

ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА ПОДХОДЯЩИ МЕСТА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА МОНИТОРИНГОВИ КЛАДЕНЦИ В СЛАБОВОДОНОСЕН СКАЛЕН КОМПЛЕКС

Стефан Димовски, Николай Стоянов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В слабоводоносните скални комплекси подходящи места за изграждане на мониторингови кладенци са зоните с активен водообмен, които притежават по-голяма водопроницаемост и имат преки хидравлични връзки с други водопроницаеми части в подповърхностното пространство. Формират се в силно напукани, тектонски нарушени и вторично променени зони в скалните комплекси, в които празнините са открити или запълнени с по-едрокъсов запълнител. Предложеният електротомографски метод се базира на различията в електрическите свойства на зоните с активен водообмен и на по-слабопроницаемите или непроницаемите зони. Възможностите и ефективността от прилагане на метода е илюстрирана с резултатите от проведеното електротомографско проучване за локализиране на подходящи места за изграждане на нови мониторингови кладенци във връзка с разширяване на съществуващата мрежа за радиационен мониторинг на подземното хранилище за радиоактивни отпадъци (ПХРАО) „Нови хан“, Софийска област. Представените резултати потвърждават приложимостта на използваната методика на измерване, анализ и интерпретация на данните.

SELECTION OF APPROPRIATE SITES FOR CONSTRUCTION OF MONITORING WELLS IN A ROCK COMPLEX CHARACTERIZED BY LOW WATER-BEARING CHARACTERISTICS

Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg

ABSTRACT. The appropriate sites for construction of monitoring wells in rock complexes characterized by low water-bearing characteristics are zones with active water exchange which have higher permeability and have direct hydraulic links with other water-permeable parts in the sub-surface space. Such zones are formed in heavily cracked, tectonically disturbed, and secondary altered sectors in the rock complexes in which the gaps are open or packed with coarse filler. The proposed electrotomography method is based on the differences in the resistivity properties of the zones characterized by active water exchange and of the low permeable and impermeable zones. The feasibility and effectiveness of the proposed method is illustrated by the results of the electrotomography study performed in order to locate suitable sites for construction of new monitoring wells in relation to the expansion of the existing network of radiation monitoring of underground repository for radioactive waste (RAW) "Novi han", Sofia region. The presented results confirm the applicability of the applied methodology for measurement, analysis and interpretation of data.

Въведение

В последното десетилетие електротомографските методи намират много широко приложение за решаване на широк кръг геоложки, хидрогеоложки, инженерногеоложки и екологични задачи. Нашият опит показва, че тези методи са много ефективни при картиране на пространствените граници на геоложки формации, хидрогеоложки единици, окарстени и напукани зони; разуплътнени зони и тектонски нарушения, зони с различна водонаситеност и водообилност, зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване, свлачища, археологически обекти и пр. (Димовски и др., 2007, 2012, 2013; Димовски, 2010; Димовски, Стоянов, 2010, 2011; Стоянов, 2003, 2004; Стоянов, Гюров, 2004; Стоянов и др., 2004; Dimovski et al., 2008; Shanov et al., 2009 и др.).

Приложимостта на електротомографията при картиране зони с активен водообмен, формирани в силно напукани, тектонски нарушени и вторично променени участъци в скалните комплекси, ще илюстрираме с резултатите от проведеното проучване на скалния комплекс в района на подземното хранилище за радиоактивни отпадъци

(ПХРАО) „Нови хан“, Софийска област (Димовски, Стоянов, 2008). Главна цел на това проучване е локализиране на подходящи места за изграждане на нови мониторингови кладенци, във връзка с разширяване на съществуващата мрежа за радиационен мониторинг.

Кратка характеристика на изследвания обект

Изследваният обект се намира на 35 km югоизточно от гр. София и на 4,5 km на юг от с. Нови хан (фиг. 1). Ситуиран е на северния склон на вододелен хребет от средищния дял на Лозенската планина, между рудник Чукурово и с. Нови хан. В рамките на проучваната територия, теренът е със слаб наклон на север (около 10°) и с надморска височина варираща между 890 и 925 m.

В геоложки аспект, проучваният участък е изграден от еднородни по състав филитизирани алевролити и аргилити с палеозойска възраст (ордовик), пресечени от горнокредни гранитоидни дайкови тела с кварцови и пегматитови жили (Кожухаров и др., 2002). В горната част на разреза филитизирани алевролити са много силно

изветрели, променени и разложени до чакълеста глина с отделни късове и относително запазени пачки от основната скала. Дебелината на тази изветрителна кора е в границите от 3-4 до 10-11 m. В дълбочина до 15-20 m от терена филитизираните алевролити са изветрели до силно изветрели, дребно блоково напукани, с отделни по-силно изветрели и заглинени зони. Установяват се и зони, в които изветрелите алевролити са прослоени от също изветрели и грусирани гранитоиди и кварцови жили. На по-голяма дълбочина в скалния масив, филитизираните алевролити са по-слабо изветрели и средно- до едроблоково напукани. Дайковите тела са субпаралелни на слоистта на палеозойските скали, но се срещат и секущи. Дебелината им варира от 1 до 15-20 m. Контактите им са интрузивни и не се установяват видими контактни изменения във вместващите ги филитизирани алевролити. В горните части на масива гранитоидните дайкови тела са силно изветрели, грусирани и дребно блоково напукани.

По данни на Кожухаров и др. (2002), в проучвания район са установени линейни разломни нарушения. Те са представени от стрити милонитизирани зони, тектонски глини и тектонски брекчи с глинеста спойка, които могат да се разглеждат като естествена бариера за движението на флуиди, респ. за миграцията на различни компоненти.

Подземните води, формирани в палеозойския скален комплекс, по тип са пукнатинни и безнапорни по характер. Водните нива са установени на дълбочина от 10-12 m до 15-18 m от терена, като малките дълбочини са характерни за понижените части на релефа.

Цели на проучването

Главни цели на проведеното проучване са:

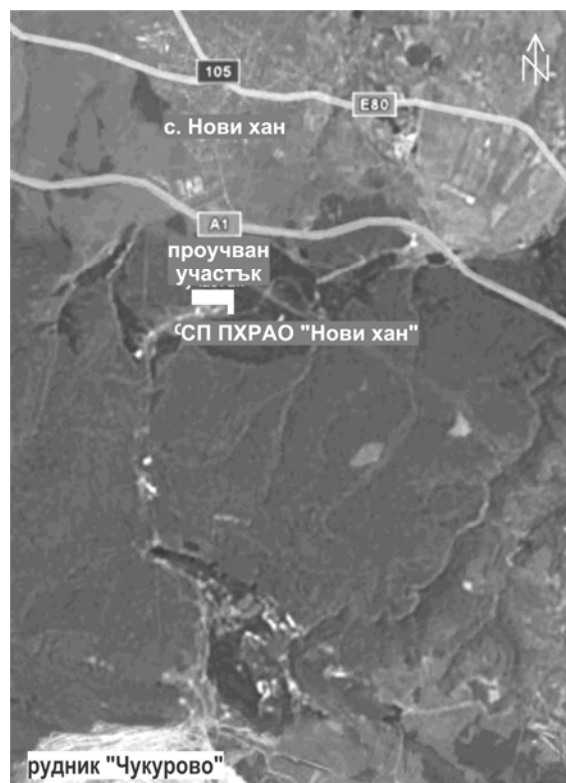
- детайлизиране на геоложкия разрез до дълбочина 45 m;
- очертаване на пространствените граници на нарушени (разуплътнени) зони в скалния масив;
- картиране на зони с различна проникваемост и различна степен на водонаситеност;
- локализиране на подходящи места за изграждане на два нови наблюдателни пункта (сондажни кладенци), с които да се разшири съществуващата мрежа за радиационен мониторинг на ПХРАО „Нови хан“.

Методика и инструменти на изследване

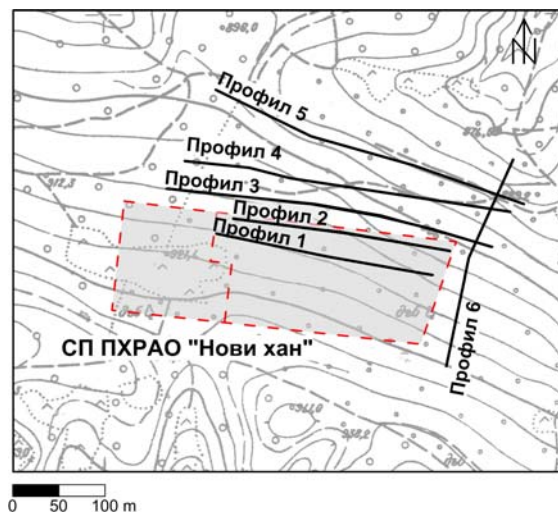
Използваният при проучването електротомографски метод е подходящ за двумерно картиране на приповърхностния разрез във вертикални разрези по профили. Теренните измервания са изпълнени посредством голям брой свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths et al., 1990). Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000 В, производство на шведската фирма АВЕМ.

Теренните измервания са изпълнени по шест профила с обща дължина 1785 m. Три от профилите (1, 2 и 6) са с дължини по 237,5 m, а другите три профила (3, 4 и 5) са с дължини по 357,5 m. Използвани са две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 10 m (общо 24

електрода на разстановка). След измерване на всяка разстановка, по шестте профила се извършва стъпковото преместване (“приплъзване”) на кабела със стъпка 2,5 m. За профили 3, 4 и 5 приплъзването се повтаря с допълнителна стъпка 120 m. Точното местоположение на шестте профила с разположението на електродите по всеки един от тях е представено на фигури 2 и 3.



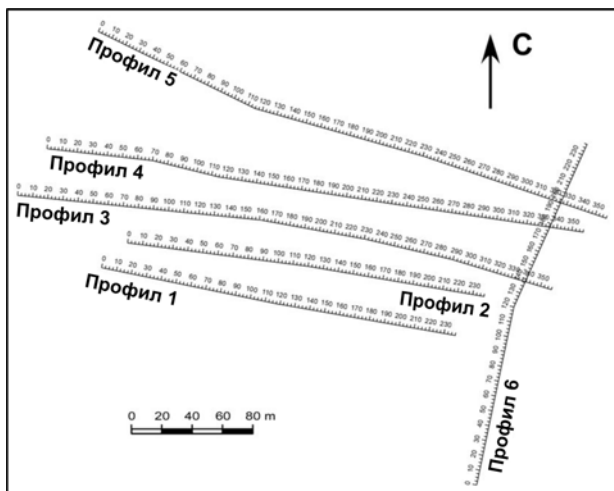
Фиг. 1. Местоположение на проучвания участък



Фиг. 2. Разположение на геофизичните профили

При обработката на полевите данни е използвана компютърната програма RES2DINV (Loke, 2001). Програмата дава разрез на реалното разпределение на електричните съпротивления в подповърхностното пространство. Преходът от геоелектричен разрез в геоложки, инженерно-геоложки или хидрогеоложки модел се прави, като при последващата интерпретация на получените с програмата геоелектрична картина се корелира с: (1) обща информация за конкретните геолого-тектонски и хидрогеоложки

условия в района (Кожухаров и др., 2002 и др.); (2) литературни данни за специфичните електрични съпротивления на различните типове скали (Daniels, Alberty, 1966; Keller, Frischknecht, 1966; Стоянов, 2004 и др.); (3) данни от проучвателно сондиране (Кожухаров и др., 2002; и др.).



Фиг. 3. Схема с разположението на електродите.

Анализ на геоелектричните разрези. Геоложка и хидрогеоложка интерпретация

Полученото с програма RES2DINV разпределение на действителните съпротивления в разрезите по шестте профила, са представени на фигури 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Комплексният анализ на геоелектричните разрези, при отчитане на конкретните природни и техногенни условия, дава основание да се направят констатации за геоложкия строеж на подповърхностното пространство, за наличието на разуплътнени зони и на зони с различна водообилност.

Електричното съпротивление на разновидностите (средите), които изграждат изследваната част на приповърхностния разрез варира в относително широки граници – от 50 Ωm до 1000 Ωm и повече. Установеният геоелектричен разрез се представя от четири основни електросъпротивителни среди, картиращи зони с различен литоложки състав и/или различен генезис, различна степен на водонасищане и водообилност.

Първата електросъпротивителна среда (Зона А) се характеризира с най-високи стойности на електричното съпротивление за изследвания геоелектричен разрез – в диапазона от 400 Ωm до 1000 Ωm и повече. Вероятно тази зона маркира границите на най-силно изветрялата и много суха приповърхностна част на скалния масив. Тук филитизираните алевролити са силно променени и разложени до чакълеста глина с отделни по-едри скални късове и относително запазени пачки от основната скала.

Втората електросъпротивителна среда (Зона В) има по-ниски, вариращи в сравнително по-тесни граници стойности на електричното съпротивление – от 200 Ωm до 400 Ωm . Най-вероятно, зона В картира тези части от масива, в които изветрителните процеси са по-слабо

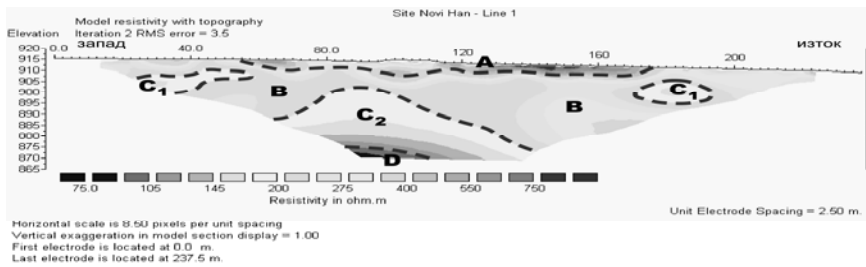
изявени, филитизираните алевролити са дребно- до едроблоково напукани. В обхвата на тази зона попадат и по-дълбоките части от линейните разломни нарушения, представени от тектонски брекчи с глинест запълнител. Ще отбележим, че в дълбочина блоково напуканите алевролити и тектонските брекчи са водонаситени и имат много близки и преобладаващо ниски електрични съпротивления. За съжаление, поради голямата литоложка нееднородност в масива и вследствие наличието на по-силно и по-слабо заглинени участъци в разрезите по всички профили е трудно еднозначното определяне на електрична граница, която точно да детерминира границата между неводонаситената и водонаситената зона, т.е. нивото на подземните води в скалния масив. Все пак, в границите на зона В са налице много отчетливи индикации (градиентни преходи), които дават основание да се приеме, че водното ниво в масива е на дълбочина от 10 m до 17-18 m от терена. В случая, дълбочината на залягане на „водното огледало“ намалява в посоката на понижаване на релефа.

Третата електросъпротивителна среда (Зона С) се характеризира с още по-ниски стойности на електричното съпротивление, които варират в един по-тесен диапазон от 100 Ωm до 200 Ωm . Анализът на наличната информация за геоложкия строеж, тектонските особености и резултатите от проучвателното сондиране (Кожухаров и др., 2002), както и спецификата на пространствените граници на третата електросъпротивителна среда дават основание в нея да се отделят две подзони:

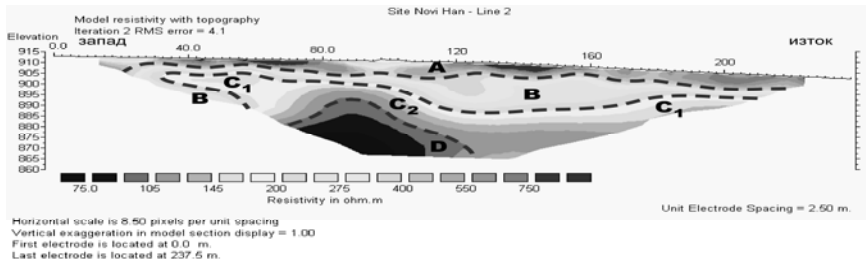
- Подзона С1, най-вероятно, маркира пространственото положение на приповърхностните части на линейните разломни нарушения (милонитизирани зони), запълнени с водонаситени тектонски глини.
- Подзона С2 очертава границите на разуплътнена зона в скалния масив, която вероятно се е формирала като ореол около теменната част на дайково гранитоидно тяло, в резултат на проявените напрежения при неговото проникване във филитизираните алевролити. В тази зона алевролитите са дребно- до средноблоково напукани и прослоени от изветрели и променени гранитоидни и кварцови жили..

Четвъртата електросъпротивителна среда (Зона D) има най-ниски стойности на електричното съпротивление за изследвания геоелектричен разрез – в диапазона от около 50 Ωm до 100 Ωm . Най-вероятно, тази зона маркира теменната част на дайково гранитоидно тяло с относително по-големи размери. Тази част е напукана и силно изветряла (до грусирала), което я прави възможно най-проницаемата и вероятно най-водообилната зона в скалния масив. Този факт обяснява и регистрираните твърде ниски електрични съпротивления (под 100 Ωm).

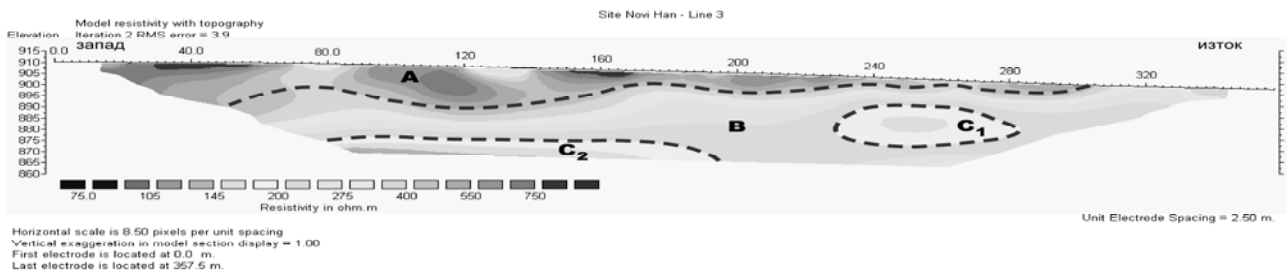
В хидрогеоложки аспект, по качествени белези и с известна условност в палеозойския скален масив се отделят четири зони с различна проницаемост и различна степен на водонаситеност. Границите на тези зони се привързват към детерминирания електросъпротивителни среди по следния начин:



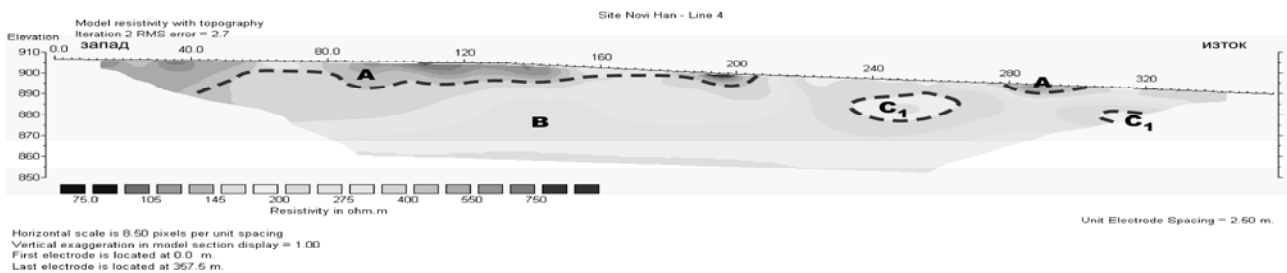
Фиг. 4. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 1



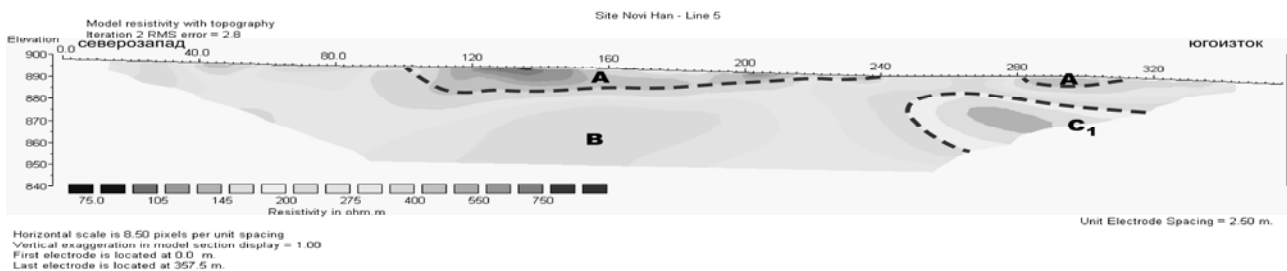
Фиг. 5. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 2



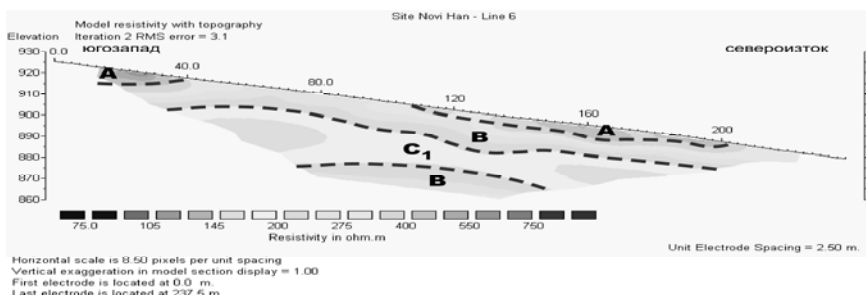
Фиг. 6. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 3



Фиг. 7. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 4



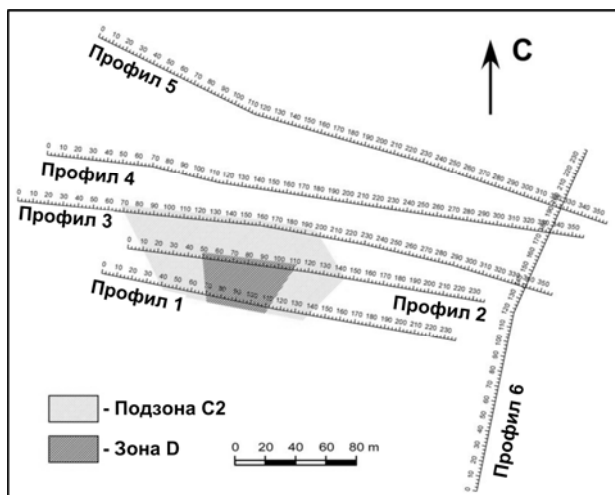
Фиг. 8. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 5



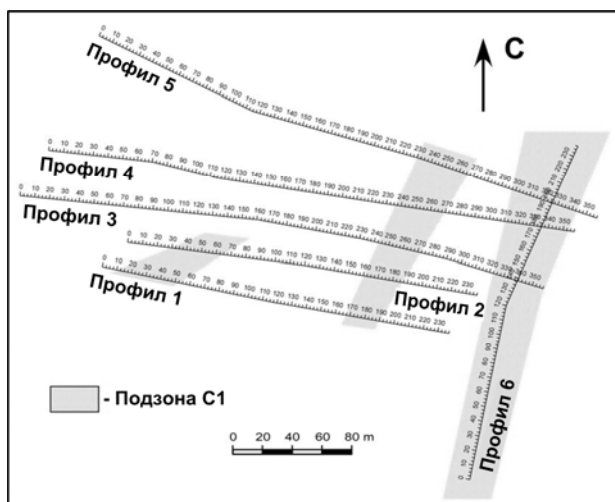
Фиг.9. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 6

- Проницаема водонаситена зона – покрива обхвата на четвъртата електросъпротивителна среда (зона D);
- Проницаема ненаситена (суха) зона – заема най-горната приповърхностна част на разреза – зона A;
- Слабо проницаема водонаситена зона – попада в границите на подзона C2 и заема ограничени части от зона B (приконтактните напукани зони и по-дълбоко залягащите части на линейните разломни нарушения);
- Много слабо проницаема, с различна степен на водонасищане зона – обхваща по-голямата част от скалния масив – зона B и подзона C1.

За по-добро визуализиране на пространственото положение на разуплътнените, по-проницаеми и водонаситени части в палеозойския скален масив са съставени две карти, на представени хоризонталните проекции на зона D, подзона C1 и подзона C2. Разпространение на зона D и подзона C2 е представено на фигура 10, а на подзона C1 – на фигура 11.



Фиг. 10. Площно разпространение на зона D и подзона C2



Фиг. 11. Площно разпространение на подзона C1.

Оптимално местоположение и дълбочина на мониторинговите сондажни кладенци

Въз основа на подробен анализ на събраната информация за геолого-тектонските, хидрогеоложките и технологичните условия и на получените резултати от електротомографското проучване в района на ПХРАО „Нови хан“ са конкретизирани следните места за изграждане на два нови мониторингови кладенеца:

Първият кладенец (К-1) трябва да бъде разположен североизточно от хранилищните камери с течни и твърди радиоактивни отпадъци (РАО), в обхвата на подзона C1. Мотивите за това са следните:

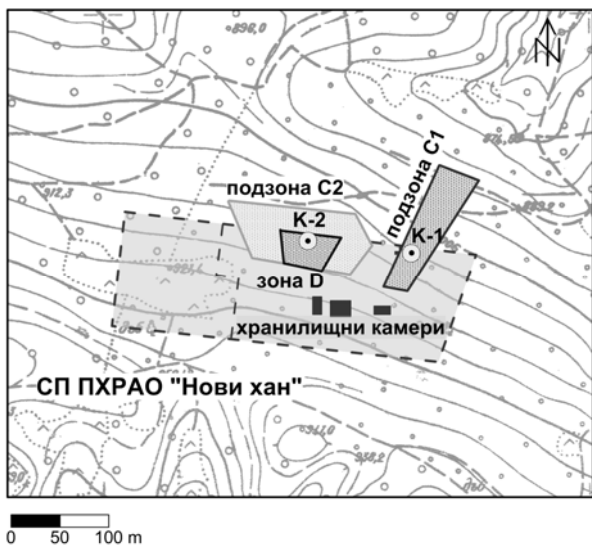
- Генералната посока на подземния поток в района на хранилището е на С-СИ. Това предполага, че при евентуално протичане на радионуклиди извън хранилищните камери, макар и много бавно (поради ниската проницаемост на масива) по конвективен път, те ще мигрират заедно с подземните води на С-СИ.
- Подзона C1 маркира линейна разуплътнена зона (разломно нарушение) във филитизираните алевролити с направление югозапад-североизток. В приконтактните напукани участъци и по-дълбоко залягащите части на тази разуплътнена зона може да се очаква по-висока проницаемост на филтрационната среда.
- Превантивният контрол при радиационния мониторинг е по-ефективен при разполагане на наблюдателния пункт в непосредствена близост до потенциалния източник на замърсяване (в случая на около 50-60 m от хранилищните камери).

Вторият кладенец (К-2) е необходимо да се изгради в обхвата на зона D, на СИ от хранилищата на течни и твърди РАО. Изборът на неговото местоположение е продиктуван от следните мотиви:

- В района на разглеждания обект вероятно най-проницаемата и най- водообилна част в скалния масив е зона D. Тя оконтурва теменната грусирала част на гранитоидно дайково тяло с относително големи размери. Естествено е да се очаква, че скоростта на подземния поток и възможностите за миграция на радионуклиди в тази част на масива е много голяма.
- По-високата проницаемост в зона D предполага, че тя дренира разположените на по-висока кота по-слабо проницаемите части от масива. Това създава условия за локално изкривяване на квази-едномерна структура на подземния поток с генерална посока на СИ. В резултат, част от потока преминаващ в обсега на хранилищните камери, ще се отклони на С-СЗ. Следователно при евентуално изтичане на радионуклиди извън хранилищните камери, част от тях ще мигрират и в посока С-СЗ.

Определените като подходящи места за изграждане на двата нови мониторингови кладенеца, са представени на фигура 12 посредством кръгове с диаметър 10 m. Оптималната дълбочина на новите кладенци е около 45-50 m. Основната предпоставка за това, са конкретните хидрогеоложки условия в определените места за тяхното изграждане: (1) дълбочина на подземните води – около 15-

20 m под земната повърхност; (2) пространствено положение на линейната разуплътнена структура (подзона С1), в чийто обхват ще бъде изграден К-1; (3) дълбочина на залегане на зона D, в която ще се разположи водоприемната част на К-2.



Фиг. 12. Местоположение на локализираните подходящи места за изграждане на мониторинговите сондажни кладенци.

Заклучение

Представените резултати от проведеното проучване и ефективното действие на вече изградените наблюдателни кладенци, са убедителна демонстрация за големите възможности и приложимостта на електротомографския метод за локализиране на подходящи места за изграждане на мониторингови кладенци в слабоводоносни скални комплекси. Предложеният подход е сравнително евтин, достатъчно точен и много подходящ за успешното решаване на подобни често срещани в хидрогеоложката практика задачи.

Литература

- Геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Ихтиман. София, КГМР. 1990.
- Димовски, С. *Електротомографски изследвания на геоложката среда*. Дисерт., С., МГУ "Св. Иван Рилски", 2010. - 387 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4, 2007. - 47-55.
- Димовски, С., Н. Стоянов. *Геоелектрично 2D проучване на територията на обект СП ПХРАО „Нови хан“*. Фонд на СП РАО, 2008. - 17 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. Приложение на геоелектрични проучвания при изучаване на хидрогеоложките условия в карстови райони. – *6-та Национална конференция по геофизика "20 години Дружество на геофизиците в България"*, София, 2010. - 4 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. Геоелектричен подход при изучаване на хидрогеоложките условия в района на

- ДБО Асеновград. – *Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, т.54, св. I, *Геол. геоф.*, 2011. - 125-130.
- Димовски, Ст., Н. Стоянов, Хр. Цанков, Ат. Кисъов. Електротомографски изследвания в района на Зографския манастир в Света гора, Атон. – *Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, т.55, св. I, *Геол. геоф.*, 2012. - 96-101.
- Димовски, Ст., Н. Стоянов, Ат. Кисъов. Приложение на електротомографията за картиране на суфозионни зони. – *Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, 55, I, 2013. - 96-101.
- Кацаков, Н., К. Илиев. *Обяснителна записка към геоложка карта на България в мащаб 1:100 000, к.л. Ихтиман, ГИ БАН, Геология и геофизика АД, С., 1993. - 63 с.*
- Кожухаров, Д., Р. Димитрова, Н. Кацков. *Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000 - картен лист Пазарджик*. С., КГМР, 1992. - 54 с.
- Кожухаров, Д. и др. *Геолошко, хидрогеолошко и инженерногеолошко проучване за постоянно хранилище за РАО – Нови хан*. Отчет по дог. 02-ПХРАО / 2002, ГИ на БАН и Геокомплекс ООД, София. 2002.
- Стоянов, Н. *Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от дела за твърди битови отпадъци*. Дисерт., С., МГУ "Св. Иван Рилски", 2003. - 215 с.
- Стоянов, Н. Метод за дефиниране на локални геоелектрични критерии за оценка на замърсяването на подземните води. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 2004. - 4.
- Стоянов, Н., Ч. Гюров. Оценка на замърсяването на подземните води по метода на 2D електросъпротивително проучване по схемата полюс-дипол – *Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, 47, I, 2004. - 219-224.
- Стоянов, Н., Ст. Стойнев, Ч. Гюров. Детайлизиране на инженерно-геоложките и хидрогеоложките условия посредством геоелектрични модели – *Сп. "Геол. и минер. рес."*, 10, 2004. - 8-12.
- Daniels F., R. A. Alberty. 1966. *Physical chemistry*. John Wiley and Sons, Inc.
- Dimovski, S., N. Stoyanov, S. Kostyanov. Application of electrical resistivity techniques for investigation of landslides. – *Proceedings of the First International Conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region, EARSeL, Zadar, Croatia, 2008. - 241-251.*
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *Journal of Applied Geophysics*, 29, 1993. - 211-226.
- Keller G.V., F.C. Frischknecht. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford. 1966.
- Loke, M. H. *A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Geoelectrical Imaging 2-D & 3-D*. Geotomo Software. Penang, Malaysia. 2001.
- Shanov S., Mitev A., Benderev A., Kostov K., Mihailova B. Electrical survey for detailed characterizing of underground karst: Example from Iskar River (Western Bulgaria). *5th Congress of Balkan Geophysical Society – Belgrade, Serbia, Geophysics the cross road. EAGE, 10 – 16 May 2009, 2009. ISBN978-9073781-66-5 (on CD)*.

Статията е рецензирана от проф. д-р Алексей Бендерев и препоръчана за публикуване от кат. „Приложна геофизика“.