



УДК 551.243.6

ПРИМЕР ДЕТАЛЬНОГО ОБЪЕМНОГО СТРОЕНИЯ СДВИГОВЫХ ЗОН ПО ДАННЫМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ 3D-СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.М.Никишин, К.Ф.Старцева (Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова)

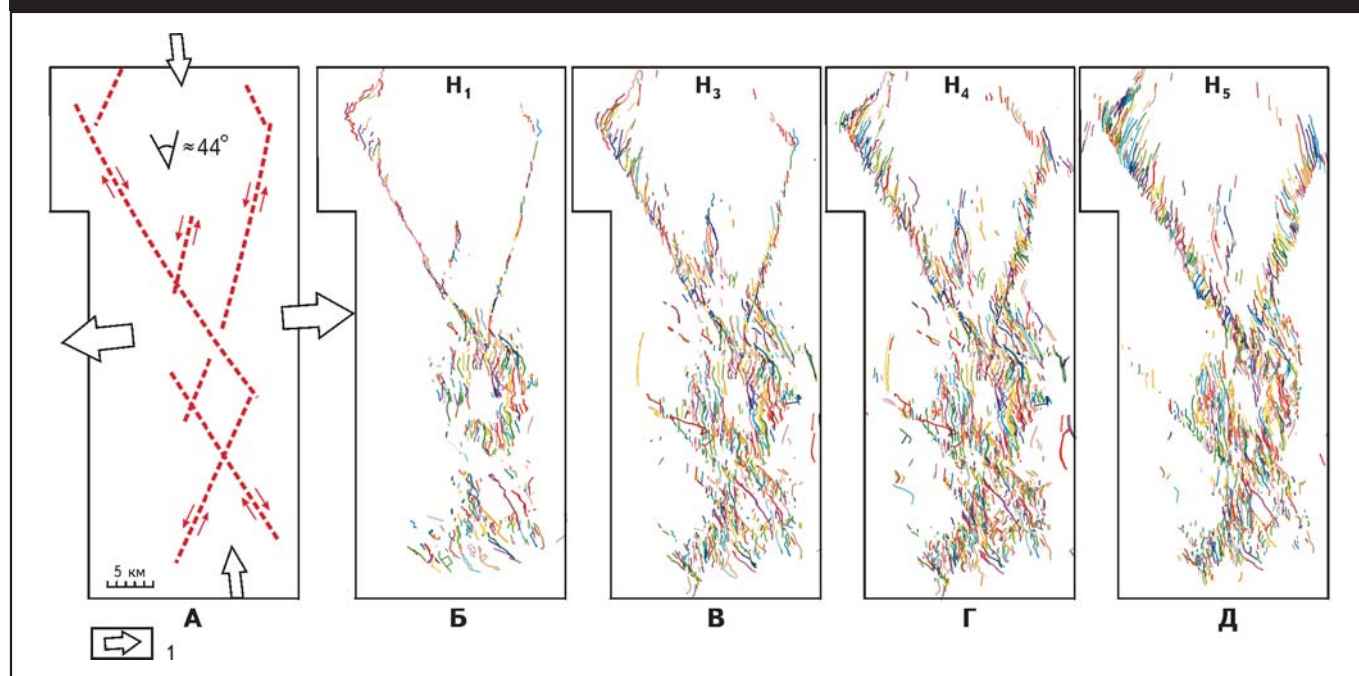
Исследование разрывных нарушений сдвиговых зон представляется актуальной задачей для нефтегазовой геологии, поскольку велика роль тектонических структур в формировании флюидо-динамических систем. Сейсмические данные 3D позволяют исследовать строение разрывных нарушений сдвиговых зон в условиях реально существующего геологического пространства. В статье описаны детальные геометрические характеристики разрывных нарушений нескольких сопряженных сдвиговых зон, полученные в результате анализа новейших данных сейсмики 3D. Выявлены закономерности пространственного расположения и оперяющих разломов, построены эмпирические модели соотношения сдвига в фундаменте и оперяющих разломов в осадочном чехле.

Ключевые слова: сдвиговые зоны; оперяющие разломы; сдвиги Риделя; цветковые структуры.

Анализ 3D-сейсмических данных показал, что сдвиговые зоны широко распространены в осадочных чехлах большинства осадочных бассейнов. В России они были выделены в Западной Сибири, Каспийском море, районе Сахалина, Тимано-Печорской провинции и дру-

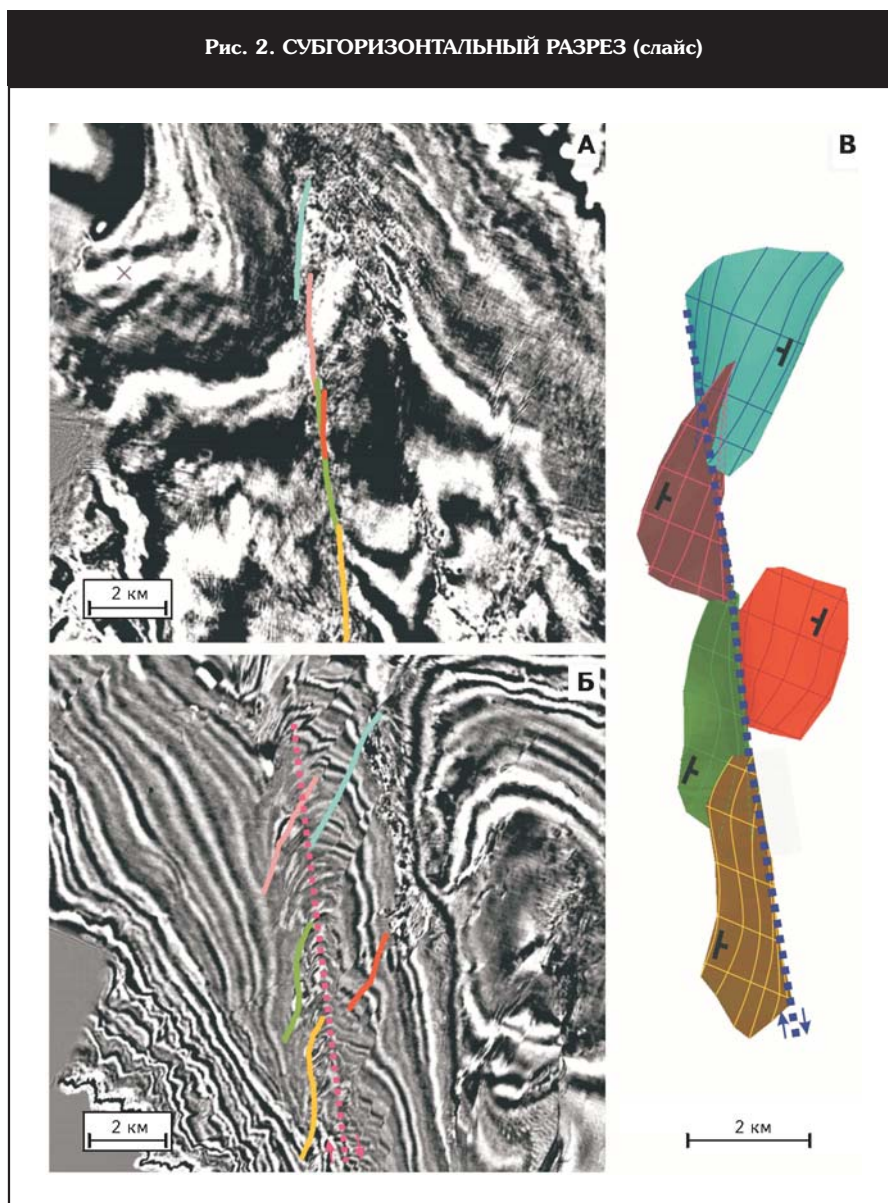
гих регионах. Известны только отдельные работы, основанные на 3D-сейсмических данных [1-4]. В то же время сдвиговые зоны изучают на основе аналогового физического и математического моделирования. Обзор этих работ представлен в [5-7].

Рис. 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТРОЕНИЯ СДВИГОВЫХ ЗОН ПО АНАЛИЗУ 3D-СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ



А – гипотетическое расположение сдвиговых зон в условном фундаменте, Б-Д – расположение разломов на разных стратиграфических уровнях снизу вверх над зонами сдвигов (H_1 , H_3 - H_5 – разные структурные поверхности); 1 – направления относительного сжатия и растяжения

Рис. 2. СУБГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ (слайс)



Системы сдвигов: А – примерно в кровле условного фундамента (отдельные разломы выстраиваются в единую линию сдвиговой зоны), Б – в осадочном чехле над зоной сдвига (отдельные единичные сдвигобросы ориентированы диагонально относительно линии сдвига в фундаменте), В – графическая иллюстрация строения разломной зоны в объеме с направлением наклона сбросов

Изучение морфологии и кинематики разломов необходимо для нефтегазовой геологии, в том числе при изучении УВ-систем. На протяжении истории развития разломы могут выступать в качестве как экранов, так и проводников для УВ. Зоны разломов часто бывают хорошими трещинными коллекторами. Изучение зон современных разломов важно для прогнозирования инженерных свойств дна при морском бурении.

Для детального изучения сдвиговых зон авторы статьи использовали сейсмический куб данных для одного из осадочных бассейнов, представленный компа-

нией «Роснефть». В изученном районе имеется куполовидная антиклинальная складка, которая пересечена системой сопряженных сдвигов двух направлений (рис. 1). В стратиграфическом расчленении осадочного бассейна можно выделить две основные единицы: нижнюю карбонатную и верхнюю терригенную (в основном глинистую).

Авторы статьи проанализировали данные по сейсмическому кубу в масштабе глубин. Были дешифрованы разломы по всему сейсмическому кубу в программном пакете «Kingdom». В результате было получено 1912 3D-поверхностей разломов разного масштаба.

В кровле толщи карбонатов, которую авторы статьи рассматривают как условный фундамент, выделяются системы сдвигов. На сейсмических слайсах (субгоризонтальных срезах по поверхности кровли карбонатов или условного фундамента) они представлены в виде цепочек разломов, объединенных в одну прерывистую линию (рис. 2). В вышележащей толще над сдвигами в условном фундаменте на 2D-сейсмических профилях выделяются многочисленные малоамплитудные сдвигобросы (рис. 3). На субгоризонтальных слайсах эти малоамплитудные сдвигобросы выглядят как полосы с диагонально ориентированными разломами (см. рис. 2). В целом такое сочетание разломов называется «сдвигами Риделя» (название дано по фамилии исследователя, который впервые провел их физическое моделирование) [6].

Основные сдвиги в условном фундаменте (в толще карбонатов) образуют две крупные сдвиговые зоны, угол между которыми по оси сжатия равен 44° (см. рис. 1). Выделяются и другие зоны сдвигов, параллельные основным.

В кровле фундамента от основных сдвиговых зон в осадочный чехол уходят вверх многочисленные малоамплитудные сдвигобросы как оперяющие разломы для главного сдвига (здесь мы их назовем «единичными сдвигобросами»). В их нижнем основании они ориентированы вдоль главного сдвига, а уходя вверх плос-

кости отдельных единичных сдвигобросов, постепенно меняют свой азимут простираения на угол 20-30 (см. рис. 3), образуя диагонально ориентированные плоскости разломов вдоль полосы сдвиговой зоны.

Были построены карты линий пересечения поверхностей всех изученных разломов с поверхностями стратиграфических горизонтов, полученных при интерпретации 3D-данных — полигоны разломов (см. рис. 1). На них видно, что при движении от глубинных частей разреза к поверхности происходит разворот многочисленных поверхностей единичных сдвигобросов. При этом в глубинных частях разреза разломы одной сдвиговой зоны выстраиваются в единую поверхность смещения, когда как в верхних частях общее смещение распределяется по отдельным разломам, на 20-30 повернутым от поверхности сдвига.

Плоскости сдвигобросов в чехле имеют эллиптическую форму: их типичная длина составляет около 4 км, а вертикальная высота — 2,5-3,0 км. Амплитуды смещения достигают 150 м.

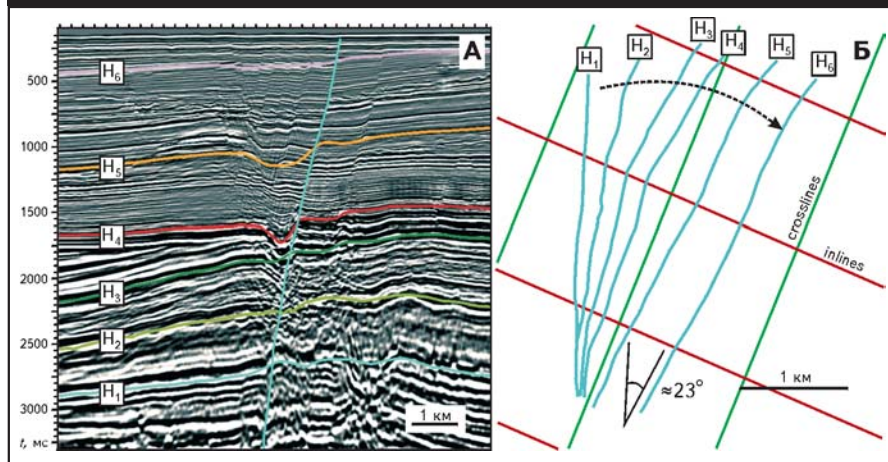
Выявлены следующие закономерности расположения оперяющих единичных сдвигобросов в осадочном чехле относительно плоскости сдвига в условном фундаменте (рис. 4).

1. Единичные сдвигобросы в чехле начинаются от линии сдвига в фундаменте и, распространяясь вверх, постепенно разворачиваются и начинают располагаться диагонально относительно линии главного сдвига. Угол разворота достигает 30 и больше.

2. Единичные сдвигобросы образуют две кулисные серии по разные стороны от главного сдвига. Как правило, единичный сдвигоброс не пересекает линию главного сдвига, а распространяется только по одну от него сторону.

3. Сдвигобросы двух кулисных серий по разные стороны от главного сдвига наклонены в противоположные стороны.

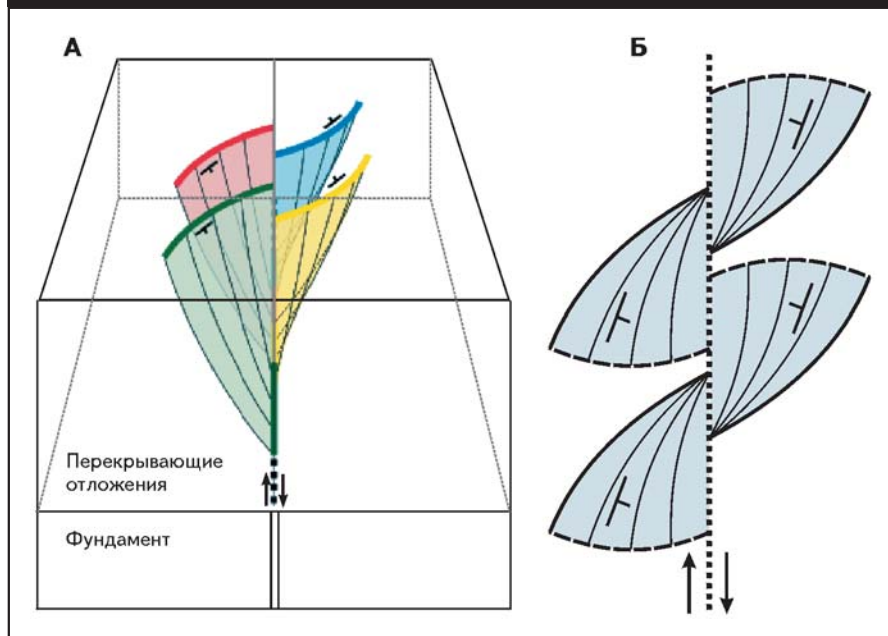
Рис. 3. ЕДИНИЧНЫЕ СБРОСОСДВИГИ



А — пример вида на глубинном сейсмическом разрезе 2D, Б — изменение простираения по мере его продвижения вверх от нижней структурной поверхности (H_1) к верхней (H_6)

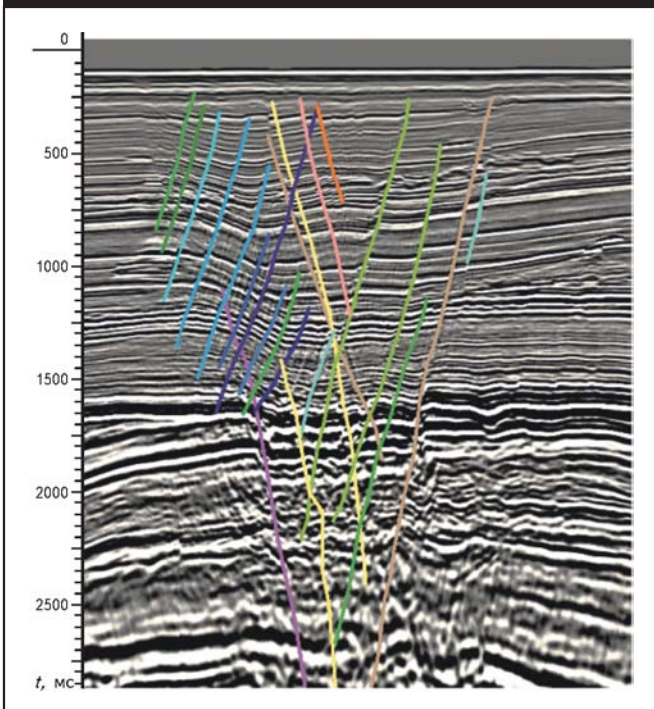
Единичные сдвигобросы при детальном изучении имеют сдвиговую компоненту смещения. Изучение сейсмических данных показывает, что данные единичные сдвигобросы образуют миниатюрные отрицательные цветковые структуры, т.е. основной сдвигоброс сопря-

Рис. 4. МОДЕЛЬ СООТНОШЕНИЯ СДВИГА В УСЛОВНОМ ФУНДАМЕНТЕ И ЕДИНИЧНЫХ СБРОСОВ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ



А — вид в объеме, Б — вид сверху; единичные сдвигобросы образуют кулисные серии разломов по разную сторону сдвига, при этом кулисные серии сдвигобросов по разную сторону сдвига наклонены в противоположные стороны, плоскости единичных сдвигобросов вверх меняют простираение с увеличением угла с зоной сдвига

Рис. 5. ВИД ЕДИНИЧНЫХ СБРОСОВ НА 2D-СЕЙСМИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ

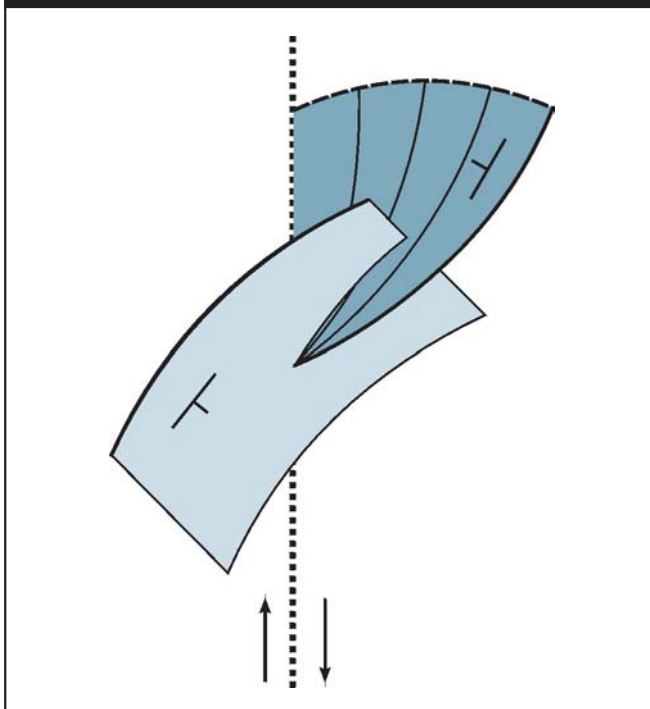


С единичными сдвиго сбросами связаны миниатюрные отрицательные цветковые структуры (зоны сдвигорастяжения); синтетические и антитетические сбросы относительно главных единичных сбросов являются оперяющими относительно последних

жен с системой синтетических и антитетических сбросов (рис. 5) с амплитудой смещения до 50-100 м, протяженностью от сотен метров до 4 км и достигающих в высоту 3 км. Эти разломы являются оперяющими для единичных сбросов. Вероятно, они также являются сбрососдвигами (рис. 6). Можно предполагать, что и эти малоамплитудные сбрососдвиги в свою очередь имеют оперяющие разломы. И так далее. В итоге мы видим насыщение осадочного чехла сдвиго сбросами все меньшего порядка.

В данной статье авторы не делали какие-либо выводы о механике образования разломов, а стремились

Рис. 6. МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ЕДИНИЧНОГО СДВИГОСБРОСА И ОПЕРЯЮЩЕГО ЕГО СБРОСА МЕНЬШЕГО РАНГА



Плоскость оперяющего сброса пересекает линию главного сдвига и наклонена в противоположную сторону наклона единичного сброса

дать детальную геометрическую характеристику строения сдвиговых зон в осадочном чехле.

Модель строения сдвиговых зон авторов статьи несколько отличается от широко известной модели Г.Н.Гогоненкова и А.И.Тимурзиева [4]. По авторской модели, единичные сдвиго сбросы распространяются на глубине вверх от главного сдвига только в одну сторону от главного разлома. Также отмечена большая роль оперяющих сдвиго сбросов для «единичных сдвиго сбросов». Именно эти оперяющие разломы распространены в обе стороны от главного сдвига на глубине, но не соединены с ним.

THE EXAMPLE OF VOLUMETRICAL STRUCTURE OF SHIFT ZONES ACCORDING TO 3D SEISMIC DATA INTERPRETATION

Nikishin A.M., Startseva K.F. (Lomonosov Moscow State University)

The investigation of the shift zone dislocation with a break of continuity is an urgent problem of oil and gas geology as tectonic structures play an important role in the formation of fluid-dynamic systems. 3D seismic allows to investigate the structure of the discontinuous dislocations of the shift zones under the conditions of a real geological space. The article presents detailed geometrical characteristics of the dislocations of conjugate shift zones. The characteristics were obtained with the help of new 3D seismic data analysis. The regularities of the spatial location of feathering faults were determined and the empirical models of the basement shift – feathering fault relation were constructed.

Key words: shift zones; feathering faults; Riedel shifts; flowering structures.

Литература

1. **Короновский Н.В.** Роль сдвига вдоль горизонтальной плоскости при формировании структур «пропеллерового» типа / Н.В.Короновский, Г.Н.Гогоненков, М.А.Гончаров и др. // Геотектоника. — 2009. — № 5.
2. **Тимурзиев А.И.** Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты: автореф. дис. ... док. геол.-минер. наук / А.И.Тимурзиев. — М.: МГУ, 2009.
3. **Филиппович Ю.В.** Методика прогноза нефтяных залежей в верхнеюрских отложениях Надым-Тазовского междуречья в зонах влияния горизонтальных сдвиговых дислокаций: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / Ю.В.Филиппович. — М.: МГУ, 2011.
4. **Gogonenkov G.N.** Strike-slip faulting in the West Siberian Platform: insights from 3D seismic imagery / G.N.Gogonenkov, A.I.Timurziev // Comptes Rendus Geoscience. — 2012. — 344.

5. **Wu J.E.** 4D analogue modelling of transtensional pull-apart basins / J.E.Wu, K.McClay, P.Whitehouse, T.Dooley // Marine and Petroleum Geology. — 2009. — V. 26. — № 8.
6. **Dooley T.P.** Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: a review and new experimental results / T.P.Dooley, G.Schreurs // Tectonophysics. — 2012. — V. 574-575.
7. **Ребецкий Ю.Л.** Глубинная неоднородность напряженного состояния зон горизонтального сдвига / Ю.Л.Ребецкий, А.В.Михайлова // Физика Земли. — 2014. — № 6.

© А.М.Никишин, К.Ф.Старцева, 2015

Никишин Анатолий Михайлович,
заведующий кафедрой,
доктор геолого-минералогических наук,
amnikishin@gmail.com;

Старцева Ксения Федоровна,
аспирант,
kfstartseva@gmail.com.

К юбилею Владимира Львовича Шустера

20 июля 2015 г. Владимиру Львовичу Шустеру, доктору геолого-минералогических наук, профессору, почетному нефтянику РФ исполнилось 80 лет.

После окончания в 1959 г. Московского нефтяного института им. И.М.Губкина (ныне РГУ нефти и газа) В.Л.Шустер до 1962 г. работал в Березовской экспедиции Тюменского геологического управления в должности геолога, старшего геолога разведочных партий. Участвовал в открытии ряда газовых месторождений, был первооткрывателем Похромского месторождения. С 1962 по 1967 г. работал в Союзной геолого-поисковой конторе (СГПК) геологом, старшим геологом тематической партии. Участвовал в создании подземных нефтехранилищ.

С 1967 по 1991 г. Владимир Львович работал в РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина старшим научным сотрудником, начальником Туркменской, а затем и Мурманской экспедиций Университета. В этот период он досрочно защитил кандидатскую диссертацию. По результатам научных исследований был опубликован ряд статей, книг и обзоров, подготовлены и прочитаны студентам курсы лекций по морской геологии, освоению морских месторождений нефти и газа, геолого-математической статистике; под его руководством защищено 10 дипломных работ.

Затем, с 1991 по 1995 г., В.Л.Шустер работал в Российско-Вьетнамском совместном предприятии заведующим лабораторией, главным специалистом. В качестве ответственного исполнителя им подготовлен ряд отчетов по созданию геологической модели нефтяных месторождений Белый Тигр и Дракон, участвовал в подсчете запасов этих месторождений. За этот период, благодаря усилиям российских и вьетнамских специалистов, добыча нефти во Вьетнаме увеличилась более чем в 10 раз.

С 1995 по 1999 г. В.Л.Шустер работал во ВНИГНИ-2 главным геологом отдела. В этот период им подготовлены и опубликованы два обзора по нефтегазоносности фундамента (по заказу ОАО «Зарубежнефть» и НК «ЛУКОЙЛ») и ряд статей. В 1997 г. в составе группы российских специалистов Владимир Львович участвовал в работе по переоценке нефтегазовых ресурсов Бомбейского шельфа.

С 1999 по 2007 г. он работал в ОАО «Центральная геофизическая экспедиция» в должности главного геолога, участвовал в создании ряда инструкций по использованию материалов сейсморазведки 2D и 3D при проведении геолого-разведочных работ и подсчете запасов нефти и газа.

В 2001 г. В.Л.Шустер защитил докторскую диссертацию. С 2007 г. по настоящее время он работает в ИПНГ РАН главным научным сотрудником лаборатории анализа осадочных бассейнов, руководит проектом по программе Президиума РАН «Нефтегазоносность глубокозалегающих отложений Западной Сибири». По этой проблематике только за последние 10 лет им опубликовано 3 книги, около 50 статей и тезисов докладов. В качестве профессора кафедры «моделирования месторождений углеводородов» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина им подготовлен ряд курсов для магистрантов. Под его руководством защитили диссертации 9 магистров и 1 кандидат наук.

В.Л.Шустер является экспертом ГКЗ Роснедра РФ, членом редакционного совета журнала «Экспозиция Нефть Газ», членом ЕАГО. В 2002 г. избран действительным членом РАЕН, за научные достижения награжден бронзовой и серебряной медалями имени В.И.Вернадского. Удостоен звания «Почетный нефтяник».



Редколлегия журнала «Геология нефти и газа»