

А.А. ОРЕХОВ, Н.В. ДОРОФЕЕВ

**Исследование влияния режима  
подземных вод на контроль  
геодинамических объектов**

УДК 550.8.05

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г.Муром

*В данной статье проведен анализ влияния режима подземных вод на контроль геодинамических объектов. Исследовано влияние гидрогеологических условий, а прежде всего – режима подземных вод, на процесс увлажнения грунта и изменения его электромагнитных параметров. Выявлена форма воздействующей гидрогеологической помехи. В результате получено решение, можно сделать практические обобщения о влиянии режима подземных вод на контроль геодинамических объектов.*

*Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ «12-08-97564-р\_центр\_а».*

Инженерно-техническое сооружение и прилегающая часть геологической среды образуют природно-техническую систему. Зоной эколого-геологического влияния называется та часть геологической среды, в пределах которой под влиянием прямого или косвенного техногенного воздействия происходят существенные изменения всех или некоторых ее элементов, имеющие экологическое значение для человека [3]. Границами этой зоны являются пределы, за которыми эти изменения отсутствуют или несущественны с экологической точки зрения. Для контроля состояния нестабильных зон эколого-геологического влияния на инженерно-технические сооружения в настоящее время применяются системы контроля геодинамических объектов.

Современные высокоточные способы регистрации экспериментальных данных слежения за геодинамикой приповерхностных неоднородностей, применяемые в системах автоматизированного гео-

динамического контроля, подвержены влиянию различных помехообразующих факторов. Помимо техногенного помехообразующего воздействия серьёзное влияние оказывают и внешние природные факторы [6]. К таким, прежде всего, относятся климатическое, планетарное воздействие и гидрогеологические условия [7,8].

Целью данной работы является исследование влияния гидрогеологических условий, а прежде всего – режима подземных вод, на процесс проведения электромагнитного геоэкологического мониторинга геодинамических объектов и выявление формы воздействующей помехи.

Как известно, различные геологические среды характеризуются разными значениями электрической проводимости, что и предопределяет возможность применения электромагнитных методов контроля. Кроме того, одна и та же геологическая среда может иметь различную электрическую проводимость в зависимости от ее состояния и условий залегания, внутренней структуры, температуры, гидрогеологических условий, наличия заполнения минерализованной водой и других факторов. Таким образом, электропроводность геологической среды может изменяться в зависимости от её состояния в очень широких пределах [4].

Природные воды, находящиеся в порах грунтов, представляют собой природный электролит различного состава с ионной электропроводностью. Удельное сопротивление природных вод в зависимости от их химического состава и концентрации изменяется в широких пределах (от  $10^{-2}$  до  $10^3$  Ом•м и более) и уменьшается с увеличением концентрации природных вод. Все это обуславливает увеличение электропроводности влажных грунтов при возрастании концентрации поровых вод (рис. 1).

На влажность грунта непрерывное влияние оказывает режим подземных вод [1]. Гидродинамический режим подземных вод представляет собой проявление пространственно-временной изменчивости гидродинамических элементов подземного потока (уровней или напоров, а также расходов и скоростей потока). Изучение и анализ гидродинамического режима подземных вод позволяют установить связи с определяющими его факторами, выявить закономерности этих изменений во времени и в пространстве. Наибольшей из-

менчивостью характеризуется гидродинамический режим грунтовых вод, который и наблюдается более детально [2].

Многие особенности естественного режима подземных вод определяются метеорологическими факторами, включающими в себя осадки, температуру и влажность воздуха. Наиболее мощным метеорологическим режимообразующим фактором является выпадение атмосферных осадков, их режим, интенсивность, расходование на испарение.

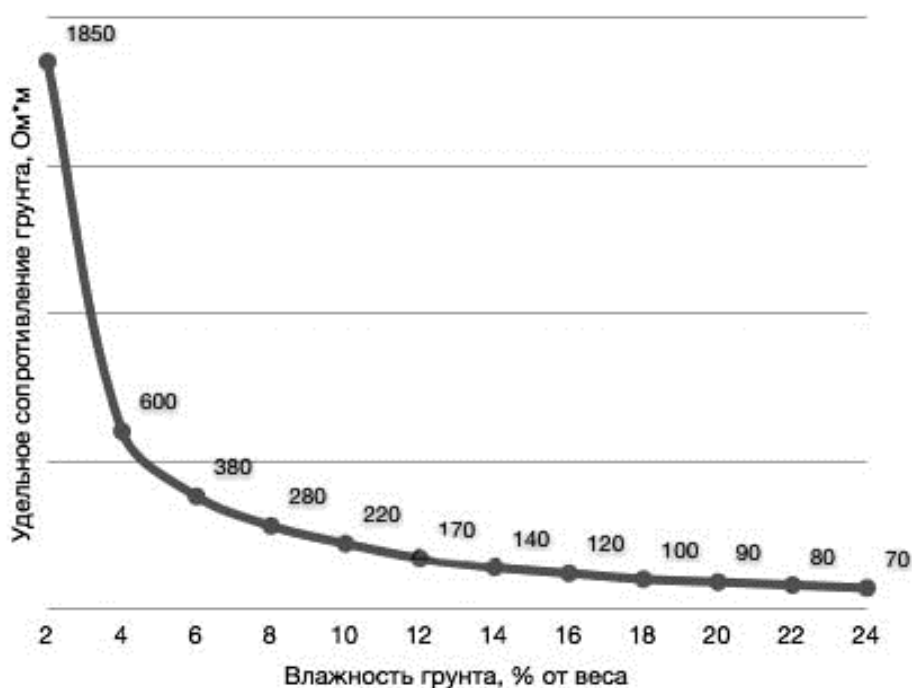


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления грунта (суглинков) от его влажности (данные из IEEE Std 142-1991)

Изучение гидродинамического режима подземных вод основывается на анализе связей между характеристиками режима (гидродинамическими элементами подземных вод) и режимообразующими факторами – экзогенными (метеорологическими, гидрологическими), эндогенными (геодинамическими), а также искусственными, или антропогенными, в определенных природных условиях (рис. 2).

Значительная внутрисуточная изменчивость эвапотранспирации приводит к заметным суточным колебаниям уровней грунтовых вод, достигающим 30-100 мм (с вечерним минимумом и утренним максимумом уровни) (рис. 3).

Одно из наиболее изученных проявлений геодинамических факторов – зафиксированное многими наблюдениями наличие четкой синхронной связи между колебаниями уровней подземных вод и атмосферного давления, которая обосновывается передачей атмосферного давления на кровлю пласта, причем изменения давления в пласте  $\Delta p$  и атмосферного давления  $\Delta p_a$  связываются соотношением

$$\Delta p = b_p \Delta p_a, b_p = \frac{e\beta}{a_c + e\beta}$$

где  $a_c$  и  $\beta$  – параметры сжимаемости породы и воды,  $e$  — коэффициент пористости.

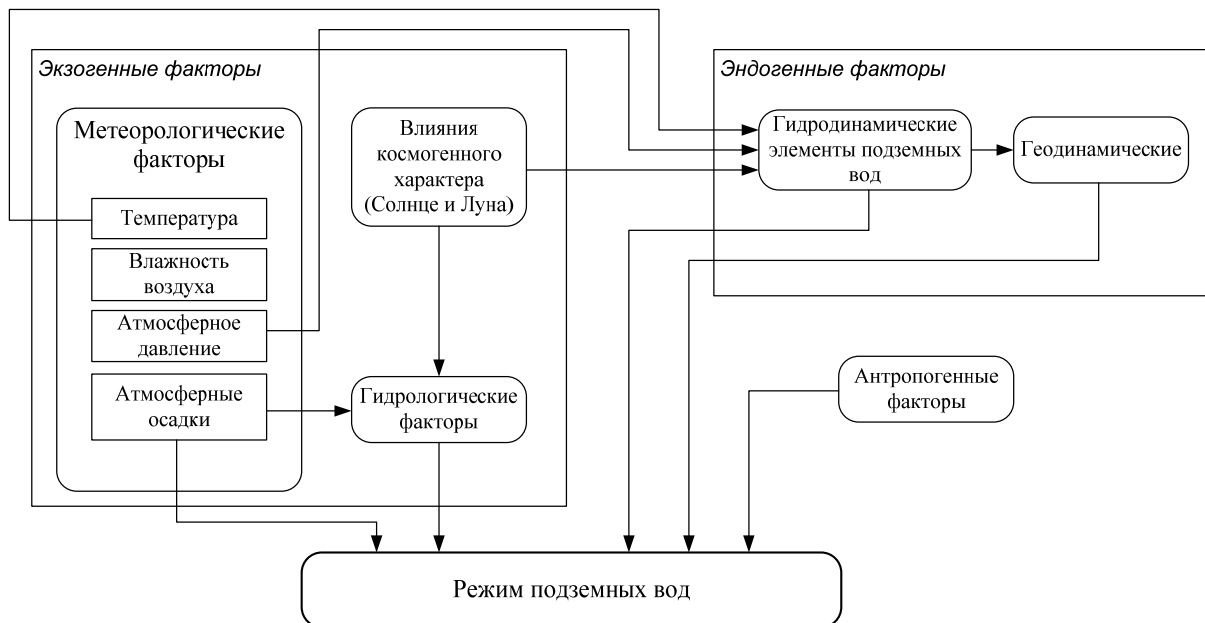


Рис. 2. Режимобразующие факторы для подземных вод

В открытых скважинах, где уровень воды находится ниже устья скважины, изменения уровней имеют обратную связь с изменениями давления, т. е. повышению давления соответствуют понижения уровня воды в скважине и наоборот.

Активная составляющая электрической проводимости геологической среды формируется за счет проводимостей основной пористой структуры и порового наполнителя. Зависимость проводимости

горной породы может в таком случае быть описана следующим линейным уравнением:

$$\sigma = \sigma_C + \sigma_R - (\beta_C + \beta_R)W,$$

где  $\sigma_C$  и  $\sigma_R$  – проводимости поровой структуры и порового наполнителя горной породы;  $\beta_C$  и  $\beta_R$  – параметрические коэффициенты для влажности грунта;  $W$  – значения влажности грунта.

В данном случае, зависимость регистрируемых электромагнитных сигналов от уровня подземных вод становится существенной, что приводит к необходимости учета этого уровня при контроле геодинамических объектов.

В соответствии с уравнениями Максвелла для однородной проводящей среды связь напряженности электрического  $\bar{E}$  и магнитного поля  $\bar{H}$  с учетом влажности грунта  $W$  имеет следующий вид:

$$\operatorname{rot}\bar{H}(x, y, z, t) = j_{np}(x, y, z, t) + j_{cm}(x, y, z, t) = \sigma(W)\bar{E}(x, y, z, t) + \varepsilon(W)\frac{\partial\bar{E}(x, y, z, t)}{\partial t}.$$

Операторное уравнение для плотности тока наведенного в среде с учетом влияния температуры:

$$\bar{j}(x, y, z, p) = (\sigma(W) + p\varepsilon(W))\bar{E}(x, y, z, p).$$

Как показано выше, при проведении долговременных геодинамических исследований влияние режима подземных вод носит циклический характер с явно выраженным суточным и годовым ритмом. Влияние изменения этого уровня на результаты геодинамического контроля проявляется в виде искажений регистрируемых аномальных электромагнитных сигналов, вызываемых изменением, как электромагнитных свойств сред, так и самих параметров геодинамических объектов.

Оценить глубину проникновения влажности в почву при воздействии уровня подземных вод и выявить особенности ее проявления при контроле геодинамических объектов можно на основе рассмотрения аналогичной задачи распространения периодических температурных колебаний в почве [5]. Данная задача сводится к нахождению ограниченного решения уравнения распространения влажности в грунте [9]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \beta_w^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

которое должно удовлетворять условию  $u(0, t) = A_w \cos(\omega t)$ .

Решение уравнения (1), соответствующее краевому условию, можно представить в виде:

$$u(z, t) = A_w \exp(\beta_w z + \gamma_w t) \quad (2)$$

где  $\gamma_w = a_w^2 \beta_w^2$ ,  $a_w$  – коэффициент для влажности грунта.

Краевое условие и (2) позволяют определить волновые коэффициенты:

$$\beta_w = \pm(1+i) \sqrt{\frac{\omega}{2a_w^2}}$$

Откуда следует, что

$$u(z, t) = A_w \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2a_w^2}} z\right) \left[ \cos\left(\sqrt{\frac{\omega}{2a_w^2}} z - \omega t\right) - i \sin\left(\sqrt{\frac{\omega}{2a_w^2}} z - \omega t\right) \right] \quad (3)$$

Уравнение (3) описывает процесс проникновения влаги в почву, с учетом ритмичности воздействия подземных вод на слой однородного грунта.

Относительное изменение амплитуды уровня влажности грунта может быть определено из (3):

$$\frac{A_w(z)}{A_w(0)} = \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2a_w^2}} z\right) \quad (4)$$

Из этого соотношения видно, что чем меньше период, тем меньше глубина проникновения влажности.

Таким образом, на основании полученного решения можно сделать практические обобщения о влиянии режима подземных вод на контроль геодинамических объектов:

- в среде устанавливаются колебания уровня влажности с тем же периодом, что и на границе однородного грунта;
- амплитуда колебаний влажности убывает экспоненциально с увеличением глубины проникновения;
- присутствует задержка максимума уровня проникновения влажности в среде от соответствующих моментов на границе;
- глубина проникновения влажности в среду зависит от времени удержания подземных вод на границе слоя однородной геологической среды и объясняется капиллярным эффектом.

## Литература

1. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология: Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006 – 397 с.
2. Гидрогеология /под. ред. В.М. Шестакова и М.С. Орлова. – М., Изд-во МГУ, 1984. 317 с.
3. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М. Гидрометеиздат. 1985, 560 с.
4. Кузичкин О.Р., Орехов А.А. Проектирование измерительного тракта системы геоэлектрического контроля. //Проектирование и технология электронных средств. 2011. №1. С. 25-30.
5. Кузичкин, О.Р. Камшилин А.Н., Калинин Н.Е., Финогенов С.А. Метод обработки данных геоэлектрического мониторинга с учетом температурного фактора // Методы и средства передачи и обработки информации. – Вып.4. – СПб.: Изд-во Гидрометеиздат, 2004. – С. 147-152.
6. Орехов А.А. Электромагнитное зондирование геодинамических объектов при учёте воздействия внешних природных помех. //III Всероссийские Армандовские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2012 – 567 с., С 409-413
- Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Структура обработки информации в системах электромагнитного геоэкологического мониторинга геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. № 20. С. 69-76.
7. Орехов А.А., Кузичкин О.Р. Влияние природных помехообразующих факторов на проведение электромагнитного контроля геодинамических объектов // Радиопромышленность, №2, 2012 – С. 138-147.
8. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Изд-во ТТЛ. 1951. – 742 с.