

К. И. Канакова^{1,2}

Применение динамического анализа сейсмического волнового поля для уточнения геологического строения доюрских отложений юго-востока Западной Сибири

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука, г. Новосибирск, Российская федерация

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Российская федерация
e-mail: kanakovaki@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Работа выполнена в рамках тестирования функционала программного обеспечения, разрабатываемого совместно ИНГГ СО РАН и НГУ (комплекс W-SEIS, интерпретационные модули платформы КРАТОН). В качестве объекта исследований выступают доюрские отложения юго-восточных районов Томской области на территории, хорошо обеспеченной фактическим материалом. Наличие данных 3D сейсморазведки позволило выполнить анализ динамических характеристик волнового поля в целевом интервале и на качественном уровне провести дифференциацию отложений по рассчитанным параметрам. Отложения, составляющие кровлю доюрского комплекса в данном регионе, имеют существенные различия по возрасту и вещественному составу, что, несомненно, должно находить отражение в параметрах волнового поля, однако, зачастую, сочетания факторов, влияющих на волновую картину, бывают очень сложными, и для корректного решения поставленных задач необходимо использовать комплекс методов и по возможности проводить верификацию на керновых данных.

Ключевые слова: интерпретация данных сейсморазведки, доюрский комплекс пород, нефтегазоносность

K. I. Kanakova^{1,2}

Application of dynamic analysis of the seismic wave field to clarify the geological structure of the Pre-Jurassic deposits of the south-east of Western Siberia

¹ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kanakovaki@ipgg.sbras.ru

Abstract. The work was performed as part of testing the functionality of the software developed jointly by INGG SB RAS and NSU (W-SEIS complex, interpretation modules of the KRATON platform). The object of research is the Jurassic deposits of the southeastern districts of the Tomsk region in an area well provided with factual material. The availability of 3D seismic data made it possible to analyze the dynamic characteristics of the wave field in the target range and qualitatively differentiate the deposits according to the calculated parameters. The deposits composing the roof of the pre-Jurassic complex in this region have significant differences in age and material composition, which, undoubtedly, should be reflected in the parameters of the wave field, however, often combinations of factors affecting the wave pattern can be very complex, and for the correct solution of the tasks it is necessary to use a set of methods and, if possible, perform verification on core data.

Keywords: interpretation of seismic data, pre-Jurassic rock complex, oil and gas potential

Введение

Вопрос нефтегазоносности палеозойских отложений Западной Сибири является предметом научных дискуссий уже примерно полвека. Термины «палеозой», или даже «фундамент» Западной Сибири, которые сейчас широко употребляются, строго говоря, не совсем корректны. Связано это с особенностью формирования Западно-Сибирской плиты. Плита образовалась в результате сочленения блоков Сибирского и Европейского кратонов, Казахстанского супертеррейна и более мелких террейнов во время образования суперконтинента Пангея в карбоне-перми (1, 2, 5). Границы блоков вызывают дискуссии вследствие недостаточной изученности. Таким образом, более точным геологическим термином для пород доюрского возраста будет не «фундамент», а «складчатое основание». На настоящий момент наибольшее количество месторождений углеводородов в доюрском комплексе пород Западной Сибири открыто в юго-восточных регионах провинции, а именно, на территории Томской области. Отложения перми и триаса в пределах данной территории вскрыты ограниченно, а мощность юрских отложений в ряде районов сильно сокращена. Таким образом вплоть до середины юры изучаемая территория являлась областью денудации и была подвержена гипергенным процессам, в результате которых образовались значительные по мощности коры выветривания. Отложения кор являются продуктивными на ряде месторождений и традиционно выделяются в «горизонт М», в то время как отложения коренного палеозоя индексируются, как «горизонт М₁». Отложения горизонтов М и М₁ в ряде случаев составляют единые резервуары, а иногда могут даже объединяться с песчаными пластами базальных горизонтов осадочного чехла. В связи с этим более точным термином для описания перспективных доюрских отложений является «нефтегазоносный горизонт зоны контакта палеозойских и мезозойских пород» или, сокращенно, НГГЗК.

Отложения НГГЗК в своей геологической истории подвергались различным эндогенным и экзогенным процессам, в результате чего имеют блоковое строение и значительные различия по возрасту и составу. Таким образом первым и очень важным шагом в изучении доюрского комплекса является построение блоковой модели отложений: картирование основных разрывных нарушений, дифференциация отложений по вещественному составу и возрасту с последующим выделением перспективных блоков.

Данные и методы

Основным инструментом геологоразведочных работ в нефтегазовой отрасли сегодня является комплексная интерпретация материалов сейсморазведки и бурения. При исследовании отложений доюрского комплекса на первое место выходят результаты анализов каменного материала. Высокая вариативность литологических типов пород и их сочетаний между собой приводит к множеству решений задач интерпретации сейсморазведки и ГИС, и требует по возможности как можно большей опоры на керновые данные.

В качестве объекта исследований приведем район, хорошо обеспеченный фактическим материалом высокого качества: проведены сейсморазведочные работы МОГТ 3D, покрывающие всю площадь. В районе пробурено более 98 скважин, керновый материал исследован в 47 скважинах, в 23 имеются палеонтологические определения возраста.

В доюрских отложениях на данной территории открыто два месторождения (Рис 1, районы Б и В): одно связано с контрастными эрозионно-тектоническими выступами (В), другое – с неструктурной ловушкой, ограниченной литологическими и тектоническими экранами (Б). Возраст пород, слагающих кровлю доюрского комплекса, варьирует от раннего девона до среднего карбона. По составу пород преобладают карбонатные и терригенно-карбонатные породы, в подчиненном количестве присутствуют терригенные (сланцы), магматические и вулканогенно-осадочные породы.

В условиях столь резкой неоднородности пород по возрасту и составу переход от параметров волнового поля к возрастным и литологическим характеристикам отложений осуществлялся в несколько этапов. В первую очередь был проанализирован набор карт среднеквадратичных (RMS) амплитуд из разных временных окон. Для деления территории на вещественно-возрастные блоки наиболее информативным оказалось достаточно узкое временное окно - Φ_2+30 мс. (Рис 1).

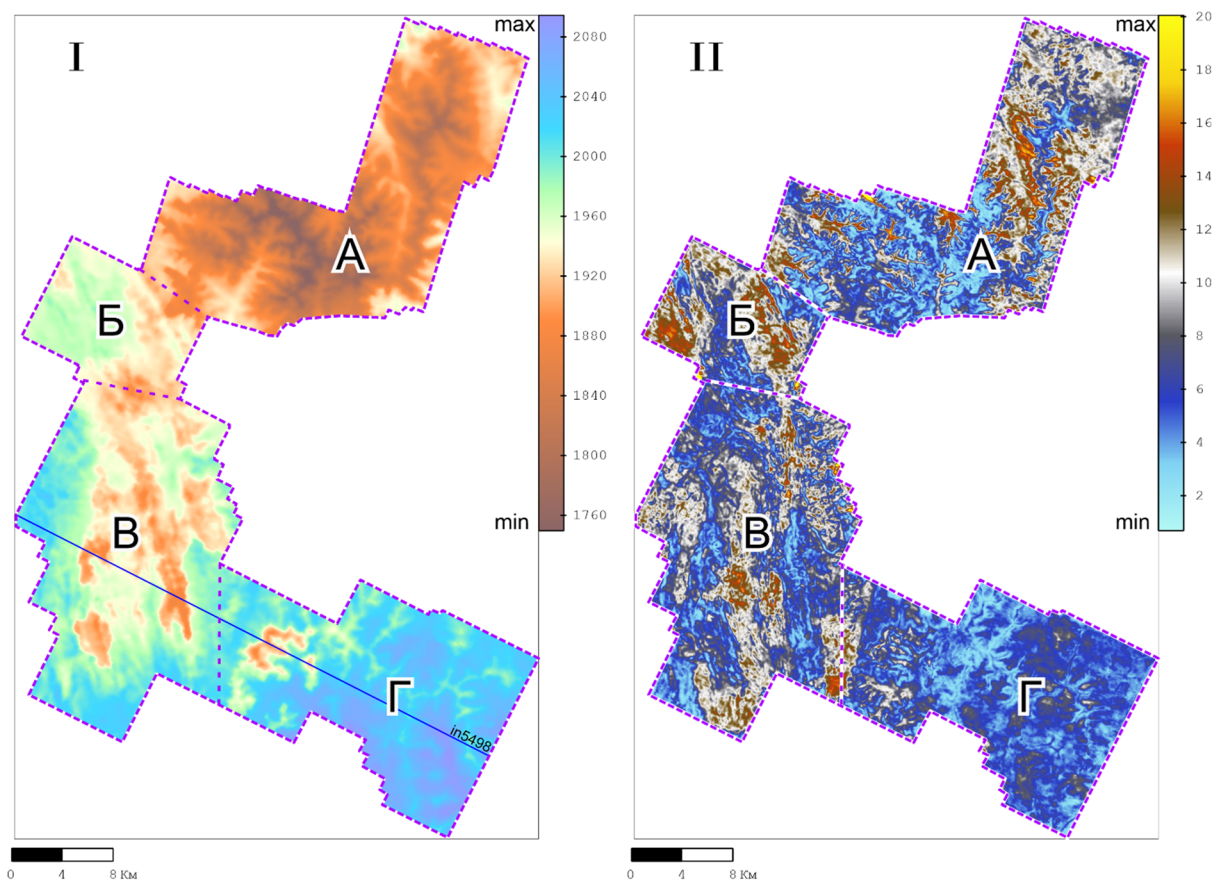


Рис. 1. I - Временной срез сейсмического куба по кровле доюрского комплекса (ОГ Φ_2). II - Срез сейсмического куба RMS амплитуд в окне Φ_2+30 мс.

В таблице 1 приведены значения плотностей и скоростей продольных волн для каждого выделенного типа пород. Стоит отметить, что благодаря высокой обеспеченности скважин качественными каротажными кривыми (АК, ГГКП) и результатами лабораторных измерений, удалось собрать представительную выборку из реальных данных для каждого типа пород.

Вследствие существенной изменчивости доюрского разреза, неравномерного развития отложений коры выветривания разных типов, возникает большое количество вариантов сочетаний для моделирования геологической среды в интервале зоны контакта палеозойских и мезозойских отложений. Поэтому после анализа значений акустических импедансов было проведено некоторое обобщение данных, которые показаны разными цветами в таблице 1.

Таблица 1

Физические свойства пород, слагающих зону контакта палеозойских и мезозойских пород и перекрывающие отложения

порода	скорость	плотность	импеданс
уголь	2.6	1.4	3640
известняк	5.3	2.65	14045
доломит	5.9	2.7	15930
теригенные породы между У и Pz	4.6	2.2	10120
спонголиты в коренном Pz	4.3	2.6	11180
сланцы	5.8	2.75	15950
эффузивы крепкие	5	2.9	14500
эффузивы выветрелые	3.3	1.8	5940
КВ кремнистая-брекчированная	3.3	1.8	5940
КВ железисто-глинистая	3.8	2.6	9880

В более ранних работах (3) приведены результаты математического моделирования, где показано влияние коры выветривания и мощности угольного пласта У₁₁ на плотный подстилающий пласт. Оба параметра оказывают влияние на интерференционную картину и влияют на вариативность сейсмической записи. Таким образом очевидно различие волновой картины на различных участках территории в интервале горизонта Ф₂ и ниже (Рис 2), но также ясно, что параметр амплитуд является хоть и необходимым, но недостаточным для эффективного разделения территории на вещественно-возрастные блоки.

Помимо амплитуды в заданном окне приведенные участки срезов различаются такими параметрами волнового поля, как временная мощность фазы, частота и, вероятно, скорость. Все эти параметры совместно можно оценить, если рассматривать форму сейсмической трассы в заданном окне. Такая задача была решена с использованием алгоритма кластеризации k-means (4), в модуле сейсмофацциального анализа платформы КРАТОН, в окне ОГ Ф2-10+30 мс. Экспертно было принято решение разделить площадь на 5 классов (Рис 3).

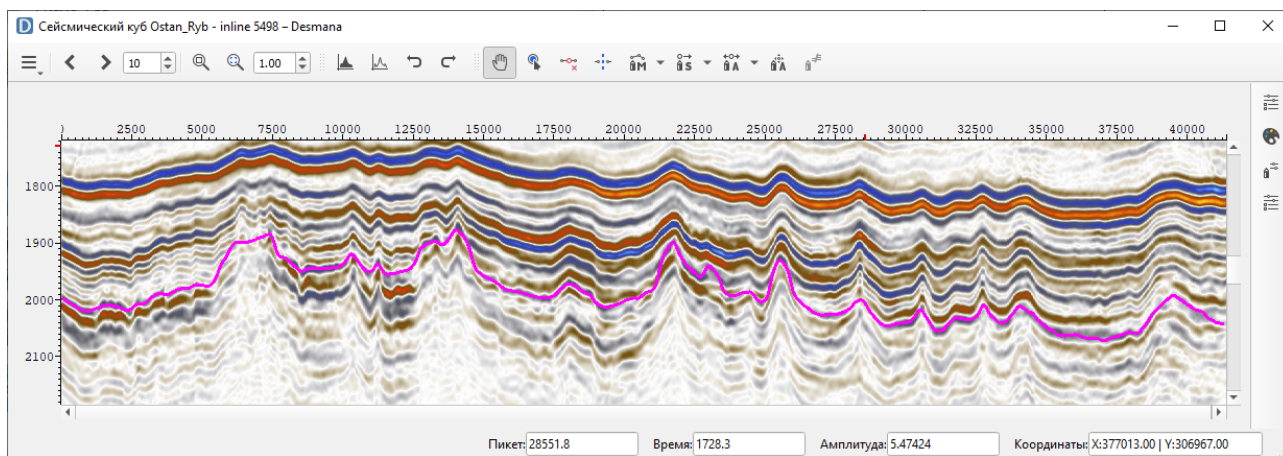


Рис. 2. Разрез, пересекающий район исследований

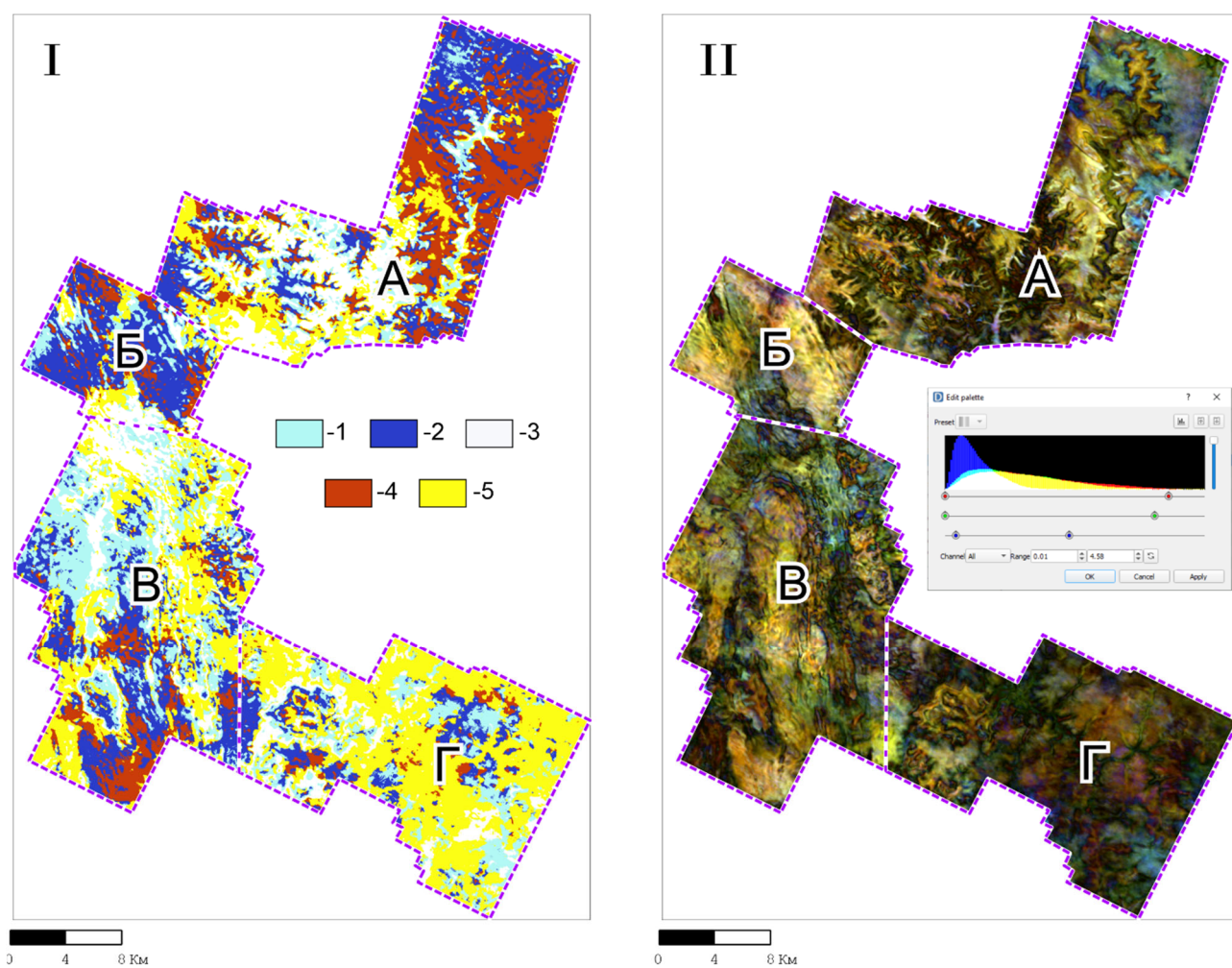


Рис. 3. I - Результат деления территории исследований на классы по форме сейсмической записи в интервале ОГ Ф2+30 мс. II – Спектральный RGB-срез по ОГ Ф₂ для частот 20-30-40 Гц.

Наблюдается визуальное сходство между срезом амплитуд и результатом классификационного анализа, однако кросс-плот, построенный по значениям данных сеток (Рис 4), свидетельствует о том, что распределение амплитуд имеет низкую корреляцию с номером класса. Также можно заметить, что классы 2 и 3 соответствуют высоким значениям амплитуд, однако они были разделены, поскольку на разрезах отличаются по рисунку сейсмической записи.

Особенности вещественного состава могут найти отражение и в морфологии отложений. Несмотря на то, что районы А и Г находятся сейчас на совершенно разных гипсометрических уровнях, на данных территориях присутствует очень характерный облик сейсмической записи – параллельные отражения прослеживающиеся ниже кровли доюрского комплекса. Кроме того, отложения разбиты огромным количеством разрывных нарушений, ограничивающих небольшие серии положительных и отрицательных складчатых структур с достаточно крутым падением крыльев. В осевых частях антиклинальных складок наблюдаются высокоамплитудные отражения. Такая картина, вероятно, является результатом интерференции отражений от кровли доюрского комплекса и от базальных отложений средней юры, которые заполняли наиболее погруженные участки. Так же вероятно присутствует вклад отражений от поверхностей разрывных нарушений и крутопадающих крыльев складок. Такая специфическая «дендритовидная» картина наблюдается как на срезе амплитуд, так и на результатах кластерного анализа и говорит об идентичности процессов, происходивших на территориях А и Г и их совместном развитии.

Дополнительным методом, который может использоваться в задачах дифференциации территории по составу отложений служит спектральная декомпозиция (рис. 3). В основе метода – разложение исходного волнового поля на 3 компонента разных частотных диапазонов. В данной работе использовалось два способа декомпозиции: разложения Фурье и непрерывное Вейвлет-преобразование. Оба метода дали схожие результаты, которые визуально хорошо согласуются с данными по распределению амплитуд и кластерного анализа.

Результаты всех методов динамической интерпретации, используемых в работе, были сопоставлены с керновыми данными и материалами ГИС. Было выявлено, что по возрасту и составу территория делится на 3 крупных кластера. 1 – районы А и Г, где отложения сложены преимущественно глинистыми сланцами с подчинённым количеством вулканогенно-осадочного материала и соответствуют по возрасту среднему карбону. 2 – карбонатные отложения девона – соответствуют классу 2 в пределах участка Б на рис 3. В пределах участка В отложения представлены терригенно-карбонатно-кремнистыми породами верхнего девона-нижнего карбона. Характерной особенностью данного разреза является наличие мощных глинисто-кремнистых кор выветривания, с которыми связана нефтегазоносность. Корам выветривания соответствуют низкие амплитуды, значения классов 2 и 4 и наиболее темные участки среза RGB смешивания в пределах района В.

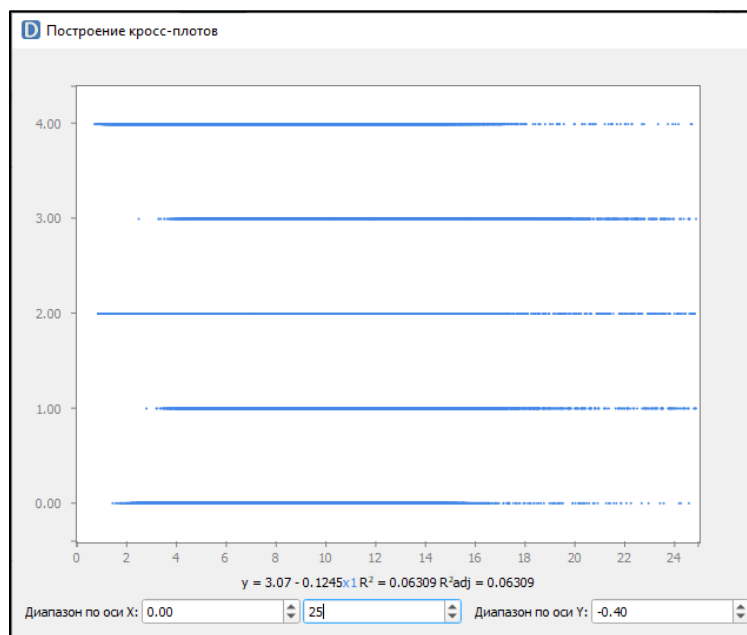


Рис. 4. Кросс-плот значений среза RMS амплитуд (X) и результатов кластерного анализа по форме сейсмической записи (Y).

Весьма интересным участком является высокоамплитудная зона на границе районов В и Г. По значениям всех динамических параметров, исследуемых в работе, она близка к продуктивному карбонатному блоку в пределах месторождения Б. Учитывая субмеридиональный региональный тренд распространения тектонических элементов (разрывные нарушения, линейные структуры эрозионно-тектонических выступов) эта зона, вероятно, может быть продолжением девонского карбонатного блока.

Заключение

Динамическая интерпретация данных сейсморазведки может существенно повысить качество геолого-геофизического анализа для доюрских отложений, уточнить границы блоков, выявить и оконтурить новые перспективные зоны. Однако данные методы не будут работать без привязки к априорной геологической информации, понимания концептуальной модели формирования доюрских отложений. В пределах исследуемой территории одни и те же значения динамических параметров привели к совершенно разным выводам в пределах участков А, Б, В, Г и далеко не все логические заключения корректно переносить с одного участка на другой ввиду различий в их геологическом строении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верниковский В. А., Добрецов Н. Л., Метелкин Д. В., Матушкин Н. Ю., Кулаков И. Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1083—1107.
2. Гаврилов В. П. Мобилистские идеи в геологии нефти и газа // Геология нефти и газа. – 2007. – № 2. – С. 41–47.

3. Канакова К.И., Канаков М.С., Критерии выделения коллекторов в отложениях фундамента юго-восточных районов Западной Сибири по данным сейсморазведки // ГеоКалининград-2021. Нефтегазовая, рудная геология и геофизика: Сборник трудов X Международной научно-практической конференции (г. Калининград, 26-30 апреля 2021) – Тверь: ПолиПРЕСС, 2021. – С. 12-17

4. Метод k-средних — Википедия (wikipedia.org)

5. Мочалкина Л. Н. О нефтегазоносности Западной Сибири с позиций мобилизма // Вестник Югорского государственного университета. – 2009. – Вып. 3 (14). – С. 70–73

© К. И. Канакова, 2024