

6-12 ИЮЛЯ 2002 ГОДА,
ТОМСК, РОССИЯ

ИЗМЕРЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ КАК СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
НА ГОРОДСКОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Под редакцией Е.П. Гордова

Том 1

ENVIROMIS

2002

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Vol. 1

PROCEEDINGS

Edited by E. Gordov

RUSSIA, TOMSK,
JULY 6-12, 2002

ENVIRONMENTAL OBSERVATIONS, MODELING
AND INFORMATION SYSTEMS AS TOOLS
FOR URBAN/REGIONAL POLLUTION MIGRATION

Исследование углеводородных загрязнений подземной воды методом ЯМР

Шушаков О.А.¹, Фоменко В.М.¹, Ящук В.И.², Кривошеев А.С.², Fukushima E.³,
Кусковский В.С.⁴

¹ Институт химической кинетики и горения СО РАН, Россия, 630090,
Новосибирск, ул. Институтская, 3.

² Южно-Минусинская гидрогеологическая партия, Россия, 662801,
Красноярский край, Минусинский район, п. Селиваниха.

³ New Mexico Resonance, 2301 Yale Blvd, SE, Suite C-1, Albuquerque,
NM 87106-4237.

⁴ Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН,
Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 3.

E-mail: ¹hydro@kinetics.nsc.ru, ³eiichi@nmr.org, ⁴kuskov@uiggm.nsc.ru.

Доказано, что поверхностный ЯМР можно использовать для детектирования подземной воды в соответствующих геологических формациях на глубине до 100 м и более в зависимости от наличия естественного или техногенного электромагнитного шума. Существуют математические программы об-счета, которые показывают распределение жидкости по глубине, при условии, что жидкости распре-делены в горизонтальных слоях и не в слишком малых порах, которые не детектируются на настоящий момент. Кроме того, с помощью измерений времен релаксации возможно определять распределение по размерам пор. Текущее состояние дел было представлено на недавней конференции посвященной теме «Поверхностный ядерный магнитный резонанс (ЯМР) - Каковы возможности?», прошедшей в Берлин-ском Техническом Университете, Германия. [Ссылки доступны на http://gp8.bg.tu-berlin.de/Forschung/Projekte/SNMR/snmr_ws.htm].

Проводились эксперименты на малых глубинах по получению сигналов от известных залежей под-земных утечек бензина и дизельного топлива близ Абакана. Наблюдали сигнал со многими скоростями T_2 в местах, содержащих бензин и воду. Экспериментальная идентификация сигналов от бензина и воды была сделана на основе проведения измерений гораздо дальше от предполагаемого источника загряз-нений и получения только одной T_2 -компоненты, предполагаемо от воды. Нам не известны никакие дру-гие эксперименты по детектированию поверхностным ЯМР подземных органических загрязнителей, особенно в присутствии воды.

Применявшийся для исследований метод ЯМР-геотомографии основан на принципе резонансного возбуждения ядерной намагниченности, создаваемой протонами подземной воды в геомагнитном поле, и наблюдения сигнала свободной ядерной прецессии от этой намагниченности после выключения воз-буждающего импульса [1].

Частота магнитного резонанса в рассматриваемом случае составляет несколько килогерц, мертвое время аппаратуры - несколько миллисекунд (рис. 1). Регистрируются только способные к гидродина-мическому перемещению флюиды. Химически связанная, кристаллизационная или замерзшая жид-кость имеет более короткие времена спиновой релаксации и не регистрируется.

Аппаратура для таких исследований монтируется в автомобиле (или вездеходе). При проведении исследований урбанизированных территорий [2-4] возникает проблема электромагнитного шума. Для подавления электромагнитных помех используется антенна в форме восьмерки [5]. Более подробную информацию о методе и аппаратуре можно найти в [6].

Для детектирования углеводородных загрязнений в подземной воде на малых глубинах использо-валась антенна диаметром 17 м (рис. 2).

Проводились эксперименты на малых глубинах по получению сигналов ЯМР от известных залежей подземных утечек бензина и дизельного топлива близ Абакана (рис.3).

На рис. 4-6 в качестве примера приведены результаты исследования утечек бензина. Мощность слоя бензина в скважине № 52 (с. Калинино) составляла на момент проведения измерений 1 м 15 см при глубине скважины 11 м, уровне флюида 7.8 м. Содержание нефтепродукта в воде составляло 7.15 мг/дм³. Геолого-технический разрез скважины представлен четвертичными отложениями: 1-4 м - супеси, 4-5 м - пески среднезрелые, 5-9 м - глина со щебнем, 9-11 м - гравийно-галечные отложения.

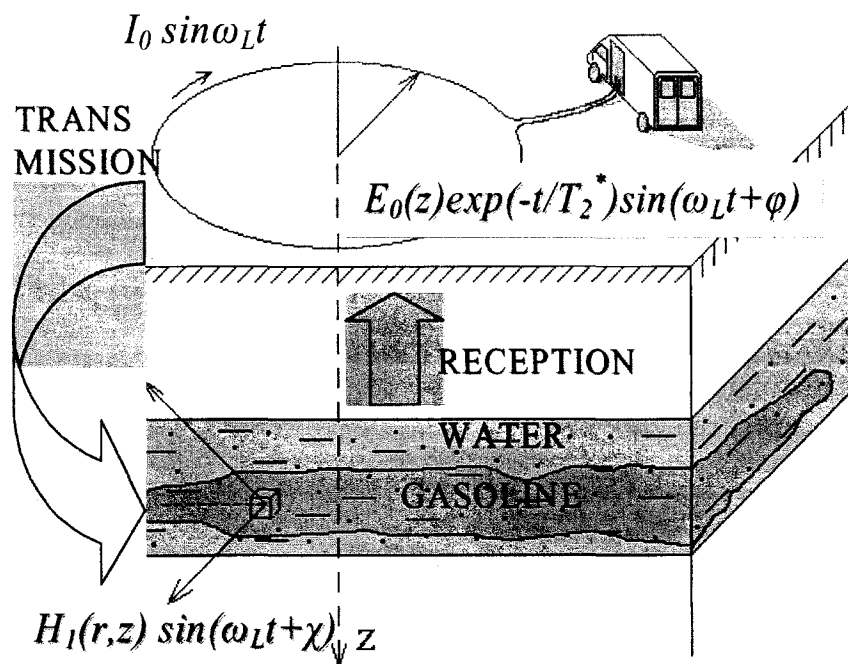
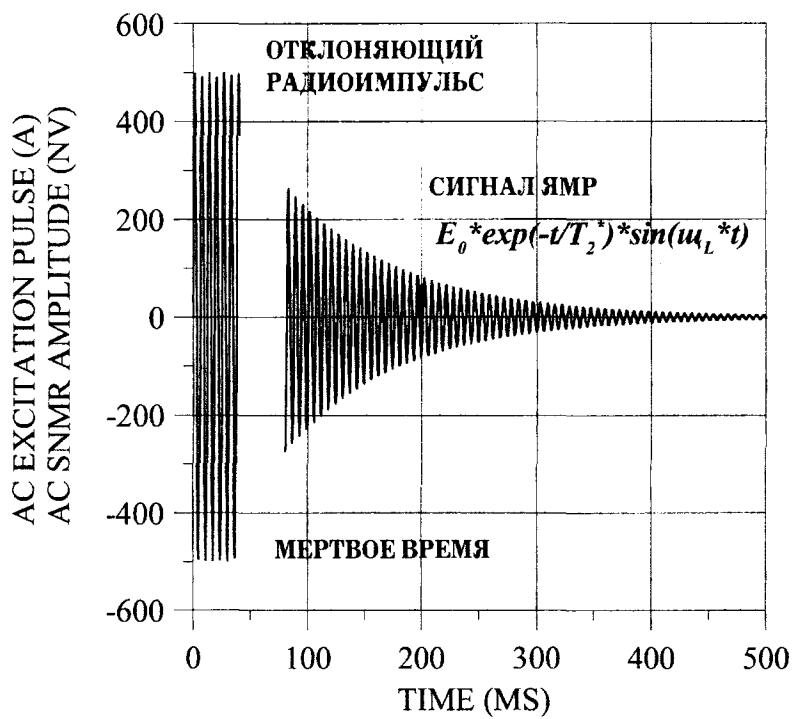
Наблюдали сигнал со многими скоростями T_2' в местах, содержащих бензин и воду (рис. 4).

Экспериментальная идентификация сигналов от бензина и воды была сделана на основе проведе-ния измерений гораздо дальше от предполагаемого источника загрязнений и получения только одной T_2' -компоненты, предполагаемо от воды (рис. 5).

Рис. 1. Принцип регистрации ЯМР-томографии в геомагнитном поле.

Ядерная спиновая намагниченность M_0 вначале параллельна геомагнитному полю H_0 . При воздействии поля $H_1(r,z)$, осциллирующего с частотой, соответствующей ларморовской частоте прецессии $\omega_L = \gamma \cdot H_0$ (порядка 2 кГц), где γ – гиромагнитное отношение протонов, намагниченность отклоняется от равновесного положения на некоторый угол. После выключения отклоняющего радиоимпульса намагниченность прецессирует вокруг геомагнитного поля H_0 с ларморовской частотой и индуцирует сигнал ЯМР – спад свободной индукции $E(z,t) = E_0(z)$

$\exp(-t/T_2^*) \cdot \sin(\omega_L \cdot t)$, осциллирующий с ларморовской частотой ω_L и затухающий с постоянной времени T_2^* – временем неоднородной спин-спиновой релаксации. Сигнал ЯМР регистрируется с некоторой задержкой («мертвое» время – порядка 30 мс для данной частоты), поэтому сигнал от связанной со стенками пор жидкости (например, вода в глине) успевае затухнуть и не регистрируется. Амплитуда ЯМР E_0 пропорциональна индексу свободного (т.е. способного к перемещению) флюида.



На рис. 6 приведена зависимость амплитуды ЯМР от времени и интенсивности возбуждающего импульса. Из данных рисунка следует, что при малых интенсивностях, когда возбуждается ядерная намагниченность на малых глубинах, наблюдается только сигнал с короткими временами релаксации, предположительно от воды. При больших интенсивностях возбуждающего импульса наблюдается сигнал с короткими и длинными временами релаксации от воды и бензина. Таким образом, распределение углеводородов в порах породы не совпадает с распределением в скважине (рис. 3).

Рис. 2. Схема детектирования углеводородных загрязнений в подземной воде с помощью ЯМР-томографии в геомагнитном поле. По петле радиуса 17 м пропускается переменный ток с частотой, совпадающей с частотой ω_L ларморовской прецессии ядер в геомагнитном поле. Ток создает переменное магнитное поле $H_1(r,z)$ той же частоты, которое поворачивает ядерную намагниченность от равновесного положения. После выключения возбуждающего импульса ядерная намагниченность прецессирует в геомагнитном поле H_0 . Получающийся при этом сигнал свободной ядерной индукции принимается той же антенной.

Рис. 3. Пример затравки подземной воды углеводородами (Абакан).

БЕНЗИН
ВОДА



Аналогичные зависимости известны в литературе [7]. Так как поровая поверхность обычно смачивается водой, в то время как, несмачивающая фаза (углеводород) не контактирует с ней, характер релаксации сигнала ЯМР от несмачивающей фазы ближе к свободному (не поровому) пространству (рис. 7).

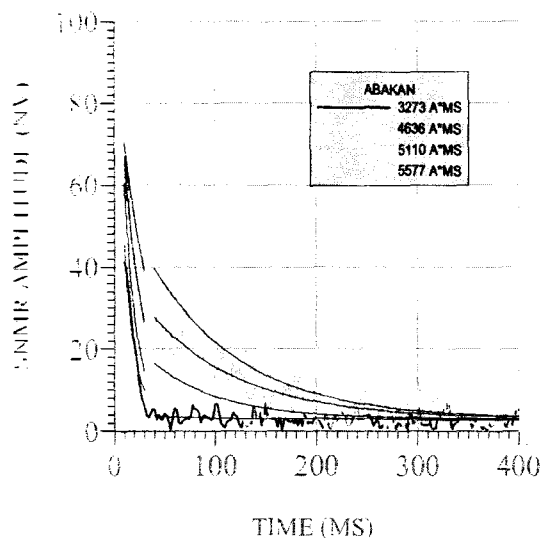


Рис. 4. Пример зависимости амплитуды ЯМР от времени при разных интенсивностях импульса. Абакан, скважина № 52.

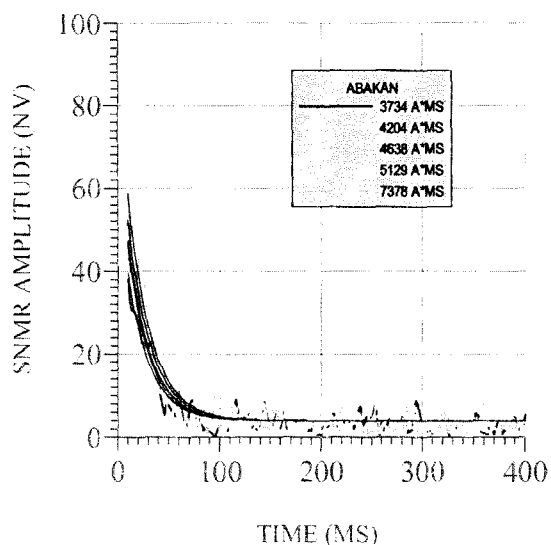


Рис. 5. Пример зависимости амплитуды ЯМР от времени при разных интенсивностях импульса. Абакан, 120 м от скважины № 52.

SNMR-AMPLITUDE (NV)
VS Q (A*MS) & T (MS)

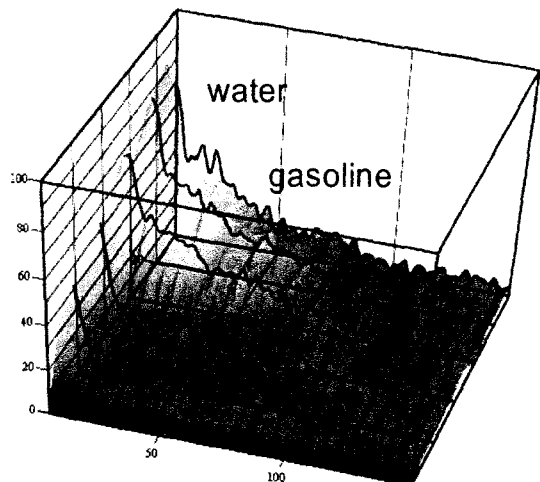


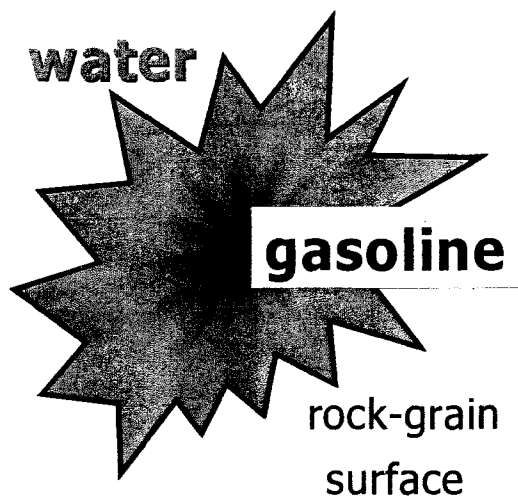
Рис. 6. Пример зависимости амплитуды ЯМР от времени и интенсивности импульса. Абакан, скважина № 52.

1. Shushakov O.A. Surface NMR measurement of proton relaxation times in medium to coarse-grained sand aquifer. Magnetic Resonance Imaging, 1996, v. 14, No.7, p. 959-960.

2. Кусковский В.С., Шушаков О.А., Красавчиков В.О., Дандамаев В.В. Использование ЯМР-томографии для решения проблем водоснабжения городов (на примере г. Горно-Алтайска). // В кн.: Город: прошлое, настоящее, будущее. Проблемы развития и управления на пороге III тысячелетия. Сборник научных трудов под ред. Р.М. Лобацкой и др., Иркутск - 2000, с. 17-21.

3. Кусковский В.С., Красавчиков В.О., Шушаков О.А. ЯМР-геотомография при гидрогеологических исследованиях. // В кн.: Материалы реги-

AQUIFER PORE



SNMR RELAXATION

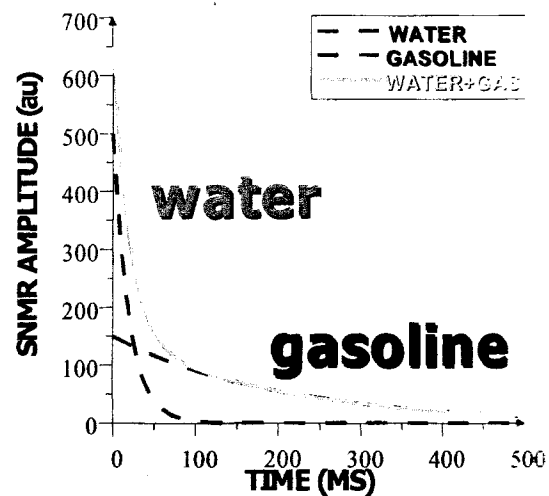


Рис. 7. Распределение флюида в поровом пространстве (левый рисунок). Поверхность поры смачивается водой, в то время как углеводород сосредоточен в объеме поры. Ядерная спиновая релаксация происходит в основном на поверхности пор, поэтому релаксация воды гораздо более интенсивна, чем релаксация бензина (правый рисунок).

ональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-востока России (гл. ред. А.В. Комаров). Томск - 2000, том. 1, с. 310-312.

4. Кусковский В.С., Шушаков О.А. ЯМР-геотомография при инженерно-геологических изысканиях на урбанизированных территориях. с. 151-156. // В кн. Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий/ Материалы Международного симпозиума (Гл. ред. В.И. Осипов). – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2001 г. – 2 тома 792 с.

5. Trushkin D. V., Shushakov O. A., Legchenko A. V. The potential of a noise-reducing antenna for surface NMR groundwater surveys in the earth's magnetic field - Geophysical Prospecting, 1994, v. 42, p. 855-862.

6. http://gp8.bg.tu-berlin.de/Forschung/Projekte/SNMR/snmr_ws.htm

7. Brown R.J.S. and Fatt I. Measurements of fractional wettability of oilfield rocks by the nuclear magnetic resonance method, Trans. Am. Inst. Min. Pet. Eng., 1956, v. 220, p. 262-264.

Hydrocarbon contamination of groundwater investigation by the NMR method

Shushakov O.A., Fomenko B.M., ¹Yashuk V.I., ¹Krivosheev A.S., ²E. Fukushima, ³Kuskovskii V.S.

Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, 3 Institutskaya str., Novosibirsk, 630090, Russia

¹South-Minusinsk geological party, Selivanikha, Minusinsk Reg., 662801, Russia

²New Mexico Resonance, 2301 Yale Blvd, SE, Suite C-1, Albuquerque, NM 87106-4237

³United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS, 3 Koptiyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

E-mail: hydro@kinetics.nsc.ru, fomenko@kinetics.nsc.ru, kuskov@uiggm.nsc.ru, eiichi@nmr.org

Surface NMR can be used to unambiguously detect subsurface water in suitable geological formations to a depth of 100 meters and more depending on the presence of natural and cultural electromagnetic noise. Numerical routines exist that yield depth distributions of the liquid, provided that the liquids are present in horizontal layers and not in pores that are too small to be detectable at present. Furthermore, determination of pore size distributions is now possible with relaxation time measurements. The current state-of-the-art was represented in a recent conference Workshop on "Surface Nuclear Magnetic Resonance (SNMR) – What is possible?" was held at Technical University in Berlin, Germany. [Abstracts are available at http://logru-berlin.de/Forschung/Projekte/SNMR/snmr_ws.htm].

Experiments were performed at shallower depths to detect signals from known deposits of subsurface gasoline and diesel fuel near Abakan. Surface NMR signals were observed with multiple T_2 relaxation rates at sites known to contain both gasoline and water. Tentative identification of gasoline and water signals was made on the basis of making measurements much farther from the apparent source of contamination retaining only one T_2 component, presumed to be water. We are not aware of any other surface NMR experiments that have detected subsurface organic contaminants, especially in the presence of water.