

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоконов Т. В. Распределение металлопорфиринов в нефтях различных нефтегазоносных регионов // *Геохимия*. — 1987. — № 6. — С. 877—889.
2. Петров Ал. А. Геохимическая типизация нефтей // *Геохимия*. — 1996. — № 6. — С. 876—891.
3. Пунанова С. А. Геохимические особенности распределения микроэлементов в нефтях и металлоносность осадочных бассейнов СНГ // *Геохимия*. — 1998. — № 9. — С. 959—972.
4. Серебрянникова О. В., Белоконов Т. В. *Геохимия порфиринов*. — Новосибирск: Наука, 1984. — 87 с.
5. Чахмахчев В. А. Углеводороды — геохимические показатели нефте- и газоносности недр // *Геохимия*. — 1989. — № 8. — С. 1108—1119.
6. Bishop A.N., Farrimond P. A new method of comparing extended hopane distributions // *Org. Geochem.* — 1995. — Vol. 23, № 10. — P. 987—990.
7. Budzinski H., Garrigues Ch., Connan J., Devillers J., Domine D., Radke M., Oudin J.L. Alkylated phenanthrene distributions as maturity and origin indicators in crude oils and rock extracts // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* — 1995. — Vol. 59, № 10. — P. 2043—2056.
8. Chakhmakhchev A., Suzuki N. Saturate biomarkers and aromatic sulfur compounds in oils and condensates from different source lithologies of Kazakhstan, Japan and Russia // *Org. Geochem.* — 1995. — Vol. 23, № 4. — P. 289—299.
9. Hughes W.B., Holba A.G., Dzou L.I. The ratios of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* — 1995. — Vol. 59, № 17. — P. 3581—3598.
10. Jiang C., Alexander R., Kagi R., Murray A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in ancient sediments and their relationships to palaeoclimate // *Org. Geochem.* — 1998. — Vol. 29, № 5—7. — P. 1721—1735.
11. Jinxing D. Identification and distinction of various alkane gases // *Science in China.* — 1992. — Vol. 35. — P. 1246—1257.
12. Lewan M. D., Maynard J. B. Factors controlling enrichment of vanadium and nickel in bitumen of organic sedimental rocks // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* — 1982. — Vol. 46, № 12. — P. 2547—2560.
13. Mango F. The origin of light hydrocarbons in petroleum: ring preference in the closure of carbocyclic rings // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* — 1994. — Vol. 58. — P. 895—901.
14. Odden W., Patience R.L., van Grass G. Application of light hydrocarbons (C₄—C₁₃) to oil/source rock correlations: a study of the light hydrocarbon compositions of source rocks and test fluids from off shore Mid-Norway // *Org. Geochem.* — 1998. — Vol. 28, № 12. — P. 823—848.
15. Odden W., Barth T. A study of the composition of light hydrocarbons (C₅—C₁₃) from pyrolysis of source rock samples // *Org. Geochem.* — 2000. — Vol. 31, № 2,3. — P. 211—219.
16. Peters K., Moldowan J. *The biomarker guide. Interpreting Molecular Fossils in petroleum and ancient sediments.* — New Jersey; 1993. — 363 p.
17. Radke M., Garrigues P., Willsch H. Methylated dicyclic and tricyclic aromatic hydrocarbons in oil from the Handil field, Indonesia // *Org. Geochem.* — 1990. — Vol. 5, № 1. — P. 17—34.
18. Ten Haven H.L. Application and limitations of Mando's light hydrocarbon parameters in petroleum correlation studies // *Org. Geochem.* — 1996. — Vol. 24, № 10, 11. — P. 957—976.
19. Waples D.W., Machihara T.S. *Biomarkers for geologists — a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology* // AAPG, Tulsa, Oklahoma, USA, 1992. — P. 74101.

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.83.01

НОВЫЕ МНОГОЧАСТОТНЫЕ МЕТОДЫ В ПОЛЕВОЙ И СКВАЖИННОЙ ГЕОФИЗИКЕ

И. А. Володин
(ИПНГ РАН)

Введение. В последние годы были достигнуты определенные успехи в теории нелинейных колебаний геологической среды. На этой основе удалось установить связь и определить типы взаимодействий между волновыми процессами разных частотных диапазонов в геосреде, а также обосновать теоретически многие считавшиеся аномальными явления, наблюдаемые в разных частях волнового спектра: от ультразвука до медленных волн деформаций. Полученные при этом теоретические построения могут быть положены в основу создания новых геофизических методов. Многие из этих методов, описанных ниже, потребуют всего лишь переинтерпретации информации, получаемой существующими геофизическими методами.

Приводятся основные пути создания новых геофизических технологий, основанные на современной теории нелинейной динамики геологической среды. Их характерной особенностью является синхронная обработка и интерпретация информации в двух и более частотных диапазонах, что позволит существенно увеличить глубину переработки геофизической информации.

The main ways of the creation new geophysical technology happen to in work, founded on modern theory non-linear speakers geological ambience. Their typical particularity is a synchronous processing and interpretation to information in two and more frequency range that will allow greatly enlarging the depth of the conversion to geophysical information.

При этом они позволяют определять характеристики геосреды, которые традиционными методами не определялись. Характерной особенностью нового подхода является синхронная обработка и интерпретации информации в двух и более частотных диапазонах. Теоретический базис описанных ниже методов изложен, в частности, в работе автора (Володин И.А. Нелинейная динамика геологической среды. — М.: ГУП "ВИМИ", 1999. — 230 с.).

В работе далее приводятся основные пути создания новых геофизических технологий, основанные на современной теории нелинейной динамики геологической среды.

Нелинейный сейсмоакустический каротаж в скважинах

Теоретические основы метода связаны с существованием в динамике геосреды нелинейной параметрической связи между тремя частотными диапазонами: СВЧ, акустическим и сейсмическим. Использование этой связи приводит к созданию новых методов обработки данных акустического (ультразвукового) каротажа в скважинах, которые позволяют находить в ультразвуковом диапазоне частот спектральные образы сейсмических колебаний, с одной стороны, и микроструктуры геосреды — с другой. Для повышения точности метода можно использовать комбинированное с акустическим источником активное воздействие вибратором с дневной поверхности (10...50 Гц), которое модулирует всю многочастотную спектральную картину и делает более контрастными соответствующие спектральные образы. Указанный метод можно комбинировать с электромагнитным СВЧ-воздействием ($10^9...10^{10}$ Гц) на различных интервалах разреза скважины.

Метод позволяет решать следующие *практические задачи*:

1) выделение тонкой слоистости по геофизическим данным на основе определения параметров прохождения сейсмических волн в отдельных интервалах разреза и последующей обработки имеющихся промысловых акустических и сейсмических материалов (анализ динамики ультразвукового спектра позволяет более точно, чем при традиционных геофизических исследованиях, определить скорости прохождения сейсмических волн на отдельных участках разреза, что дает возможность определять тонкую слоистость геосреды после переинтерпретации соответствующей сейсмической информации);

2) уточнение физических параметров пласта (проницаемости, структуры порового пространства, связанных состояний флюида и т. д.) в разрезе скважины по данным акустического каротажа для коррекции режимов разработки месторождений (при СВЧ-возбуждении происходит активизация комплекса параметров геосреды, определяющих ее проницаемость и структуру порового пространства, что проявляется в волновых полях ультразвукового спектра в виде огибающих сверхвысокочастотных волновых процессов).

Использование механизмов нелинейного отражения сейсмических волн для эффективного выделения продуктивных пластов методами полевой геофизики

Теоретически обосновано существование сложных режимов отражения монохроматических сейсмических волн (по аналогии с нелинейной оптикой: осциллирующее отражение, гибридизация и др.) от пластов различной толщины и с различными свойствами нелинейности. Нелинейность геосреды, в свою очередь, связана с определенными коллекторскими свойствами, наличием флюидов с различной степенью связи с породой.

Решается следующая *практическая задача*: выделение продуктивных и проницаемых пластов на основе анализа отраженного сигнала, идущего от виброисточника.

Распознавание и идентификация режимов нелинейного отражения сейсмических волн, генерируемых виброисточником на дневной поверхности, от различных пластов позволяют определить укрупненные параметры нелинейности, которые являются функциями флюидонасыщенности, структуры порового пространства, проницаемости и т. д. В результате применения метода выделяются нелинейные пласты с соответствующими коллекторскими свойствами и содержанием флюида.

В настоящее время существует ряд практически полезных поисковых геофизических методов (например, комплекс "Анчар"), которые пока не имеют достаточного теоретического обоснования. Применение данной теории позволит значительно повысить их эффективность. Предлагаемый подход практически, не требует дополнительных технических средств.

Оперативный контроль за волнами тектонических деформаций в объеме геосреды в процессе эксплуатации нефтегазовых месторождений и ПХГ с помощью сейсмического мониторинга

Построена теория существования спектральных образов волн тектонических деформаций в сейсмическом шуме, согласно которой имеется возможность выделения в диапазоне $\approx 10...10^2$ Гц спектральных образов волн тектонических деформаций диапазона $\approx 10^{-2}...10^{-4}$ Гц.

Решается следующая *практическая задача*: прогнозирование (на период в несколько дней) изменения пластового давления при эксплуатации месторождений и ПХГ.

Мониторинг спектра сейсмического шума в узлах некоторой сетки над объектом, а также ряд измерительных комплексов в скважинах позволят восстановить трехмерную динамическую картину поля деформаций в реальном времени: с дневной поверхности — вертикальные волны, в скважине — волны, распространяющиеся вдоль пласта.

Картина волн деформаций в масштабе часы—сутки позволяет эффективно прогнозировать в этих интервалах времени изменение давления в пласте и принимать соответствующие управленческие решения в процессе

эксплуатации нефтегазового объекта. Для технической реализации потребуются имеющиеся в арсенале геофизиков малоапертурные системы. Повысить точность метода можно активным воздействием на геосреду виброисточником в диапазоне $\approx 10 \dots 10^2$ Гц.

Использование нелинейного сейсмического мониторинга и механизмов нелинейного отражения сейсмических волн для эффективного выделения напряженных зон в объеме геосреды методами полевой геофизики

Теоретически обосновано существование специфического режима нелинейного отражения сейсмических волн от объема геосреды, находящегося в напряженно-деформированном состоянии.

Решается следующая *практическая задача*: определение зон повышенной опасности на природно-техногенном объекте.

Критические состояния геосреды, предшествующие горным ударам и землетрясениям, обладают специфическими свойствами мультистабильности, которые позволяют их выделять и идентифицировать в отраженных волнах, идущих от виброисточника. Для этого может быть использован так называемый метод стохастического резонанса. Сочетание этого метода с анализом волн деформаций позволит эффективно предсказывать автоволновую динамику разрядки поля напряжений, которая определяет сценарий катастрофы и места ее локализации. Можно рассмотреть проблему предотвращения этого сценария с помощью многочастотных воздействий на геосреду специального вида.

Однако указанному методу активного воздействия на геосреду должен предшествовать метод пассивного сейсмического мониторинга, определяющий необходимое время повышенной опасности и активизации подобных исследований. На основе теоретической модели, а также в результате компьютерного моделирования показано, что в геосреде формируется собственный ритм — аналог сердечного ритма. Этот ритм может быть идентифицирован с периодическими флуктуациями геофизических параметров, полученных при анализе данных экспериментальных исследований на геодинамических полигонах: длиннопериодные колебания дневной поверхности, изменения гравитационного потенциала, содержания гелия в скважинах, плотности нефти, извлекаемой из скважин. Этот ритм можно наблюдать как в спектре сейсмического шума, так и при измерениях указанных параметров.

Этот процесс с помощью бегущих по разрезу непериодических волн снимает накапливающиеся микронапряжения и предохраняет геосреду от накопления напряжений и концентрации энергии в небольших объемах с последующими катастрофическими явлениями типа горных ударов и землетрясений. С точки зрения проблем геоэкологии данный процесс может иметь особую значимость как один из предохранительных механизмов от катастрофических явлений.

В результате компьютерного моделирования показано, что диссипация энергии в большинстве случаев приводит к полному нивелированию всех флуктуаций и уничтожению собственного ритма геосреды. Таким образом, диссипативные процессы, возникающие, например, при техногенных воздействиях, нарушения экологического равновесия геосреды могут провоцировать техногенные катастрофы, причиной которых может служить исчезновение стабилизирующего ритма в геосреде. При тех же экспериментах показано, что в условиях компенсирующей подкачки энергии возникает устойчивый режим периодической перемежаемости, т. е. происходит усиление собственного ритма, ускоряющего стабилизационные процессы в геосреде. Этот результат дает возможность ставить задачу о восстановлении нарушенного экологического равновесия геосреды.

Диагностика напряженного состояния недр геофизическими методами на основе сочетания активного и пассивного сейсмического мониторинга на эксплуатируемом объекте может существенно повысить безопасность и экономичность производственного процесса.

Новые направления в развитии волновых методов воздействия на пласт

Учет нелинейности геосреды требует пересмотра многих подходов к проблеме вибровоздействия на нефтяную залежь с целью повышения нефтеотдачи. Возможное перетекание энергии воздействия в различные частотные диапазоны, сложность и множественность типов ее нелинейного распространения в геосреде, уже обнаруженные связи колебаний различных частотных диапазонов с физико-химическими процессами, а также связи между сейсмоакустическими и электромагнитными колебаниями — таков примерный набор явлений нелинейной динамики геосреды, учет которых поможет значительно повысить эффективность решения данной проблемы.

Одной из главных проблем в техническом плане является формирование специальных волновых пакетов, гарантирующих доставку в заданный объем геосреды энергии с частотами нужного диапазона. Для этого предполагается использовать специальные нелинейные резонаторы — резонаторы Фабри-Перро, Ферми-Паста-Улама и т. д.). Выходящее из таких источников воздействия волновое поле имеет конфигурацию, достаточно устойчивую к неоднородностям геосреды.

Новые подходы к анализу геофлюидодинамических процессов, основанные на нелинейных свойствах сейсмоакустического поля геосреды при интерпретации данных дистанционных методов видимого диапазона

Разлом или ослабленная зона в геосреде и особенно в кристаллическом фундаменте является резонатором, селектирующим из общего поля возмущений продольные по ортогональному направлению относительно краев разлома гармоники сейсмических волн с целочисленными соотношениями между шириной

разлома и длиной волны. При распространении волнового поля вдоль разлома может происходить трансляция энергии из глубинных слоев в осадочный чехол, сопровождающаяся массопереносом флюидов. Если в спектре возмущений литосферы преобладают низкочастотные гармоники, что характерно для равновесных состояний геосреды, то сейсмическое излучение из разлома слабое. При наличии высоких частот в неравновесной ситуации разлом становится активным, так как снизу происходит постоянная волноводная подкачка энергии.

Из места окончания резонатора-волновода под влиянием постоянных возмущений идет излучение сейсмического поля в пространство осадочного чехла, формируя на дневной поверхности образы, наблюдаемые методами дистанционного зондирования, которые могут быть аналитически исследованы на основе асимптотической формулы нелинейной дифракции Фраунгофера сейсмического волнового поля.

Когда активность разлома или интенсивность источника превышает некоторую пороговую величину, "включаются" солитонные механизмы в полях напряжений, в результате чего формируется ослабленная зона в поле напряжений вблизи разлома, выходящая на дневную поверхность.

В другом случае разлом является скрытым, не достигаем земной поверхности и перекрывается на больших или меньших глубинах. Формула нелинейной дифракции в данном случае дает линейное распределение интенсивности сейсмического поля, выходящего на дневную поверхность. В динамике ландшафта указанная интенсивность проявляется в эрозионной активности почв, обусловленной постоянной фоновой высокочастотной вибрацией. Дифракционная картина будет представлена на аэрокосмических снимках пачкой линеаментов, параллельных направлению разлома. Анализ расстояний между ними позволит определить интенсивность излучения и глубину источника.

Предлагаемая теория не требует для объяснения эквидистантности систем линеаментов привлечения гипотезы о системах регулярных нарушений в земной коре. Каждая регулярная картина дифракции требует наличия одного разлома, например, в кристаллическом фундаменте, который является излучающим источником и создает вокруг себя установившееся сейсмическое поле.

В литосфере существуют постоянно действующие *точечные* источники сейсмического излучения, кото-

рые могут находиться как в осадочном чехле, так и в кристаллическом фундаменте и глубже и представлять собой окончания каналов переноса флюидов, идущих из более глубоких геосфер. В структурах ландшафта дифракционная картина волнового поля от таких источников представляется эквидистантными концентрическими окружностями, проявляющимися на космогеологических картах в виде вложенных друг в друга *кольцевых структур*, формула для шага по радиусу между которыми выводится из условий нелинейной дифракции Фраунгофера.

Кольцевые структуры бывают осложнены системами разломов. Образы этих ситуаций на космогеологической карте представляют собой наложение дифракционных картин линеаментного и кольцевого типа. Для их интерпретации необходимо рассматривать пересечение трасс полей перпендикулярно интенсивности, идущих от разных источников в кристаллическом фундаменте по направлению к дневной поверхности. При этом, как следует из нелинейной теории, трасса распространения более сильного поля служит отражающим экраном для более слабого поля.

Эта теория применима для анализа суперпозиции полей в литосфере, распространяющихся от различных источников в фундаменте и имеющих на дневной поверхности образы, задаваемые формулами нелинейной дифракции. На космогеологической карте можно увидеть различные варианты "перекрывания" волновых полей. Как правило, поле от разломов является отражающим экраном для поля от точечных источников и перекрывает кольцевые структуры, так как поле излучения от разломов интенсивно убывает обратно пропорционально расстоянию от плоскости их симметрии, а от центрального источника — обратно пропорционально квадрату расстояния от оси аксиальной симметрии, проходящей через источник.

Указанная интерпретация позволяет получить дополнительную информацию относительно неотектонической активности литосферы. Подобные сейсмические экраны могут служить флюидоупорами, геодинамическими экранами и играть важную роль в формировании геодинамических ловушек углеводородов.

В заключение следует отметить, что развитие современной нелинейной геофизики позволяет существенно увеличить глубину переработки геофизической информации, что в целом способствует повышению эффективности геолого-геофизических исследований.