

4. Поцелуев А.А., Котегов В.И. Благородные металлы в Калгутинском редкометальном месторождении (Горный Алтай) // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: Матер. Всерос. симп. – М.: ООО "СВЯЗЬ-ПРИНТ", 2002. – С. 206–210.
5. Dresselhaus M.S., Pimenta M.A., Eklund P.S. // Raman scattering in materials science. W.H. Weber, R. Merlin, eds. Springer Series in Materials Science 42. – New York: Springer-Verlag, 2000. – P. 314.
6. McCulloch D.G., Gerstner E.G., McKenzie D.R. et al. // Phys. Rev. B. – 1995. – V. 52. – P. 850–857.
7. Поцелуев А.А., Котегов В.И. Зональность и закономерности в соотношении содержаний химических элементов в жилах и околожилных грейзенах (Калгутинское месторождение) // Известия вузов: Геология и разведка. – 2002. – № 4. – С. 59–66.
8. Фор Г. Основы изотопной геологии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 590 с.
9. Дергачев В.Б., Никитина Е.И. Содержание воды и углекислоты и кинетика их выделения из кварцев вольфрамовых месторождений юго-востока Горного Алтая // Минералогия и петрография пород и руд главнейших рудных районов Сибири. – Новосибирск, 1983. – С. 18–27.
10. Кужельная Е.В., Дергачев В.Б. Вертикальная зональность разноглубинных вольфрамовых месторождений Горного Алтая // Геология и геофизика. – 1990. – № 5. – С. 59–67.

УДК 550.831.05(571.1)

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ НА ЭТАПЕ РАЗВЕДКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.Н. Устинова

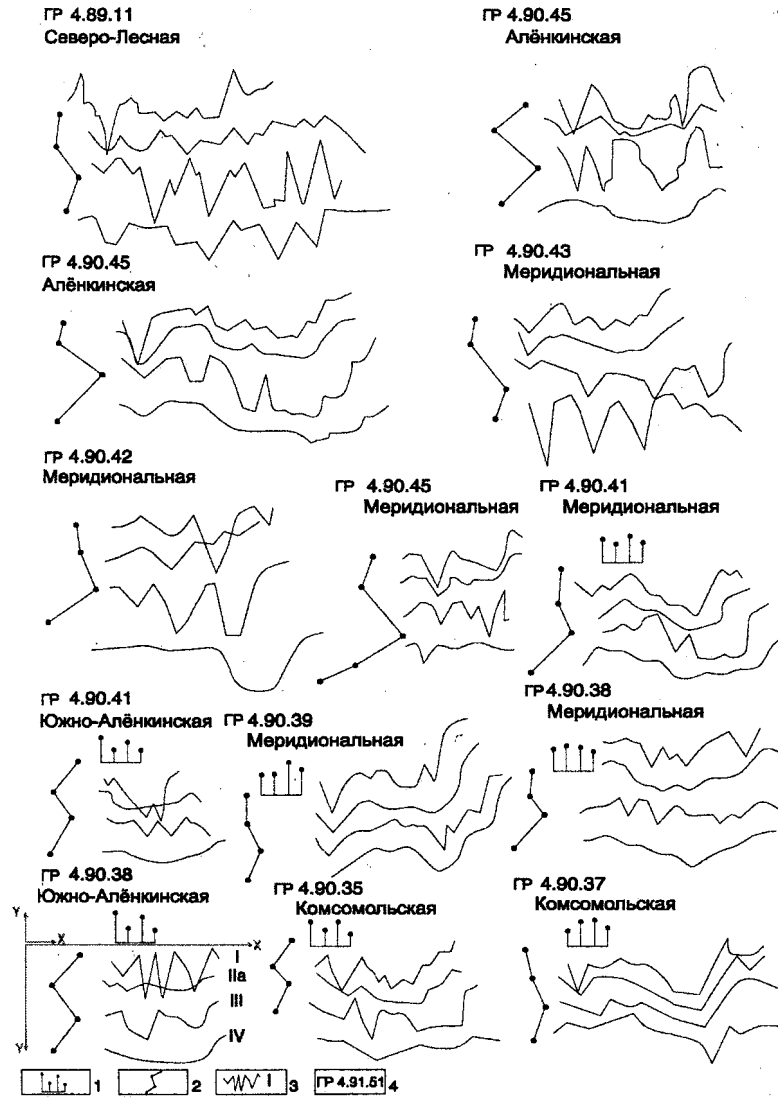
Томский государственный университет  
E-mail: ustinaova@ggf.tsu.ru

*На этапе разведки нефтяных и газовых месторождений новые возможности сейсморазведки открываются в развитии морфоструктурного анализа, разработке методик изучения величин скоростей. Совершенствование интерпретационных приёмов в геологическом истолковании скоростных параметров, разработка структурно-геометрических критериев анализа рельефа палеоповерхности позволяют внедрить в практику геолого-геофизических исследований новые способы прослеживания тектонических нарушений, систематизации тектонической трещиноватости, выявления и оконтуривания нефтегазоносных ячеек коллекторов.*

Сейсморазведка – один из основных источников информации для нефтяной геологии. Сейсмические структурные карты, сейсмические параметры: скорости, амплитуды отражённой волны дают представление о структурно-литологических характеристиках нефтегазоносного разреза. Потенциал сейсмических данных не полностью исчерпан. Важность материалов сейсморазведки для решения поисковых и разведочных задач на нефтяных и газовых месторождениях бесспорна. Временные сейсмические разрезы, сейсмические структурные карты, динамические параметры позволяют создать геологическую модель среды, вмещающей залежи углеводородов, изучить основные неоднородности разреза, тесным образом связанные с её нефтегазоносностью. Сейсморазведка находит применение при сейсмолитологических построениях, тектонических реконструкциях на месторождениях нефти и газа. Динамические параметры сейсмического разреза позволяют оценивать эффективные параметры коллекторов и их нефтегазонасыщение. Однако, на взгляд автора, не достаточно используются величины скоростей, в том числе эффективные скорости, получаемые при расчётах вертикальных и горизонтальных спектров скоростей или при сканировании временных разрезов с перебором скорости и оценкой когерентности изображения границ

[1]. Некоторая оторванность этапов обработки сейсмического материала, которая, зачастую, выполняется производственными организациями, от этапов интерпретации порождает целый ряд проблем, среди которых не маловажной является отсутствие или недостаточное качество данных о скоростях. Существенное искажение структурных карт, в случае применения для построения палеоповерхности скоростных параметров, определённых в различных способах тестирования величин скоростей, по результатам оценки интервальных скоростей, с использованием вертикальных и горизонтальных спектров скорости  $V_{OГТ}(t)$  и  $V_{OГТ}(x)$  (в том числе, с пересчётом эффективных скоростей в средние и истинные [2]), породило мнение о некорректности их оценок, высокой степени влияния на величины скоростей неоднородностей верхней части разреза. В результате чего уникальная информация, содержащаяся в скоростях, зачастую, не используется, теряется.

Погоризонтный анализ параметров эффективной скорости  $V_{OГТ}(x)$  на ряде месторождений Томского Приобья (рис. 1) показал, что величины скорости очень чувствительны к литологической латеральной и вертикальной изменчивости разреза, в них контрастно проявляются аномалии, связанные с залежами углеводородов. Петрофизические исследу-



**Рис. 1.** Графики аномалий величин скорости по отражающим горизонтам сейсмических разрезов на месторождениях Нижневартовского свода: 1) гистограммы аномалий величин скорости, в последовательности горизонтов: I, IIa, III, IV, в 1 см по оси Y величина  $V_a = 500$  м/с; 2) график изменения аномальных величин скорости по вертикали; 3) аномалии величин скорости в продуктивных частях разреза по горизонтам, в 1 см по оси Y величина  $V_a = 200$  м/с, по оси X – 1000 м; 4) сейсмические профили.

дования и изучение величин интервальных скоростей по скважинным данным [3] дают основание утверждать, что в контуре нефтегазоносности появляются относительные отрицательные аномалии величин скоростей, причём в нефтегазоносной скважине наблюдается понижение значений скорости в обширном интервале над залежью. Контрастные скоростные аномалии в перекрывающих залежь углеводородов отложениях проявляются практически по всем горизонтам разреза (рис. 1).

Энергии отражений, получаемые при расчёте вертикальных и горизонтальных спектров скорости, также представляют собой достаточно информативный параметр, в котором, например, зоны повышенных мощностей песчаных отложений, перетложения минералов, вынесенных из нефтегазоносных зон в результате растворения минералов скелета продуктивного песчаника, отмечают-

ся интенсивными положительными аномалиями (рис. 2) [4]. Проявление палеобереговой зоны песчаников продуктивных отложений васюганской свиты (выявляются по значениям энергии сейсмического сигнала выше 0,3 усл. ед.) в отражающем горизонте II<sub>a</sub> наглядно иллюстрирует рис. 2, б где песчаники палеоберега прослеживаются в виде полосовидной вдольбереговой зоны повышенных энергий отражений и соответственно повышенных мощностей песчаных отложений. Соответствие относительной отрицательной аномалии скорости и энергии отражения в контуре нефтегазоносности наглядно иллюстрирует рис. 3. Связь аномалий скорости с нефтегазоносностью проявляется не только в наличии аномалий в контуре продуктивной части коллектора, но и в наличии тесной корреляционной связи параметров нефтенасыщения коллектора (Западно-Катыльгинское месторождение) с

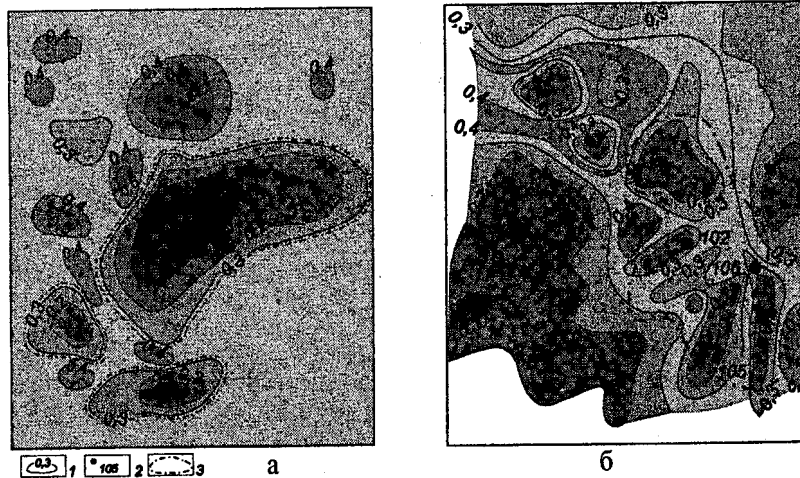


Рис. 2. Аномалии энергий отражённой волны на Мохиковском (а) и Западно-Катильгинском (б) месторождениях: 1) изоаномалы энергий отражений, в усл. ед.; 2) скважины глубокого бурения; 3) контуры нефтегазонасыщенных ячей

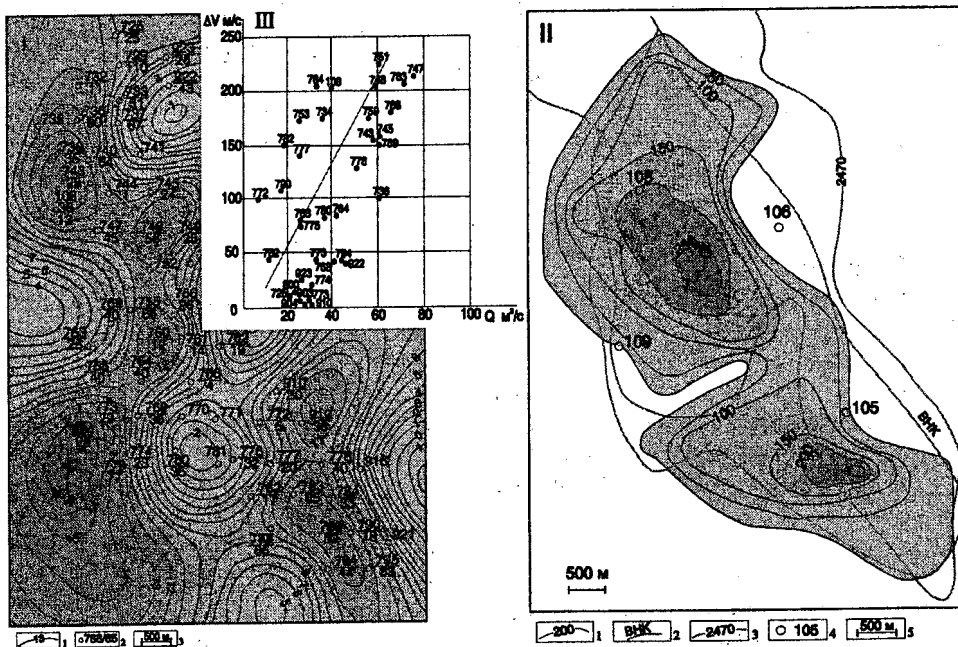


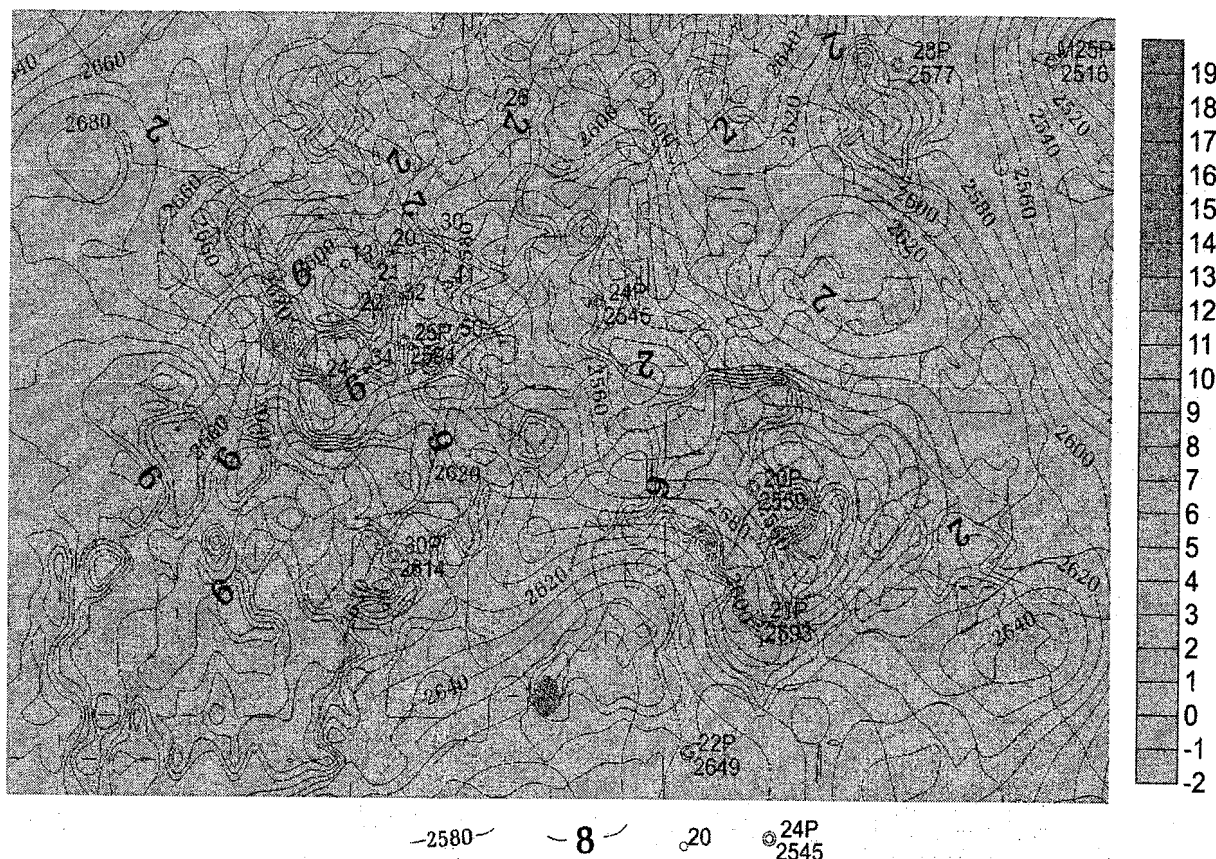
Рис. 3. Корреляция скоростных аномалий и нефтеносности пласта Ю<sub>1</sub> на Западно-Катильгинском месторождении, где на I: 1) эффективная нефтенасыщенная толщина продуктивного пласта; 2) номер скважины – в числителе, в знаменателе – дебит углеводородов, в м<sup>3</sup>/сут; 3) контур водонефтяного контакта по скважинным данным; на II: 1) изоаномалы эффективных величин скорости, в м/с; 2) контур водонефтяного контакта по скважинным данным; 3) стратоизогипса подошвы локального поднятия по горизонту II<sub>2</sub>, в м (глубина); 4) скважины глубокого бурения; 5) масштаб схемы; на III – облако регрессии параметров продуктивности пласта (Q) и интенсивности относительной отрицательной аномалии сейсмической эффективной скорости ( $\Delta V$ )

величинами аномалий интервальной скорости в точках продуктивных скважин.

Детальный анализ аномалий скорости в нефтенасыщенных зонах показывает также, что контрастные аномальные параметры характерны и для тектонических нарушений, тектонических трещин. Зоны повышенной трещиноватости, особенно в контуре нефтегазонасыщенности, характеризуются экстремумами, которые являются информативными параметрами, как с точки зрения выявления собственно зон повышенной трещиноватости, напряженно-деформированного состояния коллекторов,

так и с точки зрения аномальных величин дебитов в продуктивных пластах.

В настоящее время некоторые исследователи, при интерпретации сейсмических материалов, всё чаще останавливаются на выделении и систематизации тектонических дислокаций [5]. Изучаются и систематизируются представления о природе регулярной сети тектонических напряжений [6, 7], предпринимаются попытки оценить роль и влияние на формирование коллекторов листрических разломов; горизонтальных напряжений в бортовых частях рифтовых структур [8, 9] и др. По мнению авто-



**Рис. 4.** Прогнозные эффективные мощности песчаного пласта Ю<sub>3</sub> на Западно-Моисеевском месторождении нефти с учётом проницаемых интервалов в зонах трещиноватости: 1) изогипсы по отражающему горизонту IIa; 2) мощности в м; 3) промысловые и 4) разведочные скважины глубокого бурения

ра, не достаточное внимание уделяется выявлению, систематизации зон повышенной трещиноватости, напряжённых зон внутри коллекторов, выяснению причин высокой проницаемости коллекторов, без наличия в песчанике явно прослеживаемых систем нарушений, дислокаций.

Известные залежи углеводородов на юго-востоке Западно-Сибирской плиты сосредоточены преимущественно в верхнеюрских отложениях. Нефтегазо-насыщенные песчаники, зачастую, имеют глинистый цемент, залегают существенно в глинистых отложениях. По результатам геологического описания кернового материала продуктивных горизонтов верхнеюрских отложений (коллекция кернового материала кернохранилища ОАО ТомскНИПИнефть) на месторождениях Каймысовского свода раскрыты вертикальные трещины редко выявляются в керне, хотя на временных сейсмических разрезах в продуктивных интервалах проявляются характерные для нарушенных горизонтов смещения осей синфазности, "грабенообразные" изгибы, обнаруживаются зоны поглощения сейсмических сигналов. В керне этим участкам соответствуют интервалы повышенной седиментационной трещиноватости (таблица), в шлифах наблюдаются кливажные трещины. Для относительно ненарушенных интервалов разреза в керне выявляется тонкая, сложной структуры, трещиноватость, либо обнаруживаются дилатансионные явления. Изменчивость типа трещиноватости

в вертикальной зоне поглощения сейсмического разреза определяется литолого-фациальным строением коллектора, особенностями вертикальной смены зернистости, гранулометрических характеристик песчаника, его петрографического состава (тонкослоистость до наноуровня регистрируется и выделяется в строении песчаных тел С.Л. Афанасьевым [10]). В керне наличие наноциклитов наглядно подтверждает вертикальная отдельность квази-регулярной размерности (таблица). Нефть сосредоточена в коллекторе существенно в кливажных трещинах, степень трещиноватости и пористости в которых повышается в вертикальных трещинных зонах.

Вертикальные системы трещин на поверхности Земли возникают как результат регматических напряжений [6], проявляются как в складчатых областях, так и на платформах, на отдельных достаточно обширных территориях (первые тысячи км), имеют ограниченный набор ориентировок, закономерную иерархическую структуру вложенности [4, 11]. Возрастная изменчивость и периодическая возобновляемость напряжений в системах нарушений [12, 13] определяют на каждом этапе осадконакопления положение напряжённо-деформированных зон, "толщину экзогенно-активного слоя" в рельефе [14], способствуют формированию облика разнорядковых структур. Характер и степень деформированности, в свою очередь, контрастно прояв-

Таблица. Керн из продуктивного горизонта Ю<sub>1</sub> Двуреченского и Западно-Моисеевского месторождений

Тип трещин	Коллекторы	3-Моисеевское СКВ. 25	3-Моисеевское СКВ. 21	3-Моисеевское СКВ. 24	Двуреченская СКВ. 11	Двуреченская СКВ. 12	Двуреченская СКВ. 13
I-1 II-1 III-3 IV-3, 2 V-1, 2 VI-4, 1	поровокорвенозные I-III поровотрещинные IV-VI	 3-Моисеевское СКВ. 25, ящик 8 инт. 2691-2694	 3-Моисеевское СКВ. 21, ящик 3 инт. 2689.2-2693.1	 3-Моисеевское СКВ. 24, ящик 1 инт. 2633-2636.4	 Двуреченское СКВ. 11, ящик 1 инт. 2664.3-2669.3	 Двуреченское СКВ. 12, ящик 3 инт. 2677-2679	 Двуреченское СКВ. 13, коробка 9 инт. 2683-2686
I-1 II-2 III-3, 2 IV-2 V-4 VI-1	поровые I-IV поровотрещинные V-VI	 3-Моисеевское СКВ. 25, ящик 9 инт. 2698-2707	 3-Моисеевское СКВ. 21, ящик 4 инт. 2698.6-2703.1	 3-Моисеевское СКВ. 24, ящик 1 инт. 2633-2636.4	 Двуреченское СКВ. 11, ящик 2 инт. 2664.3-2669.3	 Двуреченское СКВ. 12, ящик 3 инт. 2684-2687	 Двуреченское СКВ. 13, коробка 9 инт. 2683-2686
I-1, 2 II-1, 2 III-4 IV-1 V-4 VI-1, 4	поровые I, II, IV поровотрещинные III, V, VI	 3-Моисеевское СКВ. 25, ящик 9 инт. 2698-2707	 3-Моисеевское СКВ. 21, ящик 5 инт. 2703.1-2705.1	 3-Моисеевское СКВ. 24, ящик 2 инт. 2643-2648	 Двуреченское СКВ. 11, ящик 3 инт. 2673.3-2677.1	 Двуреченское СКВ. 12, ящик 3 инт. 2684-2687	 Двуреченское СКВ. 13, коробка 12 инт. 2691-2692
I-2 II-1 III-1, 4 IV-1 V-1, 3 VI-4	поровые I, II, IV поровотрещинные III, IV	 3-Моисеевское СКВ. 25, ящик 9 инт. 2698-2707	 3-Моисеевское СКВ. 21, ящик 6 инт. 2712.7-2716.3	 3-Моисеевское СКВ. 24, ящик 3 инт. 2633-2651	 Двуреченское СКВ. 11, ящик 5 инт. 2686.9-2691.1	 Двуреченское СКВ. 12, ящик 3 инт. 2690-2693	 Двуреченское СКВ. 13, коробка 12 инт. 2691-2692

Фотоархив БД ОАО «ТомскНИПИнефть»

1) кляж, 2) транспрессия, 3) вертикальные трещины, 4) трещиноватость по слоистости

ляются в рельефе. Интенсивность роста поднятий в различные фазы тектогенеза характеризуется высокими градиентами поверхности, шириной зон активных нарушений [14]. Рост поднятия на сферической поверхности Земли всегда происходит в условиях продольных и поперечных напряжений, которые будут стремиться повернуть растущую структуру по или против часовой стрелки [15]. Направление структурных линий при этом тесно связано с преимущественным "вращением" структуры и распределением на ней напряжений.

Залежи углеводородов в песчаниках юрского комплекса располагаются на участках сжатия, компакци вещества. Такие сегменты рельефа, как правило, в своём обрамлении, характеризуются значительными перепадами высот, им соответствует аномальная изменчивость близповерхностной мощности песчаного коллектора. Оценка параметров приращения для высотных отметок рельефа палеоповерхностей (в совокупности с оценками приращений мощности песчаника) позволяет оконтуривать участки зонального распространения песчаных отложений, прогнозировать коллекторские свойства песчаников. Проницаемые участки коллекторов

приурочены, преимущественно, к трещинным зонам, в морфологии палеоповерхностей они проявляются объектами, для которых также характерны локальные экстремумы в перепадах высот. Основными геоморфологическими единицами палеоповерхностей, позволяющими трассировать элементы палеотектоники, являются уступы, врезы, бровки террас, долины, заливообразные осложнения, мысы, выступы и др. Так, "высокоградиентные" осложнения рельефа на этапах осадконакопления были частями мобильных, подвижных систем, своеобразными "ловушками" крупнообломочного материала. Высокоёмкие коллекторы тяготеют к таким участкам. Коллекторы в трещинных зонах (на участках существенно транспрессивного сжатия поверхности) обладают повышенными дебитами углеводородов, эта закономерность установлена на Западно-Катальгинском месторождении, проверена по результатам опробования многочисленных скважин Двуреченского и Западно-Моисеевского месторождений нефти (рис. 4). На этих месторождениях высокопроницаемые ячеи коллекторов устанавливаются на сегментах рельефа с наиболее проявленными в палеоповерхности трещинными зонами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интерпретация данных сейсморазведки. Справочник / Под ред. О.А. Потапова. – М.: Недра, 1990. – 448 с.
2. Урупов А.К., Левин А.Н. Определение и интерпретация скоростей в методе отражённых волн. – М.: Недра, 1985. – 224 с.
3. Устинова В.Н. Тектонические и флюидодинамические особенности формирования и разрушения залежей углеводородов в отложениях мезозоя Западно-Сибирской плиты. – Деп. в ВИНТИ. 12.11.2001. – № 2343-В2001. – 217 с.
4. Устинова В.Н. Залежи углеводородов, особенности их проявления в геофизических полях // Геофизика. – 2002. – № 5. – С. 25–32.
5. Шукин Ю.К. Сейсмоструктурная и минералогия // Геофизика. – 2002. – № 6. – С. 12–17.
6. Гарбар Д.И. Регмагенез древних платформ // Общая и региональная геология, геологическое картирование. Обзор ВИЭМС. – М., 1991. – 45 с.
7. Долицкий А.В. Образование и перестройка тектонических структур. – М.: Недра, 1985. – 219 с.
8. Воробьёв В.Я., Огаджанов В.А., Соломин С.В. Связь геодинамики и напряжённого состояния земной коры Восточно-Европейской платформы с нефтегазоносностью // Геофизика. – 1999. – № 4. – С. 52–56.
9. Морозов Ю.А. Структурная роль транспрессии и трансстессии // Геотектоника. – 2002. – № 6. – С. 3–24.
10. Афанасьев С.Л. Наноциклическая геохронологическая шкала датского века // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 311. – № 2. – С. 417–420.
11. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Подобие в геофизике // Природа. – 1991. – № 1. – С. 13–23.
12. Микуленко К.И., Шемин Г.Г. Трещиноватость юрских и нижнемеловых пород Обь-Иртышского междуречья // Научные труды СНИИГГиМС. – Новосибирск, 1971. – Вып. 132. – С. 90–101.
13. Шульц С.С. Планетарная трещиноватость. – М.: Недра, 1973. – 347 с.
14. Кузьмин С.Б. Оценка ширины зон активных разломов методами неотектоники и структурной геоморфологии (на примере Восточного Саяна и Западного Прибайкалья) // Геотектоника. – 1998. – № 1. – С. 37–46.
15. Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И. Ротационные структуры земной коры // Общая и региональная геология, геологическое картирование. Обзор ВИЭМС. – М., 1990. – 41 с.