

**МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**



**Материалы Международного симпозиума  
«ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ»**

Екатеринбург, Россия  
30 июля – 2 августа 2001 года

**НАЦИОНАЛЬНАЯ ГРУППА ИНЖЕНЕР-ГЕОЛОГОВ РОССИИ**

**РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ ПО МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ  
И ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИЮ**

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ПРОБЛЕМАМ  
ГЕОЛОГИИ, ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ**

**УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**АССОЦИАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЛАСТЕЙ  
И РЕСПУБЛИК УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА**

Принимающая организация:

**ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ИЗЫСКАТЕЛЬСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ «УРАЛТИСИЗ»**

**ТОМ I**

Тема 1. *Инженерная геология и рациональное использование  
урбанизированных территорий*

Тема 2. *Инженерно-геологические и инженерно-геоэкологические  
изыскания на урбанизированных территориях*

Тема 3. *Природные опасности и устойчивость городских территорий*

Издательство «Аква-Пресс»

2001

**Спонсор издания: Научно-производственный центр «КАРСТ»**

Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий / Материалы Международного симпозиума. – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС». 2001 г. – 2 тома. – 792 стр.

ISBN 5-94544-002-7

Материалы Международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» включают труды ученых и специалистов из России и стран СНГ, освещают вопросы по семи темам симпозиума. Издан компакт-диск с материалами симпозиума на английском языке, включающий также труды ученых и специалистов зарубежных стран. Публикация материалов осуществлена в редакции авторов.

Редакционная коллегия: В.И. Осипов (главный редактор), Н.А. Румянцева (зам. главного редактора), В.В. Баулин, В.И. Бондарев, О.Н. Грязнов, В.Г. Зотеев, С.Е. Лукина, Б.Н. Мельников, В.В. Лушников, И.А. Парабучев, А.Л. Рагозин, Л.И. Рыбникова, В.М. Слукин, И.С. Шахов

#### ТОМ I

- Тема 1. Инженерная геология и рациональное использование урбанизированных территорий
- Тема 2. Инженерно-геологические и инженерно-геоэкологические изыскания на урбанизированных территориях
- Тема 3. Природные опасности и устойчивость городских территорий

#### ТОМ II

- Тема 4. Техногенные изменения геологической среды урбанизированных территорий
- Тема 5. Использование подземного пространства города
- Тема 6. Методы защиты памятников истории, архитектуры и культуры
- Тема 7. Геоинформационные системы (ГИС) геологической среды урбанизированных территорий

ISBN 5-94544-002-7

© ЗАО «УралТИСИЗ», 2001

## ЯМР-ГЕОТОМОГРАФИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Кусковский В.С., Шушаков О.А.*

*Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии (ОИГГМ) СО РАН, Институт химической кинетики и горения (ИХКГ) СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

«Гидроскоп» (гидрогеологический ЯМР-томограф) является представителем нового класса полевых геофизических приборов, разработанных в Сибирском отделении РАН и предназначенных для выяснения гидрогеологических и инженерно-геологических условий без бурения скважин, в связи с чем он значительно удешевляет и ускоряет весь цикл геолого-разведочных работ. По существу создается новая технология, которая может применяться на всех стадиях исследования, начиная от поисково-разведочных работ и до составления пакета гидрогеологических или инженерно-геологических карт.

В Институте химической кинетики и горения (ИХКГ СО РАН) проводятся исследования по дальнейшему развитию и совершенствованию разработанного ранее метода разведки подземной воды с помощью ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Совместно с Объединенным институтом геологии, геофизики и минералогии (ОИГГМ СО РАН) проводятся геофизические и гидрогеологические исследования этим методом [1].

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 размерами от десятков до сотен метров. Для уменьшения влияния внешних электромагнитных помех используется антенна в форме восьмерки [2]. Частота магнитного резонанса в рассматриваемом случае составляет несколько килогерц, «мертвое время» аппаратуры весьма велико (несколько миллисекунд), поэтому 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 ядерной магнитной релаксации и не регистрируется.

Распределение концентрации воды по глубине определяется посредством решения интегрального уравнения, содержащего модельные и измеренные зависимости сигнала ЯМР от интенсивности возбуждения. Разработаны устойчивые алгоритмы решения обратных задач [3].

Исследования скоростей неоднородной спин-спиновой релаксации позволяют получать информацию о микроструктуре пор и трещин и фильтрационных свойствах содержащих флюиды коллекторов [4]. Влияние электропроводности среды на сигнал ЯМР от подземной воды исследовалось в ряде работ [5–8].

Результаты изысканий на урбанизированных территориях с помощью ЯМР-томографии покажем на примере г. Горно-Алтайска, где работы проводились в 1997 г.

В связи с уменьшением производительности Майминского инфильтрационного водозабора города, связанным с посадкой уровней основных эксплуатационных скважин, возникла необходимость заложения новых скважин. Основные продуктивные водоносные горизонты крайне неравномерны по водообильности и поиски месторождений трещинных, трещинно-жильных и трещинно-карстовых вод необходимых запасов представляет собой достаточно трудную задачу.

Для выявления обводненных зон и выбора мест (точек) заложения этих гидрогеологических скважин нами проведено дешифрирование аэро- и космоснимков различного масштаба, выполнен анализ имеющихся к настоящему времени геологических, гидрогеологических и геофизических материалов (фонды Катунской гидрогеологической партии и Алтайской гидрогеологической экспедиции), сделано гидрогеологическое обследование четырех участков, выполнен комплекс измерений методом ЯМР-томографии с помощью передвижной станции «Гидроскоп».

Участки располагаются в пределах городской площади или на ее окраине (рис. 1).

В пределах района обследования участков выделяются основные водоносные горизонты: современных аллювиальных отложений р. Маймы, трещинно-карстовые воды средне-верхнерифейских отложений баратальской серии ( $R_{2-3}$  br), трещинные и трещинно-карстовые воды верхнерифейских отложений каянчинской свиты ( $R_3 - V_{кп}$ ) и трещинные воды интрузивных и эффузивных пород. Общее направление движения подземных вод – к долине рр. Маймы и Катунь, но в целом оно весьма неоднозначно и имеет очень сложную структуру потока. Наиболее перспективны для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения первые три из вышеназванных водоносных горизонтов. Не останавливаясь далее на гидрогеологических особенностях района, которые подробно освещены в отчете Катунской гидрогеологической партии о предварительной разведке подземных вод для водоснабжения г. Горно-Алтайска, с. Маймы и Катунского промузла (1985 г.) отметим, что трещинно-карстовые и трещинные воды баратальской и каянчинской свит верхнерифейских пород распространены крайне неравномерно в связи с анизотропными и другими (например, растворимостью) свойствами водовмещающих пород. Задача состояла в том, чтобы выявить наиболее обводненные зоны этих горизонтов, установить местоположение будущих эксплуатационных скважин в пределах границ участков.

Не говоря о методических особенностях комплекса проведенных исследований отметим, что в пределах каждого участка нами предварительно выделено несколько площадей зондирования, на которых далее проводились неоднократные ЯМР-измерения (за исключением участка по ул. Чкаловской, где произведено одно измерение).

На *Майминском участке*, расположенном в долине р. Маймы на южной окраине города в пределах границ водоохранной зоны действующего водозабора, выделено четыре площади зондирования, на каждой из которых проведено несколько измерений. Обводненные зоны зафиксированы на двух интервалах глубин в пределах двух площадей. Выбрано оптимальное местоположение двух скважин с ожидаемым дебитом 15–30 м<sup>3</sup>/ч.

В пределах *Колхозного участка*, находящегося на восточной окраине города в верхней части ручья Суремейка (приток р. Улалинка), зондирование проводилось также на 4-х площадях, две из которых выбраны как перспективные для бурения гидрогеологических скважин.

На рис. 2–3 в качестве примера приведены зависимости сигнала ЯМР от интенсивности возбуждающего импульса для Колхозного и Майминского участков г. Горно-Алтайска.

Точками показаны результаты полевых измерений сигнала ЯМР, линиями – результаты решения обратной задачи. Максимум данной зависимости соответствует повороту ядерной намагниченности на 90°, причем, чем глубже расположен водоносный слой, тем при

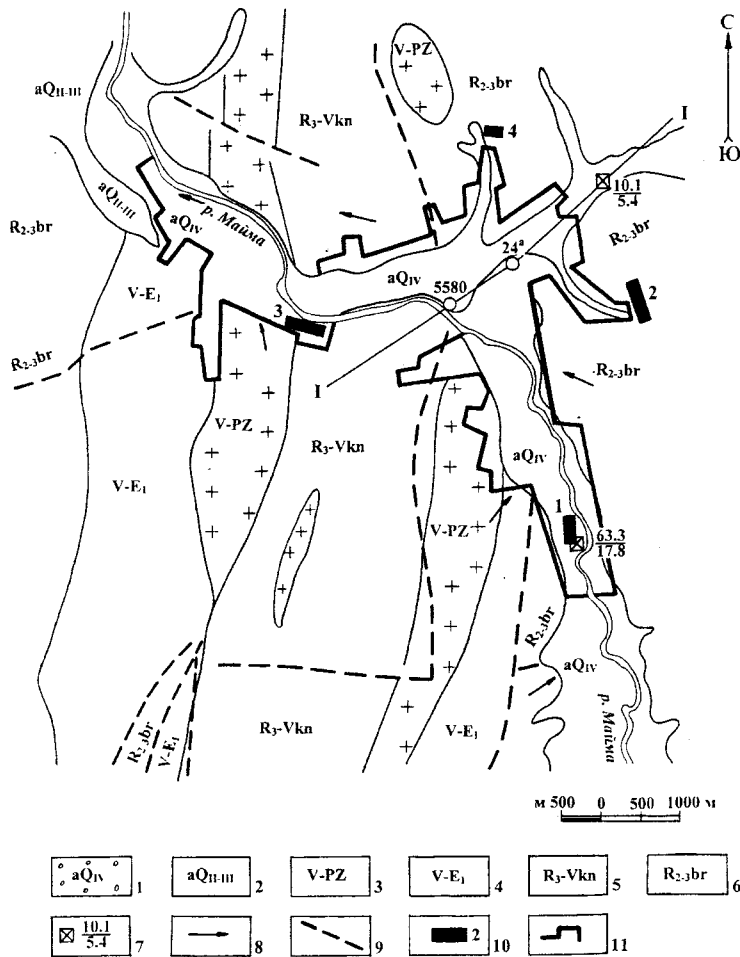
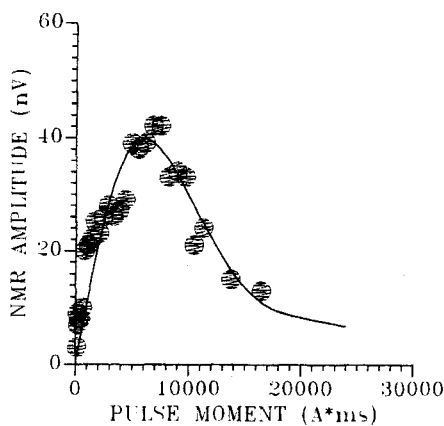


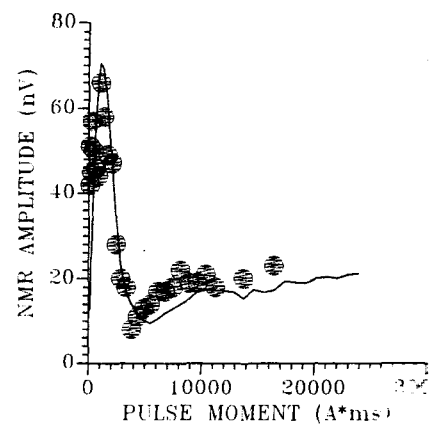
Рис. 1. Гидрогеологическая схема района г. Горно-Алтайска

Условные обозначения

Водоносные горизонты: 1 – аллювиальных отложений р. Маймы и ее притоков, галечники, пески с известняковым заполнителем; 2 – средне-верхнечетвертичных отложений надпойменных террас р. Катунь, валуны, галечники, гравит, пески; 3 – интрузивных и эффузивных пород венд-палеозойского возраста, граниты, гранодиориты, порфириды; 4 – венд-нижнекембрийских отложений манжерокской и каимской свит, доломитизированные известняки, алевролиты, метаморфические сланцы, известняки; 5 – верхнерифейских отложений каянчинской свиты, светло-серые известняки, алевролитовые сланцы; 6 – средне-верхнерифейских отложений баратальской серии, серые, темно-серые известняки, местами закарстованные; 7 – действующие водозаборы за счет подземных вод, рядом дробь: сверху – утвержденные запасы в тыс. м<sup>3</sup>/сут, внизу – средний водоотбор; 8 – направление движения подземных вод; 9 – тектонические разломы; 10 – местоположение участков обследования с помощью ЯМР-томографии: 1 – Майминский, 2 – Колхозный, 3 – Вертолетный, 4 – Чкаловский; 11 – примерный контур городской территории.



**Рис. 2.** Зависимость амплитуды ЯМР от интенсивности. Колхозный участок, г. Горно-Алтайск. Антенна – восьмерка 2\*50 м.



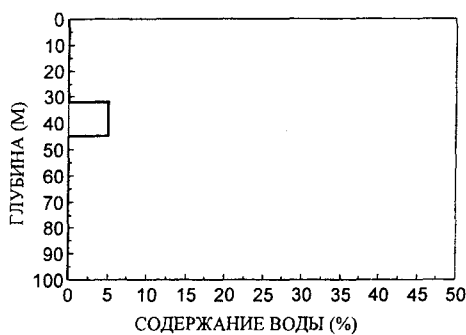
**Рис. 3.** Зависимость амплитуды ЯМР от интенсивности. Майминский участок, г. Горно-Алтайск. Антенна – восьмерка 2\*50 м.

большей интенсивности возбуждения наблюдается максимум сигнала. На рис. 1 имеет только один максимум, следовательно, вообще говоря, имеется один водоносный горизонт. На рис. 2 имеется два максимума, следовательно, имеются два водоносных горизонта – малых и больших глубинах соответственно.

Гистограммы зависимости обводненности от глубины, полученные для этих участков в результате решения обратной задачи, приведены на рис. 4, 5.

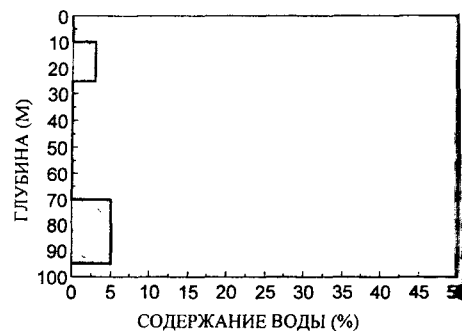
В центральной части города на левом берегу р. Маймы, близ СПК, на *Вертолетной* участке обследовано две площади. На гистограмме четко выделяются две водоносные зоны – первая (сверху) в интервале глубин 18–28 м и вторая – в интервале 40–46 м, которая является

– СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ (ЯМР)



**Рис. 4.** Гистограмма обводненности по данным ЯМР на Колхозном участке, г. Горно-Алтайск

– СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ (ЯМР)



**Рис. 5.** Гистограмма обводненности по данным ЯМР на Майминском участке, г. Горно-Алтайск

наиболее водообильной. Указано местоположение скважины, из которой следует ожидать хороших дебитов, не менее 20–30 м<sup>3</sup>/ч.

На **Чкаловском** участке, расположенном в правом борту р. Маймы на продолжении ул. Кирова, в пределах одной площади также выбрано местоположение одной перспективной гидрогеологической скважины.

Таким образом, нами определено одиннадцать площадей зондирования, на которых проведены многократные измерения «Гидроскопом». Всего проведено около сорока измерений, расшифровка и анализ результатов которых позволили нам рекомендовать перспективные площади с указанием расположения и ожидаемых дебитов рекомендуемых скважин. На всех обследованных участках имеются перспективные площади освоения.

В целом, при сравнительном анализе следует рекомендовать как более перспективные Вертолетный и Колхозные участки с соответствующими площадями, где обнаружены весьма водообильные зоны трещинного и трещинно-карстового типов, и следует ожидать значительных дебитов эксплуатационных скважин – от 15 до 45 м<sup>3</sup>/ч.

В настоящее время, исходя из этих рекомендаций, пробурена разведочно-эксплуатационная скважина на Вертолетном участке. Глубина скважины около 55 м, производительность более 45 м<sup>3</sup>/ч.

«Гидроскоп» может использоваться как эффективное средство для получения информации при составлении гидрогеологических карт различного масштаба и назначения: карт гидроизогипс, водопроводимости, изогипс отметок кровли и подошвы водоносных горизонтов, карт подтопления территорий, в т. ч. урбанизированных и других. Таким образом, прибор можно использовать как в гидрогеологии, так и в инженерной геологии.

В настоящее время сотрудники ИХКГ СО РАН (здесь изобретен и создан прибор более 10 лет назад) совместно со специалистами ОИГГМ СО РАН и Алтайской гидрогеологической экспедицией проводят научно-исследовательские работы по дальнейшему усовершенствованию ЯМР-геотомографа. Так, предполагается увеличить глубину зондирования (более 100 м), расширить возможность использования прибора и прежде всего для разделения пресных и соленых подземных вод (более 1 г/дм<sup>3</sup>).

Гидроскоп может успешно применяться для выявления границ подтопления подземными водами в зонах застройки, однако, для этих целей он пока не использовался.

Перспективы дальнейшего использования «гидроскопа» не только в оконтуривании границ пресных подземных вод (как в плане, так и в разрезе), участков подтопления урбанизированных территорий, но мы полагаем, что со временем он будет применяться для оконтуривания загрязненных нефтепродуктами участков подземных вод, определения большего числа гидрогеологических параметров, а также инженерно-геологических свойств горных пород и, соответственно, составления специализированных карт различного масштаба. При этом использование компьютерной технологии позволит вывести создание этих карт на принципиально новый качественный уровень.

### Литература

1. Кусковский В.С., Красавчиков В. О., Шушаков О. А. Использование гидроскопа для составления гидрогеологических карт // В кн: Историческая и современная картография в развитии Алтайского региона, Барнаул, 1997, с. 153–155.

2. 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.

3. Legchenko A.V., Shushakov O.A. Inversion of surface NMR data // *Geophysics*, 1998, v. 63, No 1, p. 75–84.
4. Shushakov O.A. Non-invasive measurement of proton relaxation times in medium to coarse-grained sand aquifer // *Magnetic Resonance Imaging*, 1996, v. 14, No 7/8, p. 959–960.
5. Шушаков О.А., Легченко А.В. Расчет сигнала протонного магнитного резонанса от подземной воды с учетом электропроводности среды // *Геол. и геофизика*, 1994, т. 35, № 3, с. 130–136.
6. 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.
7. Shushakov O.A. Groundwater NMR in conductive water // *Geophysics*, 1996, v. 61, № 4, p. 998–1006.
8. Trushkin D.V., Shushakov O.A., Legchenko A.V. Surface NMR application to an electroconductive medium // *Geophysical Prospecting*, 1995, v. 43, p. 623–633.

## **СПОСОБ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ ВИНТОВЫМ ШТАМПОМ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПОГРУЖЕНИЕМ И ЕГО АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ**

*Лебедев Е.В.  
г. Екатеринбург, Россия*

Все существующие способы определения деформационных характеристик грунтов оснований – геофизические, лабораторные, полевые, такие как зондирование, прессиометрия и т. п., при относительно невысокой стоимости испытаний не гарантируют достаточной точности результатов. Поэтому, во-первых, приходится дублировать полевые испытания лабораторными и наоборот, во-вторых, результирующая оценка характеристик грунта в большой мере зависит от субъективного опыта исследователя, отвечающего за результат. Следствием этих факторов являются большие и неоправданные запасы надежности, соответствующие расходы на строительство нулевого цикла или, напротив, происходит опасное занижение несущей способности фундамента. При строительстве ответственных сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях, для измерений деформационных характеристик в соответствии со стандартом СССР [1] используются плоские или винтовые штампы. Однако, испытания плоскими штампами имеют высокую стоимость и даже в благоприятных гидрогеологических условиях могут производиться лишь на незначительных глубинах. Метод винтового штампа выглядит более привлекательным вследствие простоты, технологичности, предполагаемого отсутствия нарушений природного сложения грунта при внедрении штампа в массив.