

УДК 556

**Геоэлектрическое моделирование подземных водных объектов\***

Орехов А.А., Дорофеев Н.В.

В данной работе построена геоэлектрическая модель подземных водных объектов. Экологическое состояние поверхностных и подземных водных объектов можно оценивать в реальном масштабе времени при помощи систем геоэлектрического контроля, построенных на базе многополюсных электроустановок. Построенная модель основана на анализе передаточной функции геоэлектрического разреза, представляемой в виде последовательно соединённых RC-цепочек. Изменение значений передаточной функции свидетельствует об изменении химического состава или гидродинамического режима зоны аэрации и первого водоносного горизонта. Оценка параметров слоёв – удельного сопротивления и удельной диэлектрической проницаемости – производится с помощью специализированных алгоритмов, применяемых для этих целей в геофизике. Представленная геоэлектрическая модель предназначена для дальнейшего применения в системе экологического мониторинга, построенной на базе методов геоэлектрических зондирований.

*Ключевые слова:* экологический мониторинг, гидрогеоэкология, кондуктометрия, геоэлектрический контроль, геодинамический объект, электропроводность.

**Введение**

В настоящее время актуальной является задача контроля экологического состояния поверхностных и подземных водных объектов в реальном масштабе времени. Системы геоэлектрического мониторинга являются наиболее подходящими для решения данной проблемы [7,8]. Однако достаточной проработки геоэлектрического метода для применения в системах контроля водных объектов не проводилось. К примеру, не существует соответствующих геоэлектрических моделей зоны аэрации, подземных и прибрежных вод.

Целью данной работы является геоэлектрическое моделирование подземных водных объектов для дальнейшего их применения в системе экологического мониторинга, построенной на базе методов геоэлектрических зондирований.

**Геоэлектрический контроль геодинамических объектов**

Как известно [2, 7], система геоэлектрического контроля в общем случае представляет собой четырёхэлектродную установку (рис. 1).

Ток  $I$ , формируемый генератором, вводится в землю через источники поля АВ, а возникающее поле измеряется с помощью датчиков поля MN. В простейшем случае земная поверхность представляет собой горизонтально-слоистый разрез. Верхний слой – грунт, мощностью  $h_1$ , удельным электрическим сопротивлением  $\rho_1$  и удельной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_1$ . Под ним располагается зона аэрации с параметрами  $h_2$ ,  $\rho_2$  и  $\varepsilon_2$ . Пустоты зоны аэрации в значительной степени заполнены атмосферными газами, некоторые из них полностью заполнены водой. Вода в зоне аэрации большей частью удерживается молекулярным притяжением и не находится под гидростатическим давлением [1]. Ниже зоны аэрации находится первый водоносный горизонт с параметрами  $h_3$ ,  $\rho_3$  и  $\varepsilon_3$ .

**Определение потенциала поля в среде**

Поле, регистрируемое датчиками, зависит от перечисленных выше параметров слоёв среды:  $h_1$ ,  $\rho_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $h_2$ ,  $\rho_2$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $h_3$ ,  $\rho_3$  и  $\varepsilon_3$ . Потенциал в слоях будет иметь вид [2]:

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

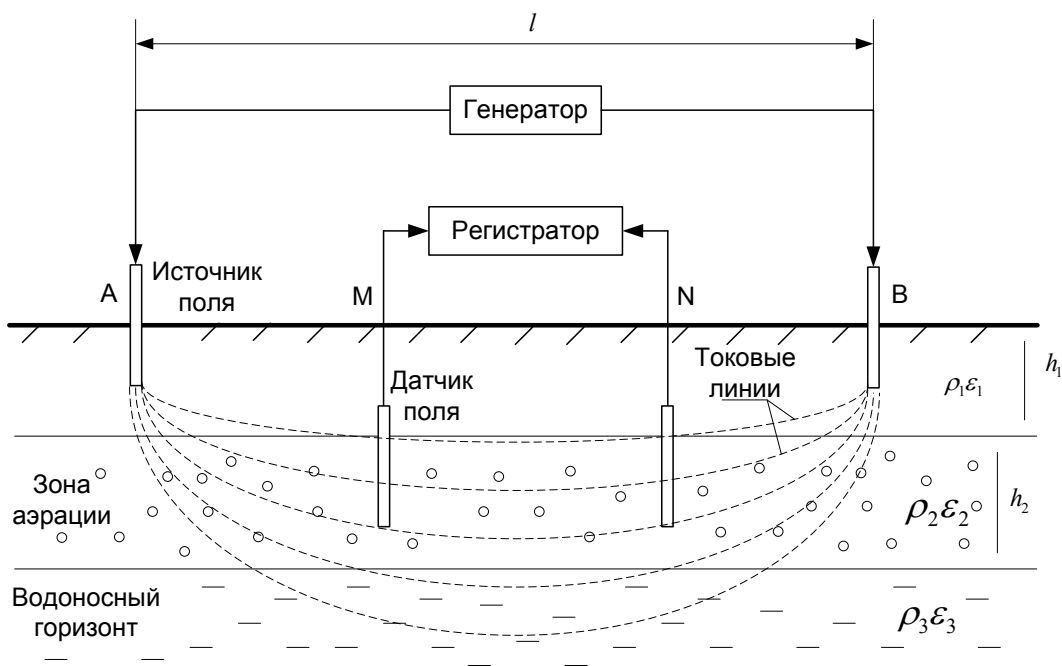


Рис. 1. Схема геоэлектрического зондирования подземных вод.

$$\varphi(r) = I \frac{\rho_1}{2\pi} \int_0^\infty \left( \frac{1 - R_1 e^{-2\lambda h_1}}{1 + R_1 e^{-2\lambda h_1}} \right) J_0(\lambda r) d\lambda,$$

$$\text{где } R_1 = \frac{\rho_1 - \rho_2 (1 - R_2 e^{-2\lambda h_2}) (1 + R_2 e^{-2\lambda h_2})^{-1}}{\rho_1 + \rho_2 (1 - R_2 e^{-2\lambda h_2}) (1 + R_2 e^{-2\lambda h_2})^{-1}},$$

$$\text{а } R_2 = \frac{\rho_2 - \rho_3}{\rho_2 + \rho_3}, \quad r - \text{расстояние от источника}$$

поля;  $J$  – векторная плотность тока;  $\lambda$  – постоянная распространения (размерность м<sup>-1</sup>).

Как показано в [3], в соответствии со спектральной теорией анализа технических систем, геоэлектрический разрез может быть функционально описан пространственно-временной передаточной функцией вида:

$$Y(x, y, z, t) = H(p)X(x, y, z, t)]$$

где  $x, y, z$  – пространственные координаты;  $t$  – время;  $H(p)$  – передаточная функция геоэлектрического разреза;  $X$  – сигнал, пропускаемый через контролируемую среду;  $Y$  – регистрируемый сигнал,  $p = j\omega$  – оператор Лапласа.

Изменение параметров, характеризующих каждый из слоёв, приводит к изменению передаточной функции  $H(p)$  и, соответственно,

регистрируемого сигнала  $Y(t)$  при неизменном входном сигнале  $X(t)$  [5]:

$$Y'(x, y, z, t) = [H(p) + \Delta H(p)]X(x, y, z, t)]$$

Передаточную функцию в геоэлектрическом описании моделью трёхслойного несовершенного диэлектрика можно представить в виде в виде последовательно соединенных  $RC$ -цепей (рис. 2) [3,4].

Передаточная функция для такой эквивалентной цепи будет иметь вид [6]:

$$H(p) = \frac{R_1}{1 + pR_1C_1} + \frac{R_2}{1 + pR_2C_2} + \frac{R_3}{1 + pR_3C_3}$$

$$\text{где } R_i = \frac{\rho_i h_i}{S}, \quad C_i = \frac{\varepsilon_i S}{h_i}, \quad S - \text{эффективная}$$

площадь разреза.

Кажущееся сопротивление в среде, по которому определяются параметры каждого из слоёв, вычисляется при помощи методов, подробно описанных в [2]. Однако для решения поставленной задачи более важным является именно регистрация изменения передаточной функции, свидетельствующее об изменениях химического состава или гидродинамического режима зоны аэрации и водоносного горизонта.

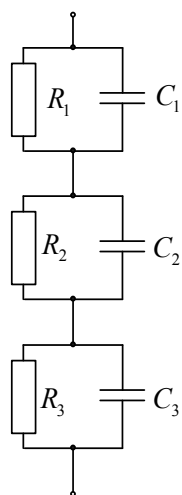


Рис. 2. Эквивалентная линия передачи для трёхслойной модели.

### Заключение

Таким образом, в данной статье построена геоэлектрическая модель подземных водных объектов. Построенная модель основана на анализе передаточной функции геоэлектрического разреза, представляемой в виде последовательно соединённых RC-цепочек. Изменение значений передаточной функции свидетельствует об изменении химического состава или гидродинамического режима зоны аэрации и первого водоносного горизонта

Представленная геоэлектрическая модель предназначена для дальнейшего применения в системе экологического мониторинга, построенной на базе методов геоэлектрических зондирований.

### Литература

1. Гидрогеология. Под ред. *В.М. Шестакова и М.С. Орлова*. – М.: Изд-во МГУ, 1984 – 317 с.
2. *Уэйт Дж. Р.* Геоэлектромагнетизм: ред. пер. Бердичевского. – М.: Недра, 1987. – 235 с.
3. *Кузичкин О.Р.* Алгоритмы обработки данных в многополюсных электролокационных системах. // Радиотехника, 2007, №6. – С. 60-63.

4. *Кузичкин О.Р.* Алгоритм формирования оптимальных зондирующих сигналов при электролокационном мониторинге // Радиотехника, 2006, №6. – С. 119-122.

5. *Кузичкин О.Р., Орехов А.А.* Проектирование измерительного тракта системы геоэлектрического контроля // Проектирование и технология электронных средств, 2011, №1. – С. 25-30.

6. *Кузичкин О.Р., Цаплев А.В.* Поляризационные характеристики электролокационных сигналов и их анализ в системе геомониторинга // Радиотехника, 2006, №11. – С. 86-90.

7. *Орехов А.А., Дорофеев Н.В.* Геоэлектрический метод контроля качества водных объектов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, №2. – С. 33-35.

8. *Орехов А.А., Дорофеев Н.В.* Система для экологического мониторинга водных объектов на базе метода геоэлектрического контроля // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, №2. – С. 36-38.

### References

1. Hydrogeology. Ed. *V.M. Shestakov, M.S. Orlov*. – M: Moscow State University Press, 1984 – 317 p.
2. *Waite J.R.* Geoelektromagnetizm. – M: Nedra, 1987. – 235 p.
3. *Kuzichkin O.R.* Data processing algorithms in the multi-polar electro radar systems // Radio Engineering, 2007, № 6. – P. 60-63.
4. *Kuzichkin O.R.* The algorithm for generating the optimal probing radar signals in electric monitoring // Radio Engineering, 2006, № 6. – P. 119-122.
5. *Kuzichkin O.R., Orekhov A.A.* Design of the measuring path of the geoelectric monitoring // Design and technology of electronic means, 2011, № 1. – P. 25-30.
6. *Kuzichkin O.R., Tsaplev A.V.* Polarization characteristics of electromagnetic radar signals

and analysis in Geomonitoring system // Radio Engineering, 2006, № 11. – P. 86-90.

7. *Orekhov A.A., Dorofeev N.V.* Geoelectric method of quality control water objects // Engineering industry and life safety, 2012, № 2. – P. 33-35.

8. *Orekhov A.A., Dorofeev N.V.* The system for ecological monitoring water objects based on the method of geoelectrical controls // Engineering industry and life safety, 2012, № 2. – P. 36-38.

**Статья поступила в редакцию 20 октября 2012 г.**

The geoelectric model of underground water objects is constructed in this work. The ecological condition of superficial and underground water objects can be estimated in real time by means of the systems of geoelectric control constructed on the basis of multipole electric systems. The constructed model is based on the analysis of transfer function of the geoelectric cut represented in the form of consistently connected RC-circuits. Change of transfer function values testifies to change of a chemical composition or a hydrodynamic mode of aeration zone and the first water-bearing horizon. The assessment of layers parameters – specific resistance and specific dielectric permeability – is made by means of the specialized algorithms applied to these purposes in geophysics. The presented geoelectric model is intended for further application in the system of environmental monitoring constructed on the basis of the geoelectric probing methods.

*Keywords:* environmental monitoring, hydrogeoeology, conductometry, geoelectric control, geodynamic object, conductivity.

*Орехов Александр Александрович* – старший преподаватель кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

*Дорофеев Николай Викторович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»