

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

## Использование геофизической ЯМР-томографии при гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях

Шушаков О.А.<sup>1</sup>, Фоменко В.М.<sup>1</sup>, Кусковский В.С.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН, Россия, 630090, Новосибирск, гр. Ак. Коптюга, 3.

E-mail: <sup>1</sup> hydro@kinetics.nsc.ru, <sup>2</sup> kuskov@uiggm.nsc.ru.

“Гидроскоп” - гидрогеологический ядерно-магнитно-резонансный (ЯМР) томограф - является представителем нового класса полевых геофизических приборов, предназначенных для выяснения гидрогеологических и инженерно-геологических условий без бурения скважин, поэтому он значительно удешевляет и ускоряет весь цикл геолого-разведочных работ. Это новая технология, которая может применяться на всех стадиях исследования, начиная от поисково-разведочных работ и до составления гидрогеологических или инженерно-геологических карт.

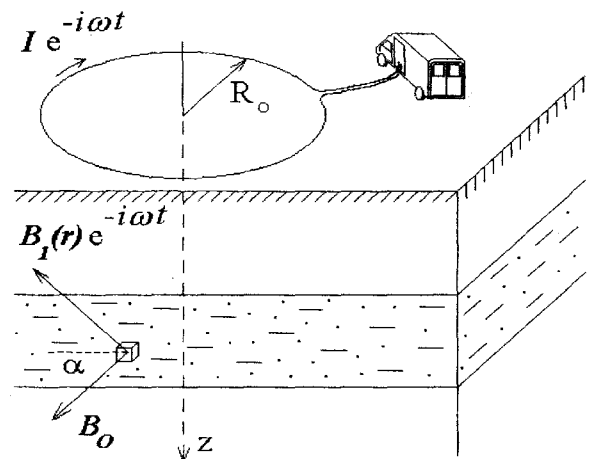
Метод позволяет производить поиск и разведку подземной воды на глубинах до 100 и более метров. Макроскопические образцы воды в порах или трещинах горных пород исследуются посредством измерения ядерной релаксации в земном магнитном поле. Возбуждение и прием сигнала ЯМР производится с помощью расположенной на поверхности антенны в форме круга или восьмерки (для уменьшения влияния внешних электромагнитных помех) размерами порядка 100 метров. Частота магнитного резонанса в рассматриваемом случае составляет несколько кГц, мертвое время аппаратуры - несколько миллисекунд. Регистрируется только способная к гидродинамическому перемещению вода. Вода в очень мелких порах водоупорных пород (например, в глинистых грунтах), химически связанная, кристаллизационная или замерзшая вода имеет более короткие времена спиновой релаксации и не регистрируется.

Распределение концентрации воды по глубине определяется посредством обращения интегрального уравнения, содержащего модельные и измеренные зависимости сигнала ЯМР от интенсивности возбуждения. Исследования скоростей спиновой релаксации позволяют получать информацию о микроструктуре пор и трещин и фильтрационных свойствах коллекторов.

“Гидроскоп” - гидрогеологический ядерно-магнитно-резонансный (ЯМР) томограф - является представителем нового класса полевых геофизических приборов, предназначенных для выяснения гидрогеологических и инженерно-геологических условий без бурения скважин, поэтому он значительно удешевляет и ускоряет весь цикл геолого-разведочных работ. Это новая технология, которая может применяться на всех стадиях исследования, начиная от поисково-разведочных работ и до составления гидрогеологических или инженерно-геологических карт.

Метод позволяет производить поиск и разведку подземной воды на глубинах до 100 и более метров. Макроскопические образцы воды в порах или трещинах горных пород исследуются посредством измерения ядерной релаксации в земном магнитном поле. Возбуждение и прием сигнала ЯМР производится с помощью расположенной на поверхности антенны в форме круга или восьмерки (для уменьшения влияния внешних электромагнитных помех) размерами порядка 100 метров (рис. 1).

**Рис. 1.** Схема эксперимента по ЯМР-томографии в геомагнитном поле  $B_0$ . По петле радиуса  $R_0$  порядка 50 м пропускается переменный ток с частотой, совпадающей с частотой ларморовской прецессии ядер в геомагнитном поле. Ток создает переменное магнитное поле  $B_1(r)$  той же частоты, которое поворачивает ядерную намагниченность от равновесного положения. После выключения возбуждающего импульса ядерная намагниченность прецессирует в геомагнитном поле. Получающийся при этом сигнал свободной ядерной индукции принимается той же антенной.



Частота магнитного резонанса в рассматриваемом случае составляет несколько килогерц, мертвое время аппаратуры - несколько миллисекунд (рис. 2). Регистрируется только способная к гидродинамическому перемещению вода. Вода в очень мелких порах водоупорных пород (например, в глинистых породах), химически связанная, кристаллизационная или замерзшая вода имеет более короткие времена спиновой релаксации и не регистрируется.

Аппаратура для таких исследований монтируется в автомобиле (или вездеходе) (рис. 2).



Рис. 2. Прибор ЯМР-геотомографии в полевых условиях.

Распределение концентрации воды по глубине определяется посредством обращения интегрально-уравнения, содержащего модельные и измеренные зависимости сигнала ЯМР от интенсивности возбуждения (рис. 3).

### Comparison of surface-NMR log with resistivity, gamma-ray, and lithological log (bore hole # 37)

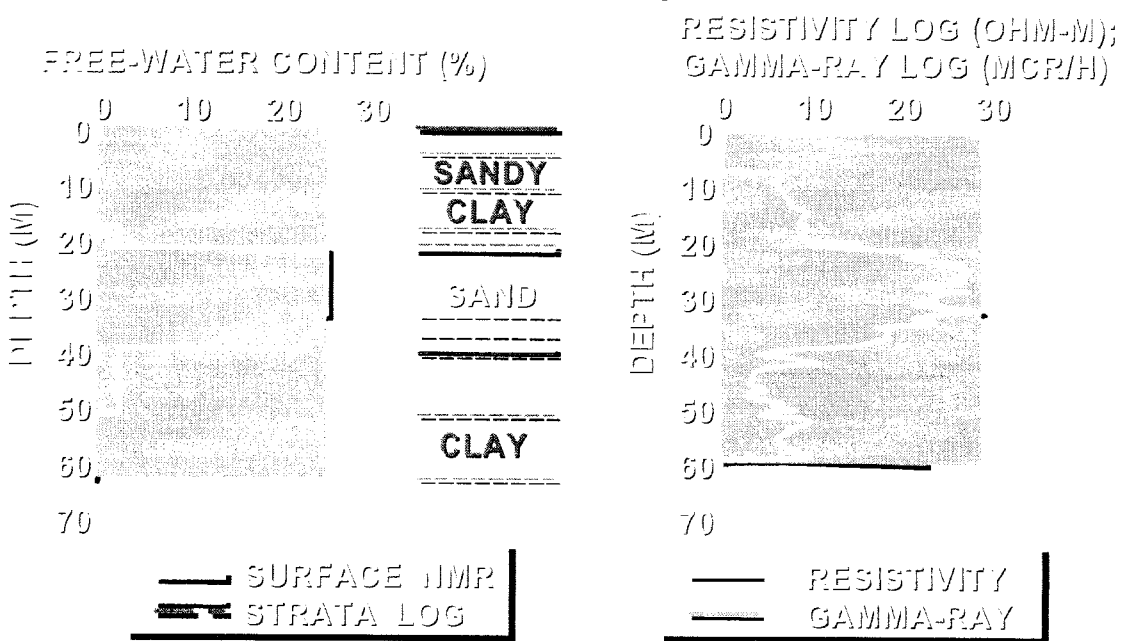


Рис. 3. Пример представления результатов ЯМР-геотомографии.

Измерение распределения воды в разных точках в плане позволяет строить карты содержания воды. Исследования скоростей спиновой релаксации позволяют получать информацию о микроструктуре пор и трещин и фильтрационных свойствах коллекторов (рис. 4).

Номер: 5.1. КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ МЕТОДА ЯМР.  
 Автор: 5.1. ВАСИЛ ТАМАРА НИКОЛАЙВНА ИЛИЯНСКА БОДЕНСКА ТОРОНТО  
 Редактор: 5.1. ДИМИТРИ НАУМОВИЧ ИЛИЯНСКИ БУДОВА АДИТОНА



1. ШУШАКОВ О. А., ЛЕГЧЕНКО А. В. Расчёт сигнала протонного магнитного резонанса от подземной воды с учётом электропроводности среды. - Геол. и геофизика, 1994, т. 35, № 3, с.130-136.  
 2. ШУШАКОВ О. А., ЛЕГЧЕНКО А. В. Протонный магнитный резонанс от подземной воды в горизонтально-слоистых средах разной электропроводности. - Геол. и геофизика, 1994, т. 35, №10, с. 161-166.  
 3. 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, pp. 855-862.  
 4. 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.  
 5. Shushakov O.A. Groundwater NMR in conductive water. Geophysics, 1996, v. 61, p. 998-1006.  
 6. Legchenko A. V., Shushakov O. A. Inversion of surface NMR data. Geophysics, 1998, v. 63, No 1, p. 75-84.  
 7. 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.  
 8. Кусковский В.С., Красавчиков В.О., Шушаков О.А. ЯМР-геотомография при гидрогеологических исследованиях. // В кн.: Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-востока России (гл. ред. А.В. Комаров). Томск - 2000, том. 1, с. 310-312.  
 9. 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.

Рис. 4. Пример представления результатов исследования водопроводности по данным ЯМР.

## Using of geophysical NMR-tomography upon hydrogeological and engineer-geological surveys

**Shushakov O.A., Fomenko B.M., Kuskovskii V.S.**

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

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

*E-mail: hydro@kinetics.nsc.ru, fomenko@kinetics.nsc.ru, kuskov@uiggm.nsc.ru*

"Hydroscope" - hydrogeological nuclear-magnetic-resonance (NMR) tomograph - is a representative of a new class of field geophysical devices, intended for determination of hydrogeological and engineer-geological conditions without drilling of wells, subsequently essentially reducing the price and time of the whole cycle of geological surveying. This is a new technology, which can be used at all stages of the research, beginning with the geological search and surveying and up to the construction of hydrogeological or engineer-geological maps.

The method allows performing the search and surveying of the groundwater at depths down to 100 and more meters. The macroscopic samples of water in pores or fractures of the rocks are studied by the measurement of nuclear relaxation in the Earth magnetic field. The excitation and reception of the NMR signal is accomplished with the help of an antenna, circle or 8-shaped (for the minimization of the outer electromagnetic jamming influence) and about 100 meters in size, placed at the surface. The frequency of magnetic resonance in the case being considered amounts to several kilohertz, the dead time of the instrumentation - several milliseconds. Water in extremely small pores of water-resisting rocks (e.g., in argillaceous grounds), chemically bound, crystallization or frozen water has smaller times of spin relaxation and is not registered.

The distribution of water concentration with depth is determined by inversion of an integral equation, including the model and measured dependencies of the NMR signal against the intensity of excitation. The study of rates of spin relaxation allows obtaining the information about the microstructure of pores and fractures, as well as the filtration properties of collectors.