

Երկրաբանություն

УДК 556.33.62; 556.36

**ՀԻԴՐՈԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԵՌԱԶԱՓ ՍՈԳԵԼԱՎՈՐՄԱՆ
ՍԿՋԲՍՈՒՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ՆՐԱ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԵՐԵՎԱՆԻ
ԳՈԳԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՕՐԻՆԱԿՈՎ**

Ա. Հ. ԱՐԻՆՅԱՆ*, Տ. Գ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

ԵՊՀ ջրաերկրաբանության և ճարտարագիտական երկրաբանության ամբիոն, Հայաստան

Բանալի բառեր. Modflow, Win Flow, ջրաերկրաբանական մոդելավորում, եռաչափ մոդելավերում, ջրատար համակարգեր:

Ներածություն: Վերջին 25 տարիների ընթացքում համակարգչային տեխնոլոգիաների զարգացման հետ զուգընթաց մեծ թափ է առել ստորերկրյա ջրերի շարժման թվային մոդելավորումը, որը հնարավորություն է տալիս տեսանելի ձևով պատկերել ուսումնասիրվող ջրատար միջավայրը եռաչափ մոդելում, ինչպես նաև համակարգչի օգնությամբ կառուցված մոդելի վրա կատարել ստորերկրյա ջրերի արտամղումներ, մոտարկել ջրի շարժումը եռաչափ կամ հարթ միջավայրում, լուծել այլ գործնական հիդրոերկրաբանական խնդիրներ: Այդ գործընթացը համակարգչային լեզվով կոչվում է շարժիչի սիմուլյացիա:

Ջրաերկրաբանական մոդելավորման նյութը և մեթոդիկան: Ջրաերկրաբանական մոդելավորումը իրենից ներկայացնում է բնական ջրաերկրաբանական համակարգի հիմնական հատկությունների արտահայտում, որը հիմնված է ջրաերկրաբանական և մաթեմատիկական օրինաչափությունների վրա [1, 2]:

Կառուցվող ջրաերկրաբանական մոդելը կոչվում է կոնցեպտուալ, քանի որ իրենից ներկայացնում է ֆիզիկական համակարգի գլխավոր առանձնահատկությունների և նրա ջրաերկրաբանական բնութագրի պարզեցված արտահայտումը: Այն պետք է լինի բավականաչափ մանրակրկիտ դրված խնդրի լուծման համար, բայց ոչ շատ պարզեցված, որպեսզի խնդիրները ստանան իրատեսական լուծում:

Մաթեմատիկական մոդելը իրենից ներկայացնում է հավասարումների համակարգ, որը կախված որոշակի ենթադրություններից հաշվարկում է մոդելավորվող ջրատար համակարգերի ֆիզիկական պրոցեսները: Ցանկացած մոդել չի կարող ճշգրիտ վերարտադրել ստորերկրյա ջրերի բնական համակարգը, բայց կարող է տալ ջրաերկրաբանական միջավայրի միջինացված բնութագիրը: Այն կարող է գործիք հանդիսանալ ջրաերկրաբանական համակարգի որոշակի փոփոխությունների կանխատեսման համար, որոնք կարող են տեղի ունենալ արտաքին գործոնների ազդեցությամբ՝ արտամղում, ոռոգում և այլն:

* E-mail: hydro@ysu.am

Մոդելները կարելի է օգտագործել տարբեր նպատակների համար՝ ջրաերկրաբանական համակարգը լավ պատկերացնելու (տվյալների սինթեզ), ջրատար համակարգի դինամիկ հաշվարկների (ջրատար հորիզոնի վարքագծի գնահատում), երկրաբնապահպանական կանխատեսումների, ստորերկրյա ջրերի սնման, շարժման և բեռնաթափման պայմանների գնահատման, տարբեր գործոնների ազդեցությամբ տեղի ունեցող փոփոխությունների՝ ռեժիմների արտացոլման (եռաչափ, հարթ, կտրվածքների տեսքով և այլն) համար: Մոդելը պետք է լինի բավականին ճկուն, որպեսզի տվյալների քանակի աճի դեպքում հնարավոր լինի այն ենթարկել փոփոխության:

Կոնցեպտուալ ջրաերկրաբանական մոդելի ստեղծման ժամանակ մոդելավորման բոլոր փուլերում առաջանում են անորոշություններ: Անորոշություններ են առաջանում տեղանքի ջրաերկրաբանական տվյալների հավաստիության վերաբերյալ, հետադարձ ջրաերկրաբանական խնդիրների լուծման ժամանակ, այսինքն՝ մոդելը ստուգաճշտելիս և այլն:

Գեոֆիլտրացիոն համակարգի մոդելավորումը կատարվում է երեք փուլերով՝ կոնցեպտուալիզացիա, կալիբրացում և կանխատեսում: Առաջին փուլի ժամանակ առաջադրվում են ուսումնասիրվող խնդիրները, եղած տվյալներով կատարվում է ուսումնասիրվող տարածքի ջրաերկրաբանական մեկնաբանումը, ընտրվում է մոդելավորման համակարգչային ծրագիրը (անալիտիկ, թվային), նախապատրաստվում է մոդելի մշակման մանրակրկիտ ծրագիր (գրիդ-ցանց, շերտեր, սահմանային պայմաններ, ժամանակի ինտերվալներ չկայունացած շարժման համար, տարբեր ֆիզիկական պարամետրերի թույլատրելի փոփոխության սահմաններ (error targets), պահանջվող ռեսուրսներ և այլն): Երկրորդ փուլի ժամանակ մոդելը կառուցվում է ցանցով, սահմանային պայմաններով, կատարվում է տարբեր ֆիզիկական պարամետրերի փոխհամապատասխանության նպատակով ստուգաճշտում այնպես, որ դաշտային և հաշվարկային տվյալները հնարավորինս մոտ լինեն և վերջում կատարվում է մոդելի ստուգում (model verification): Երրորդ փուլում մոդելը ստուգվում է հատուկ ծրագրի (sensitivity and uncertainty analyses) օգնությամբ [2]:

Մաթեմատիկական մոդելներում, հիմնական դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման համար, օգտագործում են անալիտիկ (պարզ) և թվային (բարդ) ծրագրերը: Անալիտիկ մոդելներն իրենցից ներկայացնում են հավասարումներ հարթ հոսքի խնդիրների ճշգրիտ լուծման համար, որոնց դեպքում կատարվում են բազմաթիվ պարզեցնող ենթադրություններ: Այս դեպքում դիտարկվող ջրատար հորիզոնը սովորաբար ընդունվում է որպես համասեռ միջավայր: Այս հավասարումները կարելի է լուծել ձեռքով կամ համակարգչային պարզ ծրագրերի օգնությամբ (օր. Win Flow, Two Dan), որոնք չեն հաշվարկում համակարգի ֆիզիկական փոփոխությունները ժամանակի և տարածության մեջ: Թվային մոդելներում հիմնական դիֆերենցիալ հավասարումների շարունակական անդամները փոխարինվում են վերջնական անդամներով: Համակարգիչը հաշվարկում է հանրահաշվական հավասարումների արդյունքները՝ հանրահաշվական մատրիցաների օգնությամբ: Այս եղանակով կարելի է մեծ ճշտությամբ լուծել բարդ երկրաչափական տեսք ունեցող միջավայրի հիդրոերկրաբանական խնդիրներ:

Ստորերկրյա ջրերի մոդելավորման համակարգչային թվային ծրագիրը, որը համաշխարհային ճանաչում է ստացել, մշակվել է Մակ Դոնալդի և Հարբոլիսի կողմից և կոչվում է մոֆլոու (Modflow) [3]:

Ստուգաճշտումը իրենից ներկայացնում է մի գործընթաց, երբ մոդելում անկախ փոփոխականները հաշվարկվում են որոշակի իրական սահմաններում, որպեսզի հաշվարկված և դաշտային տվյալները հնարավորինս համապատասխանեցվեն միմյանց: Այլ խոսքով, ստուգաճշտման եղանակով լուծվում է հակադարձ խնդիր, փոխվում են անհայտ մեծությունները (պարամետրերը և հոսքը) այնքան, մինչև որ խնդրի լուծումը համընկնում է հայտնի պարամետրերի հետ (ճնշում, մակարդակ,

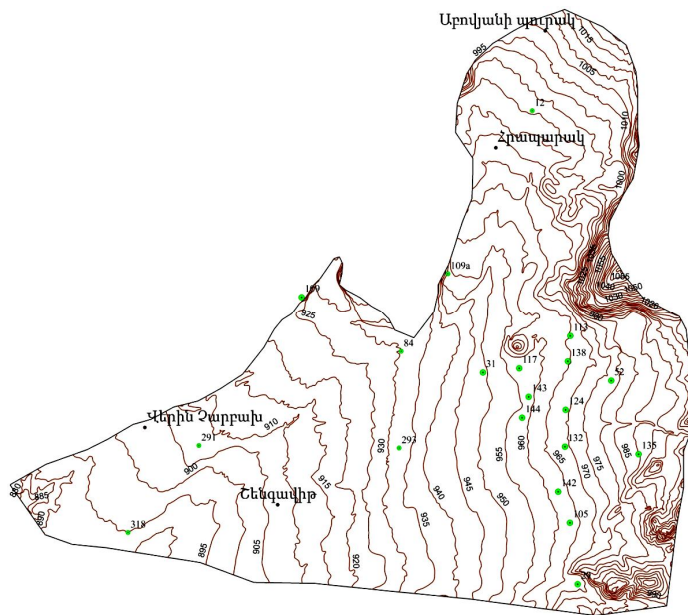
ծախս): Ստուգաճշտումն անհրաժեշտ է, բայց ոչ բավարար, քանի որ ստացված արդյունքներն ունեն մոդելի կանխատեսման հավաստիության աստիճան: Ստացվող որակական գնահատականը ներառում է ստորերկրյա ջրերի տարբեր պարամետրերի համեմատությունը՝ հիմնված հիդրոփզոգոմերի և հիդրոփզոպիեզոմերի քարտեզների վրա:

Մաթեմատիկական մոդելի կարգավորումը ընդգրկում է ջրատար հորիզոնի տարբեր պարամետրերի տեղաբաշխումը տարածության մեջ՝ ֆիլտրացիայի գործակցի, տեսակարար ջրատվության և ներհոսքի գործակցի [4]: Վերը նշված պարամետրերի նշանակությունները ստուգաճշտման ընթացքում համապատասխանաբար փոփոխվում են այնքան ժամանակ, մինչև որ դաշտային դիտարկումների և հաշվարկային պարամետրերի արդյունքները իրար համընկնում են:

Այժմ կիրառվում է ավտոմատացված ստուգաճշտում՝ հետադարձ ծրագրերի օգտագործման օգնությամբ (PEST) [5]: Անորոշության խնդիրը կայանում է նրանում, որ նույն համակարգում սահմանային պայմանների և ջրատար հորիզոնների տարբեր համակցություններ բերում են ստուգաճշտման տարբեր արդյունքների, քանի որ մեկ լուծում հնարավոր չէ ստանալ, ունենալով բազմաթիվ անհայտ փոփոխականներ: Վերջինիս ընդունելիությունը կարելի է գնահատել այնքանով, թե որքան են հաշվարկային պարամետրերը համապատասխանում սահմանված որոշակի չափորոշիչներին:

Թվային մոդելը ստորերկրյա ջրերի շարժման հավասարումների լուծման համար կատարում է իտերացիաներ, որտեղ կիրառվում է նրանց թույլատրելի մնացորդային սխալի մեծությունը: Այդ սխալը սովորաբար հաշվարկվում է մոդելում որպես մակարդակի մաքսիմալ փոփոխություն՝ ցանկացած հանգույցում հաջորդող իտերացիաների միջև: Գոյություն ունեն այնպիսի ուղեցույցներ, որոնք կատարողին հնարավորություն են տալիս կառուցել հիմնավորված, կայուն, մանրակրկիտ մշակված մոդել, որը հիմնված է կոնցեպտուալ մոդելի և ստուգաճշտում անցկացնելու վրա [6]:

Արդյունքներ և եզրակացություն: Հիդրոերկրաբանական եռաչափ մոդելավորման սկզբնուճքների կիրառմամբ ստորև ներկայացվում է Երևանի իջվածքի հիդրոերկրաբանական եռաչափ մոդելը:

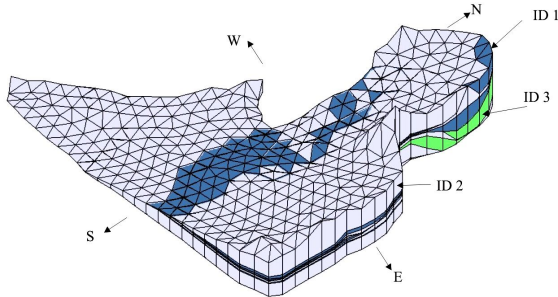


Նկ. 1: Մոդելավորվող շրջանի՝ Երևանի գոգավորության քարտեզ:

Երևանի իջվածքը հյուսիսից սահմանափակվում է Աբովյանի պուրակով, հյուսիս-արևմուտքից և արևմուտքից Արաբկիրի սարահարթով և Կոնդի բարձրացումներով, արևելքից՝ Սարի թաղի բարձրացումով, արևմուտքից և հարավ-արևմուտքից միանում է Արարատյան գոգավորությանը: Այն ունի 30 կմ^2 մակերես և տեղակայված է $885\text{--}1015 \text{ մ}$ բացարձակ նիշերի սահմաններում: Երևանի գոգավորության տարածքում Կոտայքի սարահարթի վերին պլիոցենի լավաները խորասուզվում ալյուվիալ-պրոլյուվիալ առաջացումների տակ: Գոգավորության հիմքը ներկայացված է օլիգոցենի և միոցենի ծովային և լազունային առաջացումներով:

Ուսումնասիրվող տարածքը գտնվում է ջրային հաշվեկշռի բացասական գոտում, որտեղ գոլորշիացումը գերակշռում է տեղումներին: Երևան քաղաքը հարուստ է ստորերկրյա ջրային ռեսուրսներով, որոնց որոշ մասը քաղաքում և նրա հարակից տարածքներում բեռնաթափվում է աղբյուրների տեսքով, իսկ մնացած մասը ստորերկրյա տրանզիտ ճանապարհով շարժվում է դեպի Արարատյան արտեզյան ավազան:

Երևանի գոգավորությունում տարբեր տարիներ հորատվել են տարբեր խորությունների բազմաթիվ հորատանցքեր, որոնց լիթոլոգիական կտրվածքները ուսումնասիրվել և վերլուծվել են մեր կողմից և տեղադրվել են թվային տոպոհիմքի վրա GIS միջավայրում (նկ. 1): Կատարվել է անցում լիթոլոգիական կտրվածքներից գեոֆիզիկապես կտրվածքների, որի ժամանակ միանման ֆիլտրացիոն հատկություններով ապարները միացվել են որպես մեկ հորիզոն: Առանձնացվել են 3 հորիզոններ՝ ջրատար, ջրամերժ և թույլ ջրատար:



Նկ. 2: Երևանի գոգավորության տարածական գեոֆիզիկապես մոդել՝

ID 1 – ջրատար շերտ;

ID 2 – ջրամերժ շերտ;

ID 3 – թույլ ջրատար շերտ:

այլ հիդրոդինամիկ պարամետրերով և հաստությամբ ջրատար հորիզոնով, որով և բացատրվում է ստորերկրյա ջրերի մակարդակների կտրկուկ փոփոխությունները փոքր տարածություններում: Օրինակ՝ ոչ ճնշումային պայմանները փոխարինվում են ճնշումային պայմաններով:

Նշված մոդելի առավելությունը կայանում է նրա ճկունության՝ նոր տվյալների ի հայտ գալուն պես փոփոխություններ կատարելու առումով: Նշված հորիզոններին կարելի է տալ բազմաթիվ առանձին պարամետրեր՝ հիդրավիլիկ թեքություն, ֆիլտրացիայի գործակից, ջրի մակարդակի խորություն, ծակոտկենություն, ջրատվության գործակից, որից հետո հնարավոր է լուծել բազմաթիվ հիդրոերկրաբանական խնդիրներ: Օրինակ, տրված ջրառի դեպքում կարելի է որոշել ստորերկրյա ջրերի մակարդակի իջեցման չափը, նյութի տեղափոխումը տարբեր քիմիական ռեակցիաների փաթեթների կիրառմամբ, կապված ստորերկրյա ջրերի ռեժիմի կանխագուշակման հետ:

Որպես ջրատար հորիզոն են ընդունվել մանրահատիկ ավազները, խճազաքարերը, մեծաբեկոր բազալտները: Որպես ջրամերժ ապարներ ենք ընդունել մուգ դարչնագույն տուֆերը, կավավազները, հոծ բազալտները, իսկ թույլ ջրամերժ են՝ թույլ ճեղքավոր բազալտները: Ստորերկրյա ջրերի մոդելավորման հատուկ ծրագրով, որը կոչվում է GMS, կատարվել է եռաչափ մոդելավորում (նկ. 2):

Արդյունքում պարզվել է, որ տարածության մեջ հորիզոնները ընդհատվում են, այսինքն մեկ ջրատար հորիզոնը փոխարինվում է

Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. **Крамбейн У., Грейбилл Ф.** Статистические модели в геологии. М.: Мир, 1969, 396 с.
2. **Middlemis Н.** Groundwater Flow Modelling Guideline. Western Australia: Aquaterra Consulting Pty Ltd, 2001, 133p.
www.earthwardconsulting.com/library/MBDC_Groundwater_Modeling.pdf
3. **McDonald M., Harbaugh A.W.** A Modular Three-Dimensional Finite Difference Ground Water Flow Model. US Geological Survey Open-File Report 83-875, 1988, 596 p.
4. **Де Уист Р.** Гидрогеология с основами гидрологии суши. М.: Мир, 1969, 310 с.
5. **Wen-Hsing Chiang** 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, 2005, p. 123–159.
6. **Apello C.A.J., Postma D.** Geochemistry, Groundwater and Pollution. Netherlands: A.A. Balkema Publ., 2005, p. 541–550.

А. О. АГИНЯН, Т. Г. МКРТЧЯН

ПРИНЦИПЫ 3-МЕРНОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И
ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
НА ПРИМЕРЕ ЕРЕВАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Резюме

В статье рассмотрены современные принципы 3-мерного моделирования геофильтрации. Отмечается, что основой для гидрогеологических расчетов является разработанная МакДональдом и Гарбухом программа Модфлю.

В работе на основе литологических разрезов скважин, пробуренных в Ереванской котловине, проведен переход от литологических слоев к обобщенным геофильтрационным слоям, т.е. к слоям с близкими фильтрационными свойствами, соединенными в один слой. В результате для Ереванской котловины получены три геофильтрационных слоя: водоносный, водоупорный и слабоводоносный.

A. H. AGHINIAN, T. G. MKRTCHYAN

PRINCIPLES OF 3-DIMENSIONAL HYDROGEOLOGICAL
MODELING AND ITS APPLICATION ON THE PATTERN
OF YEREVAN DEPRESSION

Summary

The principles of three-dimensional groundwater modeling are considered in the article. It is noted that the basic program of groundwater flow simulation was developed by McDonald M. and Harbaugh A.W., which is called Modflow.

In this paper on the basis of lithological sections of the wells drilled in Yerevan Basin the transition from lithologic layers to generalized layers on their permeability has been conducted, i.e. layers with similar permeability properties are linked in a single layer. As a result, for Yerevan Basin three layers have been obtained: water-bearing, confined and slowly permeable.