

УСЛОВИЯ ЗА МИГРАЦИЯ НА НЕСОРБИРУЕМИ ЗАМЪРСИТЕЛИ В НЕВОДОНАСИТЕНАТА ЗОНА НА ПАЛЕОГЕНСКИТЕ ВУЛКАНИТИ В РАЙОНА НА ГРАД ХАСКОВО. ЧАСТ 1. ДЕТЕРМИНИРАНЕ НА НИСКОРАНГОВИ ХИДРОГЕОЛОЖКИ ЕДИНИЦИ

Николай Стоянов, Бануш Банушев, Стефан Димовски, Станиела Неделчева

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; asmg.bg@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Изследвани са условията за разпространение на несорбируеми замърсители в неводонаситена среда от изветрели и частично променени вулкански скали. Проучваният участък е ситуиран в палеогенските вулканити, до депото за отпадъци на град Хасково. В приповърхностния разрез са диференцирани няколко нискорангови хидрогеоложки единици. За целта е приложен комплекс от геолого-петрографски, геоелектрични и хидрогеоложки методи и техники в това число: макроскопски и микроскопски изследвания на скални образци, геоелектрично 2D проучване, филтрационни тестове *in situ* и лабораторни индикаторни опити.

MASS TRANSPORT CONDITIONS FOR NONSORPTIVE POLLUTANTS IN THE UNSATURATED ZONE OF PALEOGENE VOLCANICS IN THE HASKOVO CITY REGION. PART 1. DETERMINATION OF LOW RANGE HYDROGEOLOGICAL UNITS

Nikolay Stoyanov, Banush Banushev, Stefan Dimovski, Staniela Nedelcheva

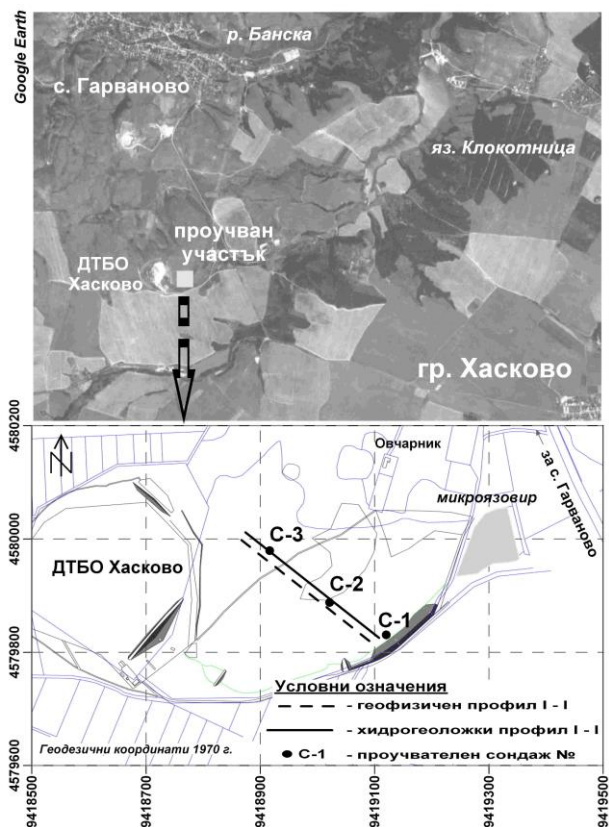
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; asmg.bg@gmail.com

ABSTRACT. The conditions for mass transport of nonsorptive pollutants in unsaturated media presented by weathered and partially altered volcanic rocks are investigated. The studied area is located in the south-eastern parts of the Paleogene volcanics, near the sanitary landfill of Haskovo city. Several low range hydrogeological units are differentiated in the subsurface section. For that purpose is used a complex of geological-petrographical, geoelectrical and hydrogeological methods and techniques including: macroscopic and microscopic analysis of rock pattern, 2D geoelectrical profiling, flow tests *in situ* and laboratory tracer tests.

Въведение

Природните условия, определящи скоростта и мащабите на техногенно замърсяване на подповърхностното пространство са обект на редица научни и специализирани изследвания. Основни теми в повечето публикации са критериите за идентификация и оценка на степента на замърсяване; методическите аспекти и резултатите от експериментални изследвания на поведението на различни замърсители; математическите симулации на преноса на вещество в зоната на аерация и във водонаситената зона и др. Обща тенденция е да се прилагат конвенционални техники, подходи и методи, използвани в теорията на филтрацията и преноса на вещество, при отчитане на спецификата на всеки конкретен обект. По-голямата част от изследванията разглеждат явленията и процесите в пореста среда (чакъли, пясъци, глини). Друга част засягат карстовите формации и напуканите скални масиви. Проведените изследвания са фокусирани върху един сравнително слабо изучен проблем, свързан с разпространението на повърхностни замърсители в неводонаситена среда от изветрели и частично променени вулканити и пирокластични. Проучванията обхващат палеогенските

вулканити, изграждащи геоложката основа на отредената край с. Гарваново площадка за разширение на депото за твърди битови отпадъци на гр. Хасково. При решаването на задачата е приложен комплекс от геолого-петрографски, геоелектрични и хидрогеоложки методи и техники в това число: макроскопски и микроскопски изследвания на скални образци, геоелектрично 2D проучване, филтрационни тестове *in situ*, лабораторни индикаторни опити и математическо моделиране на филтрационни и миграционни процеси в среда с променлива водонаситеност. За целите на настоящето изследване е използван ядров материал от изградените от фирма "Водоканалпроект" АД три проучвателни сондажа (фиг. 1). В същите сондажи са изпълнени и полевите филтрационни тестове. Въз основа на резултатите от проведеното комплексно проучване са решени няколко важни задачи: (1) геометрично детерминиране на зони с различни литоложки характеристики и различна водопропускливост в приповърхностната част на вулканския масив (2) определяне на филтрационните и миграционните характеристики на детерминирани зони; (3) съставяне на математически 2D модел, симулиращ поведението на постъпващи от повърхността замърсители.



Фиг. 1. Местоположение на обекта

Геолого-петрографска характеристика

В структурно отношение районът се отнася към Източнородопската вулканска област (Harkovska et al., 1989; Dabovski et al., 1991), в която са обособени Боровишки, Момчилград-Ардински (Иванов, 1960) и Сушица-Калотико (Yanev et al., 1989) вулкански райони. Изследваният участък попада в Боровишкия вулкански район. Изграден е от разнообразни палеогенски скали, предимно пирокластични – агломерати (фиг. 2a), в по-малка степен вулканити – латити (фиг. 2b), отнасящи се към задругата на втори средноокисел вулканизъм.

Петрографските изследвания включват наблюдения и опробване на три сондажа, от които са взети 10 образеца, изследвани макроскопски и с бинокулярна лупа Olympus. Изготвени са 6 микроскопски препарати, изследвани в проходяща светлина с микроскопи Amplival и Leitz Orthoplan-Pol. Направени са два химични анализа (на вулканска и пирокластична скала) с Атомно-емисионен спектрометър с източник на възбуждане индуктивно свързана плазма (AES ICP) (апарат SPECTRO Analytical instruments, Germany) в МГУ “Св. Иван Рилски”.

Агломератите са изградени от скални късове (литокласти) от латити с размери над 64 mm и запълващо вещество (матрикс) от пирокластичен материал. Скалните късове са черни, по-рядко тъмносиви. Текстурата им е масивна, а структурата – порфирна, гломеропорфирна. Фенокристалите (20-35%) са от плагиоклази, клинопироксени и биотит. Плагиоклазите (An_{38-42} , андезин) са преобладаващи. Те са свежи, зонални, субпорфирни и порфирни (фиг. 2c). На места съдържат включения от хлоритизирано вулканско стъкло и биотит (фиг. 2d).

Фемичните минерали са представени от клинопироксени, биотит и оливин. Количествените съотношения на клинопироксените и биотита са приблизително еднакви. Клиннопироксените са късопризматични, бледозелени, без плеохроизъм, субпорфирни и порфирни (фиг. 2e-f). Често са в гломеропорфирни струпвания – самостоятелно или съвместно с плагиоклази и биотит (фиг. 2e). Съдържат включения от акцесорен апатит и магнетит. Биотитът е свеж, люсповиден, със съвсем съвършена цепителност. Често е периферно опацитизиран (фиг. 2f). Притежава силен плеохроизъм по схемата $Z \cong Y > X$, от тъмнокафяв и тъмнозеленокафяв, почти черен по $Z \cong Y$ до светлозеленокафяв и светложълт по X . Съдържа многочислени включения от тънкопризматичен апатит. Оливинът е под формата на единични фенокристали, напълно променени в оранжевокафява смес от смектити, хлорит и гьотит (идингсит) (фиг. 2g). Акцесорните минерали са представени от дебелопризматичен и тънкопризматичен апатит, участващ като включения във фенокристалите. Основната маса с микролитова и трахитова структура е изградена от множество плагиоклазови микролити (често със субпаралелна ориентировка, обтичащи фенокристалите), ксеноморфен К-фелдшпат и кристали. В някои образци се наблюдава незначително количество хлоритизирано вулканско стъкло. Матриксът е от натрошени кристалокласти (плагиоклази, клинопироксени, биотит), витрокласти (девитрифицирани и цялостно променени в хлорит и смектити, с напълно заличена форма) и по-дребни скални късове от латити.

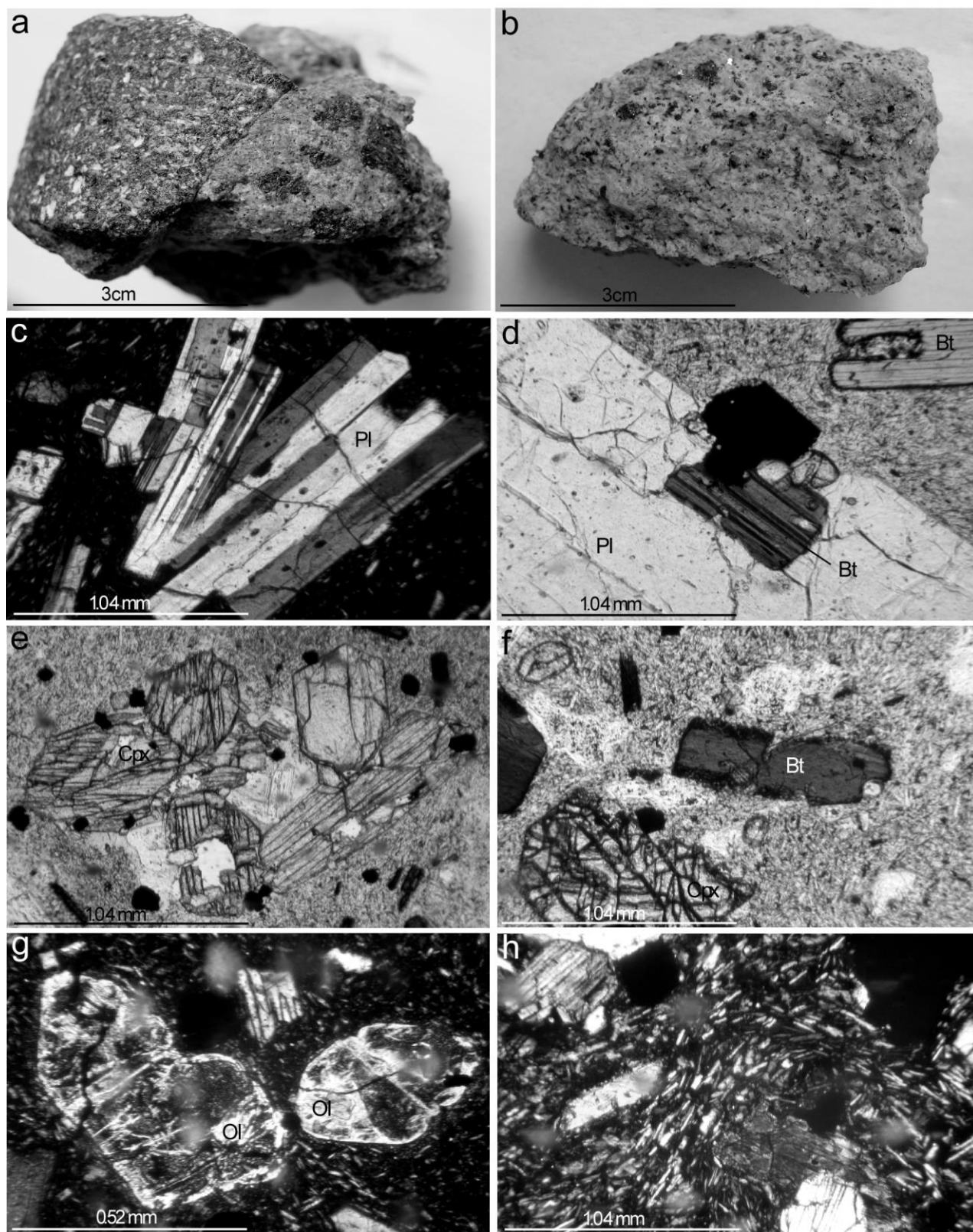
Латитите са бежови, силно изветрели и променени до глинести минерали, с масивна и пореста текстура. В дълбочина те са червенокафяви, сравнително свежи. Минералният им състав е аналогичен на описаните литокласти в пирокластитите. Фенокристалите (15-20%) са от плагиоклази, клинопироксени и биотит, често гломеропорфирно струпани. Плагиоклазите (An_{38-44} , андезин) са зонални, призматични, рядко са плочести. Фемичните минерали клинопироксени и биотит са в приблизително равни количества. Биотитът е свеж, периферно опацитизиран, със силен плеохроизъм – от червенокафяв по $Z \cong Y$ до светложълтокафяв по X . Клиннопироксените са бледозелени, без плеохроизъм с включения от апатит и рудни минерали. Акцесорните минерали са представени от апатит под формата на включения в клинопироксените и биотита. Основната маса с микролитова и трахитова структура е съставена от голямо количество плагиоклазови микролити със субпаралелна ориентировка, ксеноморфен К-фелдшпат и Fe хидроксида, на които се дължи червеникавото оцветяване на скалата (фиг. 2h).

Според химичния състав изследваните образци са определени като латити. Те са висококалиеви, с висококалиево калциево-алкална и шошонитова сериалност.

В предвидения за изграждане на Депо за твърди битови отпадъци район скалните разновидности (пирокластични и вулканити) са засегнати в различна степен от изветрителни процеси и от по-късни промени, в резултат на което те притежават различни физикомеханични свойства и стойности на електричното съпротивление.

Освен промените, друг фактор оказващ съществено влияние върху свойствата на скалите са количествените съотношения на скалните късове и матрикса в различните сондажи или на различни дълбочини в един и същ сондаж,

като с увеличаване количеството на матрикса и степента на промяна, пропорционално намалява здравината на скалите и стойностите на електричното съпротивление на средата.

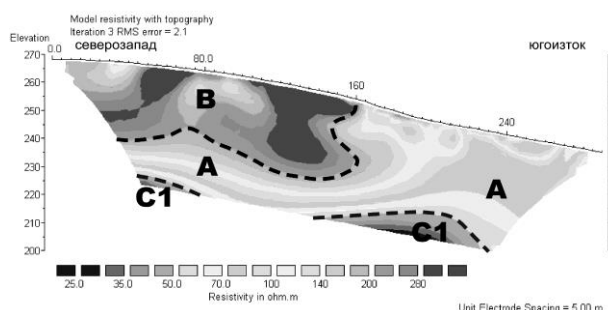


Фиг. 2. Макро- и микрофотографии на вулкани и пирокластични от района на с. Гарваново, Хасковско. Естествени повърхности (a-b): a – агломерат със скални късове от латити и пирокластичен матрикс; b – латит. Микрофотографии (c-h): c – плагиоклаз с ясно изразени полисинтетични срастъци; d – плагиоклаз с включения от биотит; e – клинопироксени в гломеропорфирни струпвания; f – клинопироксен и периферно опацитизиран биотит; g – цялостно променен в идингсит оливин; h – трахитова структура (c, g, h +N; d, e, f || N)

Геоелектрично зонироване в скалния масив

Геоелектричното зонироване в изследвания скален масив е направено посредством двумерно (2D) проучване (електротомография). Приложението на този относително нов геофизичен метод позволява много добра диференциация на скалите по специфично електрично съпротивление. Подробности, относно теоретичните основи, необходимото оборудване и техниката за прилагането на метода, могат да се намерят в голям брой литературни източници (Griffiths, Barker, 1993; Loke, 2001; Стоянов, 2003; Димовски и др. 2007 и др.).

Теренните измервания са изпълнени по един геофизичен профил с обща дължина 290 m (фиг. 1). Използвана е една коса от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 10 m (общо 12 електрода на разстановка). Измерванията са проведени с 3-електродна схема "полус-дипол". След измерване на всяка разстановка, се извършва стъпковото преместване ("приплъзване") на кабела със стъпка 60 m. Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000 производство на фирма ABEM. Данните от полевите измервания са интерпретирани с компютърна програма RES2DINV (Loke, 2001; и др.) и е детерминирано разпределението на действителните съпротивления в подповерхностното пространство. Полученият геоелектричен разрез е представен на фиг. 3.



Фиг. 3. Геоелектричен разрез по геофизичен профил I-I

Регистрираното геоелектрично поле позволява да се детайлизира геоложкия разрез до дълбочина 40-50 m. Най-обобщено изследваният разрез се представя от четири електросъпротивителни среди, маркиращи зони с различни литоложки характеристики или с различна степен на водонасищане. Първата електросъпротивителна среда (Зона А) е най-широко разпространена. Стойностите на електричното съпротивление за тази среда са в диапазона от 50 Ωm до 200 Ωm . Най-вероятно високоомните участъци в границите 100-200 Ωm картират части от скалния масив, в които преобладаващото съотношение между скалните късове и матрикса е около и под 50 %. Тук пирокластитите са слабо променени и се очаква да имат сравнително по-ниска проникваемост. Нискоомните участъци, в които съпротивленията са в границите от 50 до 100 Ωm , маркират присъствието на доста по-високо количеството на свързващо вещество между скалните късове (матрикс) (около 60-70 % и повече). Следва да се очаква, че тук скалният масив е с малко по-висока проникваемост. Втората електросъпротивителна среда (Зона В) има най-високи стойности на електричното съпротивление за изследвания геоелектричен разрез – в

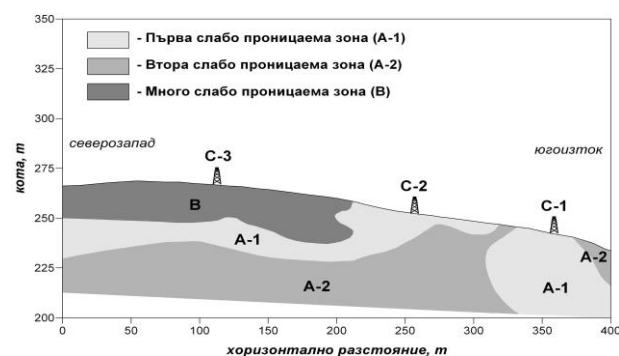
диапазона от около 200 Ωm до 350 Ωm и повече. Тя маркира разпространението на неизветрелите, плътни латити и незасегнатите от вторична промяна пирокластити. Вулканските скали в тази зона са здрави, плътни и много слабо проникваеми. Третата електросъпротивителна среда (Зона С1) се характеризира с по-ниски стойности на електричното съпротивление спрямо зона А – в диапазона от около 35 Ωm до 50 Ωm . Зона С1 вероятно локализира разположените на голяма дълбочина (над 30 m) участъци, в които пирокластитите са със силно променен матрикс. Четвъртата електросъпротивителна среда (Зона С2) се характеризира с най-ниски стойности на електричното съпротивление за изследвания геоелектричен разрез – в диапазона от около 25 Ωm до 50 Ωm . Тази зона картира силно изветрелите, дезинтегрирани и разложени латити и пирокластити в горната част на разреза.

Следва да отбележим, че дезинтегрираните и силно променени вулкански скали в зона С1 и в зона С2 вероятно имат висока водопроницаемост, респ. проникваемост.

Хидрогеоложки условия

Граници на ниско ранговите хидрогеоложки единици

В неводонаситената част на изследвания палеогенски масив (до дълбочина 50-60 m) се детерминират три ниско рангови хидрогеоложки единици (зони): първа слабо проникваема зона (зона А-1); втора слабо проникваема зона (зона А-2) и много слабо проникваема зона (зона В). Пространствените граници и геометрията на тези зони са определени след прецизен анализ на събраната архивна информация, както и на резултатите от проведените геолого-петрографски, геофизични, филтрационни изследвания. Пространственото положение на трите ниско рангови единици е илюстрирано със съставения хидрогеоложки профил (фиг. 4).



Фиг. 4. Ниско рангови единици по хидрогеоложки профил I-I

Първата слабо проникваема зона (зона А-1) е формирана в участъците от скалния масив, в които преобладаващото съотношение между скалните късове и матрикса е около и под 50 %. Тук пирокластитите са слабо променени и електричното съпротивление е относително високо. Това предполага, че тази зона притежава и сравнително ниска проникваемост.

Втората слабо проникваема зона (зона А-2) се установява в участъците, в които количеството на свързващо вещество (матрикса) е около 60-70 % и повече,

в силно изветрелите и дезинтегрирани латити в горната част на разреза, както и в зоните със силно променен матрикс в дълбочина. Матриксът е в значителна степен променен, а електричните съпротивления на средата са ниски. Следва да се очаква, че зона А-2 е с по-висока проницаемост от зона А-1.

Много слабо проницаема зона (зона В) попада в границите на разпространение на неизветрелите, плътни латити и в част от незасегнатите от вторична промяна пирокластични. Електричните съпротивления на тези скали са относително високи. Като цяло вулканитите в зона В са здрави, плътни и много слабо проницаеми.

Филтрационни параметри

За определяне на водопропускливостта на изследвания масив в трите сондажа са изпълнени 8 филтрационни теста (експресни водоналивания). Всеки тест е проведен при различна разкритост на сондажния ствол и различна височина на водния стълб (табл. 1). Опитните данни са интерпретирани по метода на Ернст в координатна система $\lg(h+0.5r_0) - t$, където h е височината на водния стълб във всеки момент t от началото на опита, а r_0 е радиусът на сондажния ствол. При изчисленията е използвана програма Express, алгоритъмът на която включва и този идентификационен метод (Гълъбов и Стоянов, 2005 и др.). Получените графични зависимости са представени на фиг. 4, като с ромбчета са нанесени опитните данни, а с плътни линии – апроксимиращите прави. Изчислените стойности за k са обобщени в табл. 1. Резултатите от експресните водоналивания показват, че водопропускливостта на изследвания масив е ниска. Определените, след един по-прецизен анализ, осреднени стойности на k за всяка от ниско ранговите хидрогеоложки единици са посочени в табл. 2. Същите са използвани като изчислителни величини при разработването на математическия модел за прогнозиране на условията за разпространение на замърсителите в неводонаситената зона на масива.

Таблица 1

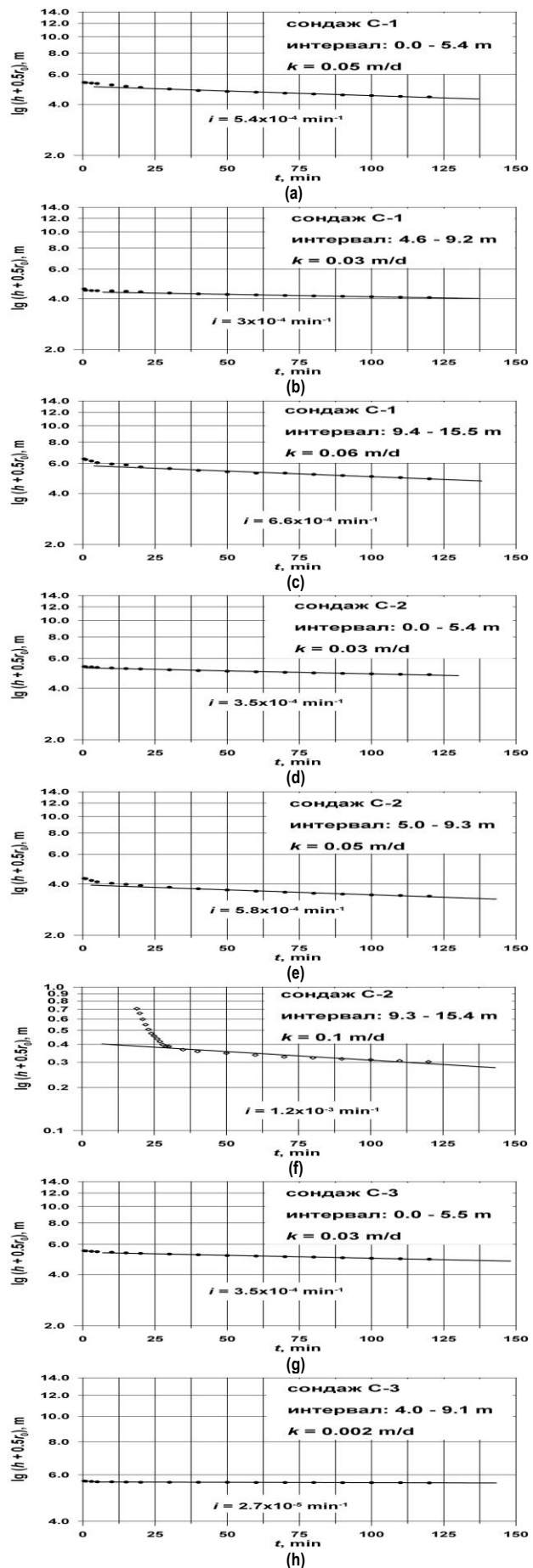
Данни за условията за провеждане на експресните опити

Сондаж №	Изпитван интервал от- до-, м	СВН, м	ДВН след водоналиване, м	Коеф. на филтрация k , m/d
С-1	0.0-5.4	сух ствол	0.00	0.05
	4.6-9.2	сух ствол	4.60	0.03
	9.4-15.5	сух ствол	9.40	0.06
С-2	0.0-5.4	сух ствол	0.00	0.03
	5.0-9.3	сух ствол	5.00	0.05
	9.3-15.5	сух ствол	9.25	0.10
С-3	0.0-5.5	сух ствол	0.00	0.03
	4.0-9.0	сух ствол	3.95	0.002

Таблица 2

Средни стойности на коефициента на филтрация k

Хидрогеоложка единица	Индекс	Коефициент на филтрация k , m/d
Първа слабо проницаема зона	А-1	0.050
Втора слабо проницаема зона	А-2	0.100
Много слабо проницаема зона	В	0.005



Фиг. 4. Резултати от интерпретацията на данните от експресните водоналивания в сондажи С-1, С-2 и С-3

Миграционни характеристики

За определяне на сорбционната порестост (n_s) и дисперсивността (α_L) на филтрационната среда спрямо бързоподвижни замърсители (напр. хлоридни йони) са проведени три индикаторни опита в колони. Използваната методика е подробно описана в Стоянов (2006). Изследвани са три представителни проби от разкрития със сондажите геоложки разрез. Входните концентрации c_0 на хлоридните йони (Cl^-) са посочени в табл. 3. Същата таблица съдържа данни за геометрията на пробите, скоростта на филтрация v и фоновата концентрация c_b . В хода на всеки опит през различни интервали са вземани водни проби и е определяна концентрацията на Cl^- в тях. Функциите, описващи изменението на концентрацията на Cl^- във времето $c(t)$, са интерпретирани с компютърна програма LTT1DPI (Стоянов, 2003; и др.). Опитните данни са илюстрирани на фиг. 5 с ромбчета, а получените с програмата идентификационни криви – с плътни линии. Определените стойности на n_s и на α_L са дадени в табл. 4.

Таблица 3

Условията за провеждане на индикаторните опити

Колонa №	1	2	3
Хидрогеол. единица (индекс)	A-1	A-2	B
Дължина на пробата x , m	0.09	0.09	0.09
Радиус на колоната r , m	0.008	0.008	0.008
Скорост на филтрация v , m/d	0.214	0.232	0.195
Входна концентр. на Cl^- c_0 , g/l	1.665	1.627	1.645
Фонова концентр. на Cl^- c_b , g/l	0.00	0.00	0.00

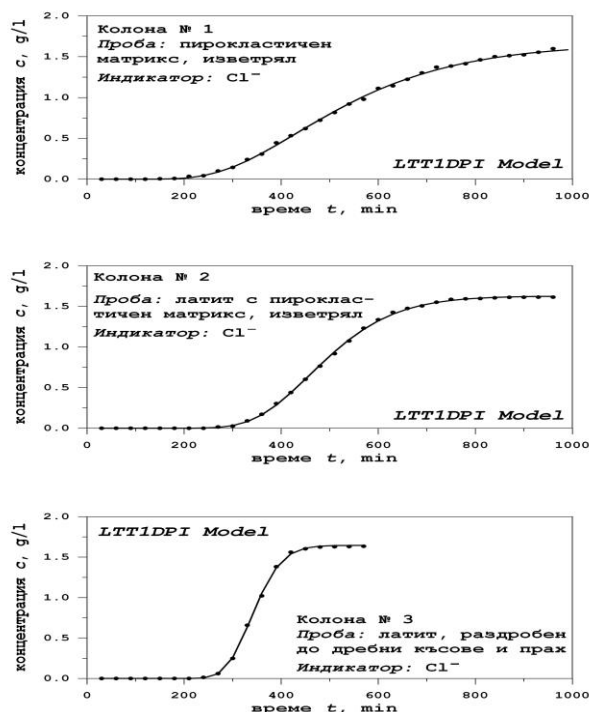
Таблица 4

Резултати от индикаторните опити в колони

Колонa №	Литоложка разновидност	Хидро-геоложка единица	n_s , -	α_L , m
1	Пирокластичен матрикс, изветрял	A-1	0.91	0.008
2	Латит с пирокластичен матрикс, изветрял	A-2	0.89	0.003
3	Латит, раздробен до дребни късове прах	B	0.52	0.001

Резултатите от идентификационните процедури дават основание да се направят следните изводи:

- *Първата слабо проникваема зона (A-1)* притежава голяма способност да сорбира (задържа) вещество. Получената за тази зона стойност на n_s е много по-висока от общата порестост на пирокластичния матрикс, което предполага и много ограничени възможности за разпространение на замърсители.
- *Втората слабо проникваема зона (A-2)* също добре сорбира замърсители. Определената стойност на n_s е няколко пъти по-висока от общата порестост.
- *Много слабо проникваемата зона (B)* има много ниска проникваемост, респ. добра способност да задържа замърсители като цяло. Опитно установената за раздробен материал от тази зона стойност на n_s предполага относително висока задържаща способност на запълнителя в ограничените по размер и количество пукнатини в скалния масив.
- Стойностите за надлъжната дисперсивност α_L за всички изследвани проби са изключително ниски – от порядъка на няколко милиметра. Това е свързано с малкия мащаб на лабораторните тестове.



Фиг. 5. Резултати от индикаторните опити в колони

Литература

- Гълъбов, М., Н. Стоянов. 2005. *Динамика на подземните води*. С., Изд. В. Недков.
- Иванов, Р. 1960. Магматизмът в Източнородопското палеогенско понижение. Част I. Геология. – *Тр. геол. България, Сер. Геохим. и пол. изкоп.*, 1, 311-387.
- Стоянов, Н. 2003. *Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от депa за твърди битови отпадъци*. Дисертация, С., 215 с.
- Стоянов, Н. 2006. Идентификация на миграционните параметри на порестата среда по данни от лабораторни опити в колони – *Спис. БУЛАКВА*, 1.
- Dabovski, C., A. Harkovska, B. Kamenov, B. Mavrudchiev, G. Stanisheva-Vassileva, Y., Yanev. 1991. A geodynamic model of the Alpine magmatism in Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 21, 4, 3-15.
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *J. of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Harkovska, A., Y. Yanev, P. Marchev. 1989. General features of the Paleogene orogenic magmatism in Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 19, 1, 37-72.
- Loke, M. H. 2001. *A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method*. Geotomo Software, Penang, Malaysia, 96.
- Yanev, Y., B. Mavrudchiev, R. Nedyalkov. 1989. Paleogene collision-related basalts and basaltic andesites in the Eastern Rhodope, Bulgaria. – *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 37, 187-202.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Хидрогеология и инженерна геология", ГПФ