

УДК 556

## Выявление функциональных зависимостей уровня электропроводности природных вод от уровня загрязнённости\*

Орехов А.А., Дорофеев Н.В.

В данной статье исследованы функциональные зависимости уровня электропроводности водного раствора от уровня его загрязнённости, т.е. растворённых в нём солей. Полученные зависимости предназначены для дальнейшего применения в алгоритмах обработки данных систем экологического мониторинга поверхностных и подземных вод, построенных на базе методов геоэлектрического контроля. При использовании данного метода все наблюдения можно проводить автоматически в реальном масштабе времени без необходимости применения специального громоздкого химического оборудования. Однако, создание надёжных и эффективных автоматизированных комплексов для проведения такого мониторинга затрудняется в связи с недостаточной проработанностью методов установления прямой количественной связи между электропроводностью водного раствора и величиной минерализации. Определена степень, коэффициенты и ошибка полинома, аппроксимирующего рассматриваемые зависимости.

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

### Введение

Определение минерализации природных поверхностных вод, а также зоны аэрации, по измеренным данным электропроводности является довольно привлекательным методом, вследствие возможности очень быстрой оценки экологического состояния непосредственно на объекте [1].

Целью данной работы является установление функциональных зависимостей уровня электропроводности водного раствора от уровня его загрязнённости, т.е. растворённых в нём солей, для дальнейшего применения полученных функций в алгоритмах обработки данных систем экологического мониторинга поверхностных и подземных вод, построенных на базе методов геоэлектрического контроля [2].

### Содержание сульфат-ионов как загрязнителей природных вод

Как известно, сульфат-ионы являются основными в водах многих производств. Со-

держание сульфат-ионов определяет величину минерализации водного раствора. Определение их содержания с использованием комплекснометрического и гравиметрического методов длительно, трудоёмко и энергоёмко. В [4] предложен метод определения минерализации водного раствора по данным его электропроводности.

Содержание сульфат-ионов  $C[SO_4]$  проводится, если известно содержание хлорид- $C[Cl]$  и гидрокарбонат-ионов  $C[HCO]$  по следующей формуле:

$$C[SO_4] = \frac{\xi \cdot 10^6 - (C[Cl] \cdot \lambda[Cl])}{\lambda[SO_4]} + \frac{C[HCO] \cdot \lambda[HCO]}{\lambda[SO_4]}$$

где  $\lambda[Cl], \lambda[HCO], \lambda[SO_4]$  – групповые значения эквивалентной электропроводности ( $\frac{C_M}{cM^2}$ );  $\xi = 10^4 \frac{C_M}{cM}$  – в первом приближении число  $\frac{Mg - экв}{дM^3}$  всех солей в пробе.

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

В соответствии с данными, приведёнными в [4], становится возможным построить функциональные зависимости удельной электропроводности  $k$  по содержанию хлорид-, гидрокарбонат- и сульфат-ионов. Стоит отметить многолетнюю апробацию приводимых в [4] данных, что определяет их достоверность и обуславливает применение в данной работе. Однако, представленные табличные данные неудобны для применения их в автоматизированных системах обработки информации.

Представленные в [4] данные – это табличные зависимости молярной электропроводности от содержания солей при определённой температуре  $18^\circ\text{C}$ . Как известно, молярная электропроводность – это электрическая проводимость плоского слоя раствора электролита толщиной 1 см, содержащего 1 моль растворённого вещества. При рассмотрении разбавленных растворов прослеживается зависимость между концентрацией и молярной электропроводностью – чем концентрация раствора меньше, тем электропроводность его выше. Для того, чтобы иметь дело с

привычной удельной электропроводностью, необходимо провести следующее преобразование [1]:

$$k = \frac{\lambda \cdot C}{1000}$$

где  $k$  – удельная электропроводность раствора (См/м),  $C$  – содержание солей в пробе,  $\lambda$  – эквивалентная электропроводность.

Графики построенных зависимостей приведены на рисунке 1.

### Построение функциональных полиномиальных зависимостей

Для каждой зависимости были построены регрессионные уравнения, аппроксимирующие представленные зависимости. Как следует из расчётов, несмотря на кажущуюся линейность построенных функций, полиномы первого порядка дают довольно большую погрешность аппроксимации – до 10% при нормированной шкале. Среднеквадратическая ошибка аппроксимации становится минимальной и постоянной для всех трёх функций при порядке полинома равном 5. Учитывая

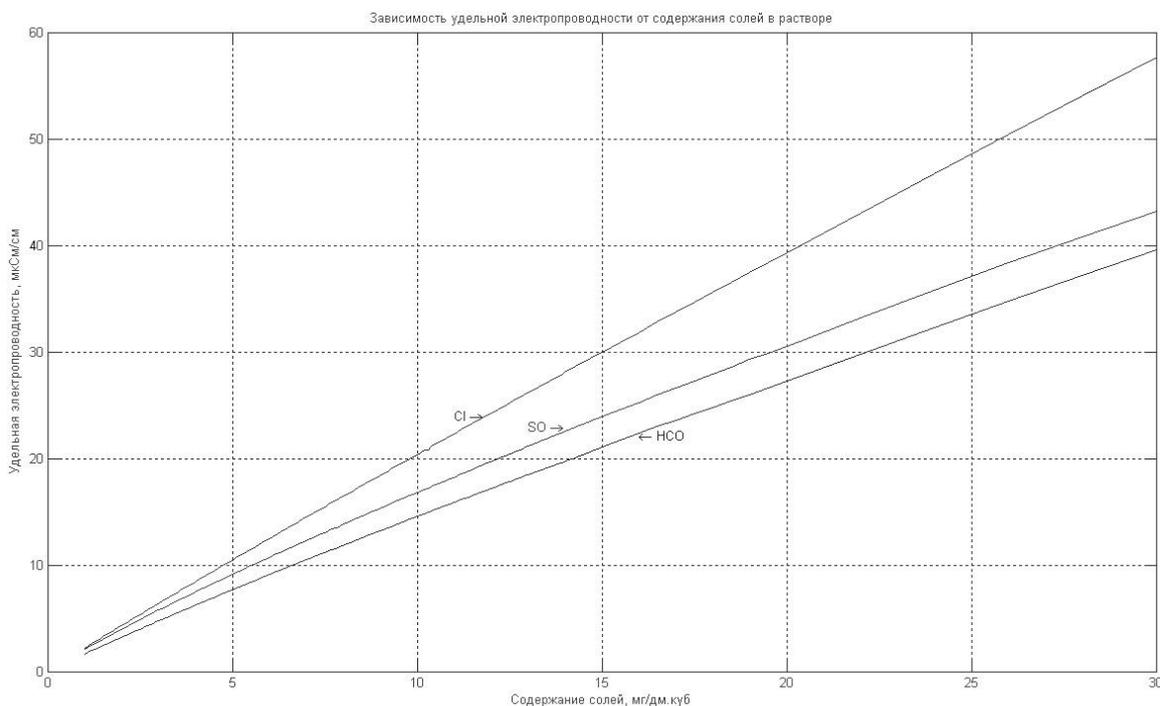


Рис. 1. Графики зависимостей удельной электропроводности от содержания солей.

Таблица 1. Коэффициенты полиномов и среднеквадратические ошибки

	$a_5$	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$\varepsilon$
C[HCO]	$6.9 \cdot 10^{-8}$	$-5.8 \cdot 10^{-6}$	$9.9 \cdot 10^{-5}$	$4.3 \cdot 10^{-3}$	0.6214	-0.0388	0.1826
C[Cl]	$1.5 \cdot 10^{-10}$	$1.1 \cdot 10^{-7}$	$-1.95 \cdot 10^{-5}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$	0.4646	-0.0237	0.0788
C[SO]	$-2.64 \cdot 10^{-8}$	$3.6 \cdot 10^{-6}$	$-2.1 \cdot 10^{-4}$	$9.4 \cdot 10^{-3}$	0.4859	-0.0621	0.1456

вычислительную мощность современных систем обработки информации, вычисление такого полинома в реальном масштабе времени является вполне приемлемым [3]. Таким образом, определение уровня содержания соли в растворе по его электропроводности производится следующим образом:

$$C(k) = a_5 k^5 + a_4 k^4 + a_3 k^3 + a_2 k^2 + a_1 k^1 + a_0$$

Коэффициенты полинома, рассчитанные при помощи метода наименьших квадратов, приведены в таблице 1.

### Заключение

Таким образом, в данной статье установлены функциональные зависимости уровня электропроводности водного раствора от уровня его загрязнённости, т.е. растворённых в нём солей, для дальнейшего применения полученных функций в алгоритмах обработки данных систем экологического мониторинга поверхностных и подземных вод, построенных на базе методов геоэлектрического контроля.

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

3. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Структура обработки информации в системах электромагнитного геоэкологического мониторинга геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал / под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. Вып. 2 (20). – Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012 – С. 69-76.

4. РС СОП РТ 002-1-003-94 Ускоренные методы контроля качества природных, сточных вод и дистиллированной воды по данным об их электропроводности. Методические рекомендации. – Казань, 1995.

### References

1. Belousov A.P., Gavich I.K., Lisenkov A.B., Popov E.V. Environmental Hydrogeology – M: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 397 p.
2. Orekhov A.A., Dorofeev N.V. Geoelectric method of quality control water objects // Engineering industry and life safety, 2012, № 2. – P. 33-35.
3. Orekhov A.A., Dorofeev N.V. The structure of the information processing systems of the electromagnetic geo-environmental monitoring geodynamic objects // Algorithms, methods and systems of data processing, 2012, № 2 (20). – P. 69-76.
4. PC SOP RT 002-1-003-94 Rapid method of quality control of natural, waste water and distilled water according to their conductivity. Guidelines. – Kazan, 1995.

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2012 г.

Functional dependences of water conductivity of solution on level of its impurity, i.e. the salts dissolved in it are investigated in this article. The received dependences are intended for further application in algorithms of data processing of environmental monitoring systems of the surface and underground water constructed on the basis of geoelectric control methods. All supervision can be carried out automatically in real time when using this method without necessity of use of the special bulky chemical equipment. However, creation of the reliable and effective automated complexes for carrying out such monitoring is at a loss in connection with an insufficient well-conceived of establishment methods of direct quantitative link between an conductivity of water solution and mineralization size. Degree, factors and an error of the polynomial approximating considered dependences is defined.

*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»