

УДК 550.83

Использование геоэлектрических методов зондирования для геоэкологического контроля воды в децентрализованных системах водоснабжения локального уровня

Романов Р.В., Кузичкин О.Р.

В настоящее время важной проблемой обеспечения экологической безопасности в городах и населенных пунктах является проведение оперативного контроля качества питьевой воды. Особенно это является важным в населенных пунктах и районах использующих децентрализованные системы водоснабжения. Целью данной работы является использование в локальном геоэкологическом мониторинге децентрализованных систем водоснабжения многочастотных методов геоэлектрического контроля, адаптированных под задачу контроля поверхностных и подземных вод. В работе выбрана базовая геоэлектрическая модель в точках геоэкологического контроля воды. Минерализация и электропроводность колеблются в широких пределах, поэтому необходимо применение многослойной модели геологического разреза в простейшем случае это модель двухслойного проводящего полупространства, которая хорошо описывает процесс контроля верхнего водоносного горизонта. Для контроля параметров верхних водоносных горизонтов выбран метод многочастотного вертикального электрического зондирования (МЧВЭЗ).

Ключевые слова: децентрализованные системы водоснабжения, геоэкологический мониторинг, геоэлектрические методы, подземные воды.

Application of geo-electric sounding methods for geo-environmental water monitoring in decentralized local water supply systems

Romanov R.V., Kuzichkin O.R.

Nowadays, monitoring and assessment of drinking water quality is one of the major issues in providing and maintaining ecological safety in cities and settlements. It is especially important in settlements and areas where water supply systems are not centralized. The purpose of this work is to use geo-electrical monitoring multifrequency methods intended to inspect both surface and underground waters in local geo-environmental monitoring of decentralized water supply systems. The basic geo-electric model in points of geo-environmental water monitoring is chosen. Mineralization and electrical conductivity vary over a wide range therefore it is advisable to use a multilayered model of a geological section. The rule of thumb, it is a two-layer conducting semi-space model, which describes well the monitoring process of the top aquifer. To monitor the parameters of the top aquifers, a multifrequency vertical electrical sounding (MFVES) method is chosen.

Keywords: decentralized water supply systems, environmental monitoring, geo-electric methods, groundwater.

Введение

Химический состав воды подземных источников водоснабжения и степень ее загрязнения зависят от многих причин: от глубины, с которой забирается вода, попадания в водоносный слой загрязнения от промышленных предприятий, свалок, сельскохозяйственных полей и т.д.

На территории РФ существуют различные региональные системы экологического мониторинга, которые осуществляют регулярные

наблюдения за недрами и процессами, в них происходящими [1]. Подобные системы включают в себя наблюдательную сеть скважин, расположенных на контролируемой территории, которые достаточно полно отражают динамические и гидрохимические региональные особенности режима подземных вод. Однако недостатками такого рода систем является то, что контроль качества воды осуществляется только в централизованной системе водоснабжения, отбор воды берется из точечных источ-

ников (скважин), сбор информации осуществляется механическим способом с помощью наблюдателей, проводящих отбор проб воды для дальнейшего их анализа в лаборатории [2].

Целью данной работы является обоснование применения геоэлектрических методов зондирования для геоэкологического контроля в децентрализованных системах водоснабжения на локальном уровне.

Базовая геоэлектрическая модель в точках геоэкологического контроля воды

Современные системы контроля, построенные на базе геоэлектрических методов зондирования, обеспечивают высокоточное слежение за экзогенной геодинамикой среды и позволяют предупредить появление возможных кризисных ситуаций [3].

В качестве базовой модели при организации геоэкологического контроля верхних водоносных горизонтов в системах мониторинга децентрализованных систем водоснабжения локального уровня может быть принята многослойная модель геологического разреза (Рис.1).

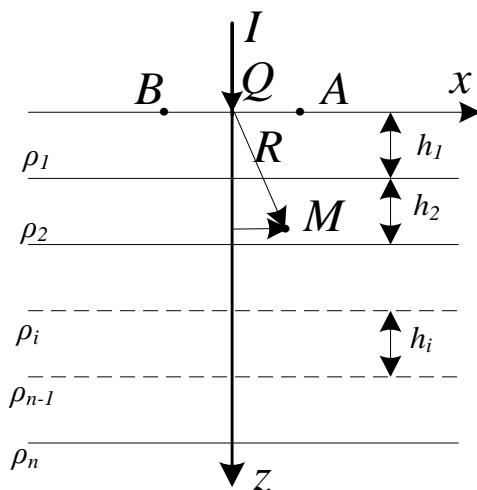


Рис.1. Базовая геоэлектрическая модель при геоэкологическом контроле воды.

Каждый из слоев модели характеризуется определенными параметрами, определяемыми физическими процессами, происходящими в них и оказывающих влияние на результаты

контроля. В поверхностных природных водах, содержащих преимущественно неорганические вещества, удельная электропроводность служит мерой их суммарной ионной концентрации. С увеличением концентрации солей в воде усиливаются межйонные взаимодействия. Электропроводность водных систем увеличивается с ростом температуры, так как при этом уменьшается их вязкость и увеличивается степень диссоциации. Особенно это характерно для верхнего приповерхностного слоя. Оценка общей минерализации воды по ее удельной электропроводности не может быть однозначной. Минерализация и электропроводность колеблются в широких пределах, поэтому необходимо применение многослойной модели геологического разреза, что позволит выделить вариации электропроводности нескольких слоев одновременно [4].

Применение метода многочастотного вертикального электрического зондирования

Для контроля параметров верхних водоносных горизонтов предлагается использовать метод многочастотного вертикального электрического зондирования (МЧВЭЗ), при использовании которого можно выделить изменения в каждом слое принятой модели. Воспользуемся базовой геоэлектрической моделью N - слойного геологического разреза. При использовании точечного источника геоэлектрического поля, с частотой ω , потенциал на расстоянии r от источника, может быть записан в следующем виде [5]:

$$U(\rho) = \frac{\rho_1(p)I(\rho)}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r} + \int_0^\infty [R_1(m) - 1] J_0(mr) dm \right\}$$

где $J_0(mr)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка от mr ; $R_1(m)$ – функция геоэлектрической контрастности; $p = j\omega$ – оператор Лапласа.

Для простоты предположим наличие общей меры глубины d_0 . При этом мощность любого слоя в нашей модели:

$$d_i = n_i d_0, \text{ где } n_i \in Z.$$

Для функции геоэлектрической контрастности может быть получено выражение в виде бесконечной суммы экспонент [6]:

$$R_1'(m) = R(m) - 1 = 1 + 2 \sum_{i=1}^{\infty} q_i e^{-2im d_0}$$

где q_i – коэффициент эмиссии, который может быть рассчитан для любого значения i по заданным параметрам многослойного разреза.

Как видно из приведенного соотношения функция геоэлектрической контрастности $R_1'(m)$ зависит только от параметров h_i и ρ_i слоистого разреза и не зависит от r . При использовании неконтактных датчиков напряженности электрического поля и нормировании регистрируемого геоэлектрического сигнала перейдем к передаточной функции геоэлектрического разреза.

$$H(p) = -\frac{\partial U(p)}{\partial I(p)} = \frac{\rho_1(p)}{2\pi} \left[\frac{1}{r^2} + \int_0^{\infty} R_1'(m) m J_1(mr) dm \right]$$

Соответственно передаточная функция геоэлектрической разреза может быть выражена в виде бесконечной суммы элементарных функций:

$$H(p) = \frac{\rho_1(p)}{2\pi} \left[\frac{1}{r^2} + 2 \sum_{i=1}^{\infty} q_i t_{i,E} \right]$$

где $t_{i,E}$ – коэффициенты удаления, не зависящие от сопротивлений горизонтов, определяемые по следующему соотношению:

$$t_{i,E} = r / \left[r^2 + (2id_0)^2 \right]^{3/2}.$$

В простейшем случае для модели двухслойного проводящего полупространства, которая хорошо может описывать процесс контроля верхнего водоносного горизонта с параметрами $h_1, \rho_1(p, T)$ – для первого слоя с учетом температурного влияния, $h_2, \rho_2(p)$ – для второго слоя, коэффициент эмиссии можно выразить чрез коэффициент контрастности электрических параметров сред [7]:

$$q_i(p) = k_{12}^i(p) = \left(\frac{\rho_2(p) - \rho_1(p, T)}{\rho_2(p) + \rho_1(p, T)} \right)^i$$

Приняв $d_0 = h_1$, получим

$$H(p) = \frac{\rho_1(p, T)}{2\pi} \left[\frac{1}{r^2} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{12}^n(p, T)}{\left[r^2 + (2nh_1)^2 \right]^{3/2}} \right]$$

Аналогично может быть получено расчетное соотношение для коэффициента передачи для любого числа учитываемых слоев геоэлектрической модели геологического разреза при мониторинге нецентрализованных водных систем. В этом случае допустимо использовать аппроксимацию передаточных функций геоэлектрического разреза эквивалентными дробно-рациональными функциями комплексного переменного p , физически реализуемых дискретными электрическими цепями. Для решения задач контроля эквивалентность функций геоэлектрического разреза должна обеспечивать совпадение характеристик только на диапазоне применяемых в МЧВЭЗ методе частот и только на ограниченном отрезке точечного контроля [8].

Заключение

Для обеспечения геологического мониторинга водных объектов в нецентрализованных системах водоснабжения в данной работе были определены базовые геоэлектрические модели геологического разреза, рассмотрена функция геоэлектрической контрастности и передаточная функция геоэлектрического разреза для многочастотного метода вертикального электрического зондирования.

Литература

1. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Изд-во МГУ, 1995.
2. СанПиН 2.1.4.544-96 Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения.
3. Константинов И. С., Кузичкин О.Р. Организация систем автоматизированного контроля геодинимических объектов // Информационные системы и технологии, 2008, № 4-3/272(550). – С.9-13.

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

5. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка 3-е издание. – М.: Недра, 1991. – 358с.

6. Дмитриев В.И. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика. – М.: Недра, 1990.

7. Кузичкин О.Р. Алгоритмы обработки данных в многополюсных электролокационных системах // Радиотехника, 2007, №6. – С. 60-63.

8. Кузичкин О.Р. Алгоритм формирования прогнозных геодинамических оценок при геоэлектрическом мониторинге суффозионных процессов // Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика, 2008, №5. – С.50-54.

References

1. Korolev V.A. Monitoring geologicheskoy sredy [Monitoring of the geological environment]. – Moscow: MGU, 1995.

2. SanPiN 2.1.4.544-96. Trebovaniya k kachestvu vody nentralizovannogo vodosnabzheniya [Requirements for Water quality of Uncentralized Sources of Water Supply].

3. Konstantinov I.S., Kuzichkin O.R. Organizacija sistem avtomatizirovannogo kontrolja geodinamicheskikh ob#ektov [Organization of automated control geodynamic objects] // Informacionnye sistemy i

tehnologii [Information Systems and Technology], 2008, № 4-3/272 (550). – P.9-13.

4. Orekhov A.A. Dorofeev N.V. Sistema dlja jekologicheskogo monitoringa vodnyh ob#ektov na baze metoda geojelektricheskogo kontrolja [The system for ecological monitoring water objects based on the method of geoelectrical controls] // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti [Engineering and life safety], №2, 2012. – P.36-38.

5. Jakubowski J.V., Renard I.V. Jelektrozvedka [Electromagnetics] 3rd edition. – Moscow: Nedra, 1991. – 358 p.

6. Dmitriev V.I. Vychislitel'naja matematika i tehnika v razvedochnoj geofizike. Spravochnik geofizika [Computational Mathematics and Technology in exploration geophysics. Directory of geophysics] – Moscow: Nedra, 1990.

7. Kuzichkin O.R. Algoritmy obrabotki dannyh v mnogopoljusnyh jelektrolokacionnyh sistemah [Data processing algorithms in the multi-polar electro radar systems] // Radiotekhnika [Radio Engineering], 2007, №6. – P.60-63.

8. Kuzichkin O.R. Algoritm formirovaniya prognoznnyh geodinamicheskikh ocenok pri geojelektricheskom monitoringe suffozionnyh processov [The algorithm for generating the forecast estimates for geodynamic geoelectric monitoring suffusion processes] // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol' i diagnostika [Devices and systems. Management, monitoring and diagnostics], 2008, №5. – P.50-54.

Статья поступила в редакцию 23 августа 2014 г.

Романов Роман Вячеславович – аспирант 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», г. Муром, Россия. E-mail: romanov.roman.5@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: electron@mivlgu.ru

Romanov Roman Vyacheslavovich – Graduate student, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: romanov.roman.5@yandex.ru

Kuzichkin Oleg Rudolfovich – Professor, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: electron@mivlgu.ru