

УДК 551.491.4

УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ГИДРОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ И  
ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ В СВЯЗИ С  
РЕШЕНИЕМ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В. П. ВАРДАНЯН\*, С. Р. МИНАСЯН, В. В. ВАРДАНЯН

*Кафедра геофизики ЕГУ, Армения*

В работе рассмотрены вопросы установления корреляционных связей между гидрогеофизическими и водно-физическими характеристиками вулканических образований. Основой этих связей служит известная аналогия между геоэлектрическими и гидродинамическими параметрами. Результаты исследований использованы при решении геоэкологических задач, связанных с оценкой величины расходов подземных водотоков и определением допустимых понижений при эксплуатации месторождений подземных вод вулканических районов.

**Ключевые слова:** гидрогеофизические и водно-физические методы, пояс региональной трещиноватости.

**Введение.** Подземные воды в лавовых образованиях характеризуются своеобразными особенностями распределения, движения и накопления. Не всегда известными гидрогеологическими методами удается определить параметры, требуемые для фильтрационных расчетов. Это обусловлено тем, что часто в вулканических регионах нет достаточного количества параметрических буровых скважин, а также наблюдаются значительные фильтрационные неоднородности в плане и разрезе и т.д. Поэтому при поисково-разведочных работах на воду для оценки расчетных гидрогеологических параметров рекомендуется пользоваться корреляционными связями между гидрогеофизическими и водно-физическими характеристиками. Основой установления таких зависимостей служит известная аналогия между распространением электрического тока в земле и движением потока подземных вод.

**Постановка задачи и пути ее решения.** Известно, что многие практические задачи, связанные с исследованием подземного стока – условий его формирования, движения и разгрузки, решаются методом электрогидродинамической аналогии на основании изучения распределения в земле постоянного электрического тока. Распространение искусственно создаваемого электрического

---

\* E-mail: [v.vardanyan@ysu.am](mailto:v.vardanyan@ysu.am)

тока в проводящей среде и движение потока подземных вод при отсутствии источников внутри исследуемого участка подчиняются следующему известному дифференциальному уравнению [1]:

$$\partial[A_1(x, y, z)\partial u/\partial x]/\partial x + \partial[A_2(x, y, z)\partial u/\partial y]/\partial y + \partial[A_3(x, y, z)\partial u/\partial z]/\partial z = 0. \quad (1)$$

Если в этом уравнении, коэффициенты удовлетворяют соотношению  $A_1(x, y, z) = A_2(x, y, z) = A_3(x, y, z)$ , то оно преобразуется в уравнение Лапласа

$$\Delta u = \partial^2 u/\partial x^2 + \partial^2 u/\partial y^2 + \partial^2 u/\partial z^2. \quad (2)$$

Аналогия электрических и фильтрационных полей широко используется при математическом моделировании с целью расчета фильтрационных потерь из водохранилищ и разработки противофильтрационных мероприятий и т.п. [2].

Обычно зависимости между гидрогеофизическими и гидродинамическими параметрами носят в основном вероятностно-статистический характер, хотя в некоторых случаях между ними имеются функциональные связи. Наличие многофакторности физико-геологических условий приводит к ограниченным эмпирическим зависимостям. В настоящее время ряд авторов предложили такие связи для скальных трещиноватых пород. Некоторые из них следует считать справедливыми и для эффузивных разрезов, тем более что они проверены по фактическим данным [3, 4].

Одним из основных гидрогеологических параметров, количественно характеризующим фильтрационные свойства лавовых пород, является коэффициент фильтрации  $K_\phi$ , который представляет собой коэффициент пропорциональности в законе Дарси:  $V = K_\phi I_t = Q/F$ , характеризующем скорость движения подземных вод при градиенте напора  $I_t$  и расход потока  $Q$  через сечение  $F$ . Водные свойства коллекторов можно выразить также через коэффициент водопроницаемости  $T_{Bi} = K_\phi h_i$ , где  $h_i$  – мощность  $i$ -го водоносного пласта, а для водоупоров – через фильтрационное сопротивление  $R_B = h_i / K_\phi$ .

В результате традиционной послойной интерпретации данных вертикальных электроразведываний (ВЭЗ) можно получить следующие характеристики: послойную продольную проводимость  $S_i = h_i / \rho_i$ , поперечное сопротивление

$$T_i = h_i \rho_i, \text{ суммарную продольную проводимость } S = \sum_{i=1}^N (h_i / \rho_i), \text{ суммарное}$$

поперечное сопротивление  $T = \sum_{i=1}^N (h_i \rho_i)$ , где  $h_i$ ,  $\rho_i$  – мощность и удельное электросопротивление  $i$ -го слоя соответственно.

В работе [2] при поисках связи между геоэлектрическими и водно-физическими параметрами предложено использовать трансформированные параметры  $S_{TP}$ ,  $T_{TP}$  и кажущиеся ( $S_{\Sigma K}$ ,  $T_{\Sigma K}$ ) значения этих параметров, близкие к суммарным  $S$  и  $T$ . Рассматриваемые обобщенные параметры ценны тем, что они являются параметрами эквивалентности, и поэтому для многих эффузивных разрезов определяются практически однозначно.

В таблице 1 приведены аналоги послойных и обобщенных геофильтрационных и геоэлектрических параметров для скальных пород по [2].

Таблица 1

Обобщенные параметры		Геофильтрационные	Геоэлектрические
Для отдельных слоев	коэффициент фильтрации изотропного слоя	$K_\phi$	$1/\rho_i$
	поперечная проводимость	$C_{Bi} = K_\phi/h_i$	$1/T_i$ или $S_i/h_i^2$
	вертикальное фильтрационное (гидравлическое) сопротивление	$R_{Bi} = h_i/K_{\phi i}$	$T_i = h_i^2/S_i = h_i\rho_i$
	коэффициент горизонтальной водопроницаемости	$T_{Bi} = K_{\phi i}/h_i$	$S_i = h_i^2/T_i = h_i/\rho_i$
Для слоистых толщ	средний коэффициент фильтрации анизотропной толщи	$\bar{K}_\phi$	$1/\bar{\rho}$
	средний продольный коэффициент фильтрации	$\bar{K}_{\phi l} = T_B/h$	$1/\bar{\rho}_l = S/h$
	средний поперечный коэффициент фильтрации	$\bar{K}_{\phi n} = h/R_B$	$1/\bar{\rho}_n = h/T$
	среднегеометрический коэффициент фильтрации	$\bar{K}_\phi = \sqrt{T_B/R_B}$	$1/\bar{\rho} = \sqrt{S/T}$
	суммарный коэффициент гидравлического сопротивления	$R_B = \sum h_i/K_{\phi i}$	$T = \sum h_i\rho_i$
	суммарный коэффициент водопроницаемости	$T_B = \sum h_i K_{\phi i}$	$S = \sum h_i/\rho_i$

**Результаты работ.** Опыт работ, выполненных в вулканических районах, показывает возможность установления корреляционно-статистических связей между гидрогеологическими параметрами, полученными путем откачек и наливов, и геоэлектрическими характеристиками. Если данные опытно-фильтрационных работ отсутствуют, то графики и карты геоэлектрических параметров можно использовать для оценки относительных изменений соответствующих гидрогеологических параметров.

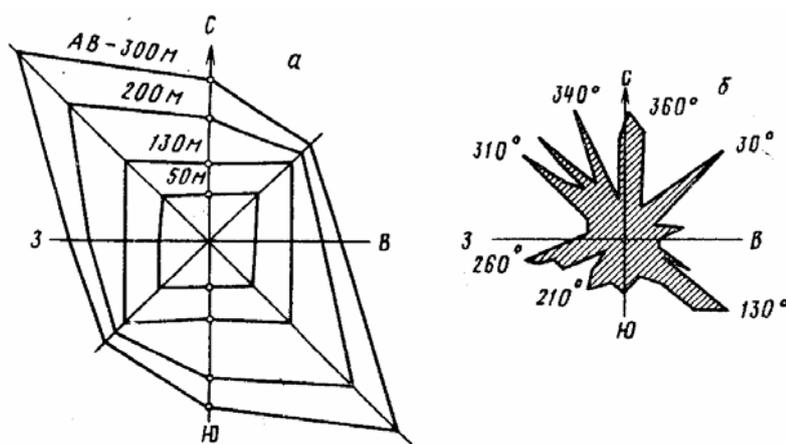
Рассмотрим возможность оценки ряда характеристик среды, используемых при схематизации их гидрогеологических условий. Известно, что водопроницаемость и фильтрационная анизотропность, а также в отдельных случаях блочность строения лавовых пород в вулканических районах республики зависят от степени и характера их трещиноватости. В породах локально-водоносного эффузивного комплекса литогенетические (первичные) трещины по количеству резко преобладают над трещинами тектонического и экзогенного происхождения. Наличие трещин резко изменяет физические свойства массива горных пород. При исследовании трещиноватых зон с применением гидрогеофизических методов следует учитывать следующие факторы:

1) общий объем трещин по отношению к изучаемому объему горных пород (чем больше это отношение, тем сильнее будут отличаться физические свойства массива от свойств тех же, но монолитных пород);

2) распределение и ориентация трещин (беспорядочное распределение трещин будет вносить наименьшие искажения в физические поля);

3) характер вещества, заполняющего трещины (чаще всего в лавовых породах приходится иметь дело с сочетанием нескольких заполнителей – воздух, вода, обломочный и глинистый материал и т.п.).

Наличие трещиноватости и трещиноватых зон в лавовых породах обуславливает электрическую анизотропию, т.е. неодинаковую электропроводимость в различных направлениях. Этот фактор позволяет в благоприятных условиях использовать круговые вертикальные зондирования для определения господствующего направления трещиноватых зон и изменения их интенсивности на различных глубинах. В некоторых случаях наблюдается связь между трещиноватостью и направлением движения лавовых потоков. Так, например, в пределах массива г. Арагац трещины в большинстве случаев направлены по падению на север и северо-запад, реже, юго-запад и юго-восток. Основное северо-западное направление имеет также большая ось эллипсов многих полярных диаграмм удельного сопротивления  $\rho_K$  (см. рисунок) [3].



Полярная диаграмма  $\rho_K$  по данным круговых зондирований (а);  
роза трещиноватости базальтов по направлению падения (б).

Удельные сопротивления (Ом·м) некоторых разностей эффузивных пород в зависимости от влажности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Породы	Породы, лишенные гигроскопической и капиллярной влажности	Образцы с влажностью		ВЭЗ и картаж для пород	
		гигроскопической	максимальной капиллярной	с максимальной капиллярной влажностью	с трещинно-жильными водами
базальт	$2 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$
андезит	–	$5 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4$	–	$5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$
диабаз	$5 \cdot 10^6 - 4 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$	–	$2 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$
порфирит	$9 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$

Общеизвестна применяемая в настоящее время в гидрогеологии методика фильтрационных исследований эффузивных образований – по расходу откачиваемой из скважин или нагнетаемой в них воды и по происходящему изменению (понижению или повышению) уровня этих вод

вычисляют удельный дебит (или удельное водопоглощение) и  $K_{\phi}$ . В этом случае при схематизации гидрогеологической обстановки условно считается, что фильтрационная среда, по крайней мере в горизонтальной плоскости, однородна и изотропна. На самом же деле эффузивные породы в большинстве случаев в фильтрационном отношении анизотропны, и  $K_{\phi}$ , являясь функцией трещиноватости, изменяется в зависимости от направления потока, т.е. является величиной дирекционной. Для определения степени анизотропности фильтрационных свойств массива и изменения  $K_{\phi}$  иногда прибегают к гидравлическому опробованию куста скважин. Способ этот требует большой затраты средств и времени и поэтому применяется сравнительно редко.

С целью установления корреляционной связи между  $K_{\phi}$  четвертичных андезитобазальтов и базальтов Центрального вулканического нагорья Армении статистически обработаны данные опытно-фильтрационных работ и параметрических зондирований скважин [4]. Установлена зависимость  $K_{\phi} = f(T_{\text{тр}})$ , которая показывает наличие обратной пропорциональной связи между этими параметрами. Методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии вида

$$K_{\phi} = 33,48 - 0,53 T_{\text{тр}}.$$

Установленная корреляционная связь позволяет составить прогнозные расчеты и количественно оценить фильтрационные свойства лавовых пород для глубин от 20 до 200 м.

**Заключение.** В вулканических районах для решения ряда геоэкологических задач и, в частности, установления мест оптимального отбора подземных вод и определения его допустимой величины, а также для исключения возможного истощения ныне эксплуатируемых месторождений подземных вод республики необходимо применять современные методы математического моделирования. При этом для составления геофильтрационной модели, наиболее близкой к природным условиям района, наряду с известными гидрогеологическими методами эффективным является также установление связей между гидрогеофизическими и водно-физическими параметрами среды. Это позволит более рационально использовать ресурсы подземных вод и в определенной степени исключить возможные отрицательные геоэкологические последствия.

*Поступила 01.12.2011*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Коран Г., Коран Т.** Справочник по математике. М.: Наука, 1974.
2. Электрическое зондирование геологической среды. Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина. М.: Изд-во МГУ, ч. I, 1988; ч. II, 1992.

3. **Минасян Р.С.** Изучение подземных вод вулканических областей геофизическими методами. М.: Недра, 1989.
4. **Минасян Р.С., Варданян В.П.** Палеорельеф и распределение подземного стока Центрального вулканического нагорья Армении. Ер.: Асогик, 2003.  
Վ. Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ս. Ռ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Վ. Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՋՐԱԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՋՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ  
ՄԻՋԵՎ ԿԱՊԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱ-ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ  
ԼՈՒԾՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ

Ամփոփում

Աշխատանքում քննարկված են հրաբխային առաջացումների ջրաերկրաֆիզիկական և ջրաֆիզիկական ցուցանիշների միջև կոռելյացիոն կապերի որոշման վերաբերյալ հարցերը: Այդ կապերը հիմնված են երկրաէլեկտրական և ջրադինամիկական ցուցանիշների միջև ընկած հայտնի համանմանության հիման վրա: Ուսումնասիրության արդյունքներն օգտագործվել են հրաբխային շրջաններում ստորերկրյա ջրերի հանքավայրերի շահագործման ընթացքում, թույլատրելի իջեցումների որոշման և ստորերկրյա ջրահոսքերի ծախսերի գնահատման հետ կապված երկրաբանաէկոլոգիական խնդիրների լուծման համար:

V. P. VARDANYAN, S. R. MINASYAN, V. V. VARDANYAN

ESTABLISHMENT OF CONNECTIONS BETWEEN  
HYDROGEOPHYSICAL AND WATERPHYSICAL PARAMETERS OF  
ENVIRONMENT FOR SOLVING GEO-ECOLOGICAL PROBLEMS

Summary

In the article problems of establishment of correlation connections between hydrogeophysical and waterphysical characteristics of volcanic formations are examined. These connections are based on well-known analogue between geoelectrical and hydrodynamical parameters. The results of the studies are used for solving geo-ecological problems in connection with estimate of groundwater flows' charges and determination of permissible reductions during the exploitation of groundwaters in volcanic regions.