

References

I. Dolgikh Yu.N., Mnogourovnevaya seysmorazvedka i kinematicheskaya inversiya dannykh MOV – OGT v usloviyakh neodnorodnoy VChR (Multilevel seismic prospecting and kinematic inversion of the reflection and common depth point methods data in the conditions of the inhomogeneous upper part of the section), Moscow: EAGE Geomodel', 2014, 212 p.

 Sysoev A.P., Prikladnye zadachi kompensatsii neodnorodnosti verkhney chasti razreza pri obrabotke i interpretatsii seysmicheskikh dannykh (Applied problems of compensation of heterogeneity of the upper part of the section during processing and interpretation of seismic data), Novosibirsk: Publ. of IPGG SB RAS, 2011, 88 p.

3. Davletkhanov R., Consideration of near-surface heterogeneities by static corrections or their inclusion in the reservoir model of the medium - what to choose (In Russ.), Tekhnologii seysmorazvedki, 2015, no. 1, pp. 76–91.

4. Akram J., Eaton D.W., A review and appraisal of arrival-time picking methods for downhole microseismic data arrival-time picking methods, Geophysics, 2016, V. 81, pp. KS71-KS91.

5. Kong Q., Trugman D.T., Ross Z.E. et al., *Machine learning in seismology: Turning data into insights*, Seismological Research Letters, 2018, V. 90, no. 1, pp. 3–14.

6. Boganik G., Gurvich I., *Seysmorazvedka* (Seismic survey), Tver: AIS Publ., 2006, 744 p.

7. Yilmaz Ö., *Seismic data analysis*, Tulsa: Society of exploration geophysicists, 2001, V. 1, 1809 p.

8. Seismic tomography: with applications in global seismology and exploration geophysics: edited by Nolet G.,Luxembourg:, Springer Science & Business Media, 2012, V. 5, 385 p.

9. Zelt C.A., *Traveltime tomography using controlled-source seismic data*, Encyclopedia of Solid Earth Geophysics, 2011, pp. 1453–1473.

 Nikitin A.A., Serdyukov A.S., Duchkov A.A., Cache-efficient parallel eikonal solver for multicore CPUs, Computational Geosciences, 2018, V. 22, no. 3, pp. 775–787.

 Shalashnikov A.V., Finikov D.B., Khokhlov N.I., Ivanov A.M., New approaches in optimization of calculation of wave fields directly related to the selected target area of seismic response (In Russ.), Geofizicheskie tekhnologii, 2019, no. 1, pp. 4–32.

12. Zelt C.A., Sain K., Naumenko J.V., Sawyer D.S., Assessment of crustal velocity models using seismic refraction and reflection tomography, Geophysical Journal International, 2003, V. 153, no. 3, pp. 609–626.

А.А. МАТВЕЙЧУК КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ НЕФТЯНОГО ДЕЛА РОССИИ

М.: Изд-во «ОнтоПринт», 2021. - 202 с. ISBN 978-5-00121-404-5

Московское издательство «ОнтоПринт» к 300-летию российского нефтяного дела выпустило в свет книгу «Краткий очерк истории нефтяного дела России». Написанная в жанре популярных исторических очерков хорошим литературным языком она представляет в восьми разделах увлекательную картину 300-летней истории российского нефтяного дела, начиная с проиндустриальной стадии «Откуда пошла нефть русская» и этапа промышленного переворота «Тернистый путь на нефтяной Олимп» до современного состояния отрасли «Отвечая на вызовы нового XXI века». Книга может рассматриваться как введение в курс истории нефтяной промышленности России и позволяет получить первые представления об основных этапах развития важнейшей отрасли экономики России. Она представляет интерес для преподавателей высших и средних нефтегазовых учебных заведений, студентов и аспирантов, а также для всех тех, кто интересуется славным прошлым нефтегазового комплекса России.



По вопросам приобретения обращаться в издательство «Древлехранилище»: издательство «ОнтоПринт», тел. +7 (495) 665-28-54