



Model-based estimation of the moisture regime of the marls from the Sumer Formation, Northwestern Bulgaria

Моделни изследвания за оценка на влажностния режим на мергелите от Сумерската свита, Северозападна България

Madlena Tsvetkova, Dimitar Antonov, Doncho Karastanev
Мадлена Цветкова, Димитър Антонов, Дончо Карастанев

Geological Institute, BAS, Acad. G. Bonchev str., bl. 24; E-mails: mgeorgieva@geology.bas.bg; dimia@geology.bas.bg; doncho@geology.bas.bg

Abstract. The study deals with unsaturated hydraulic model of the marls from Sumer Formation in connection with geological disposal of radioactive waste. The model profile of 400 m in depth from the surface was implemented in HYDRUS-1D code. Two simulation periods were chosen – 1 000 and 10 000 years. In both simulations, the results showed that after 940 years of modeling the bottom flux tends to stabilization regime when 10% of the rainfalls were used as an infiltration rate.

Keywords: vadose zone, marls, radioactive waste management, long-term simulations.

Въведение

При първоначалните анализи за избор на площадка в България за дълбочинно геоложко погребване на високоактивните и дългоживущи отпадъци е достигнато до извода, че потенциални в това отношение са седиментните (мергелни) формации в Северна България. Според изискванията за безопасност към геоложката среда и по степен на изученост за най-перспективна се приема площадка „Върбица“, разположена в Сумерската свита на Западния Предбалкан (Karastanev et al., 2011).

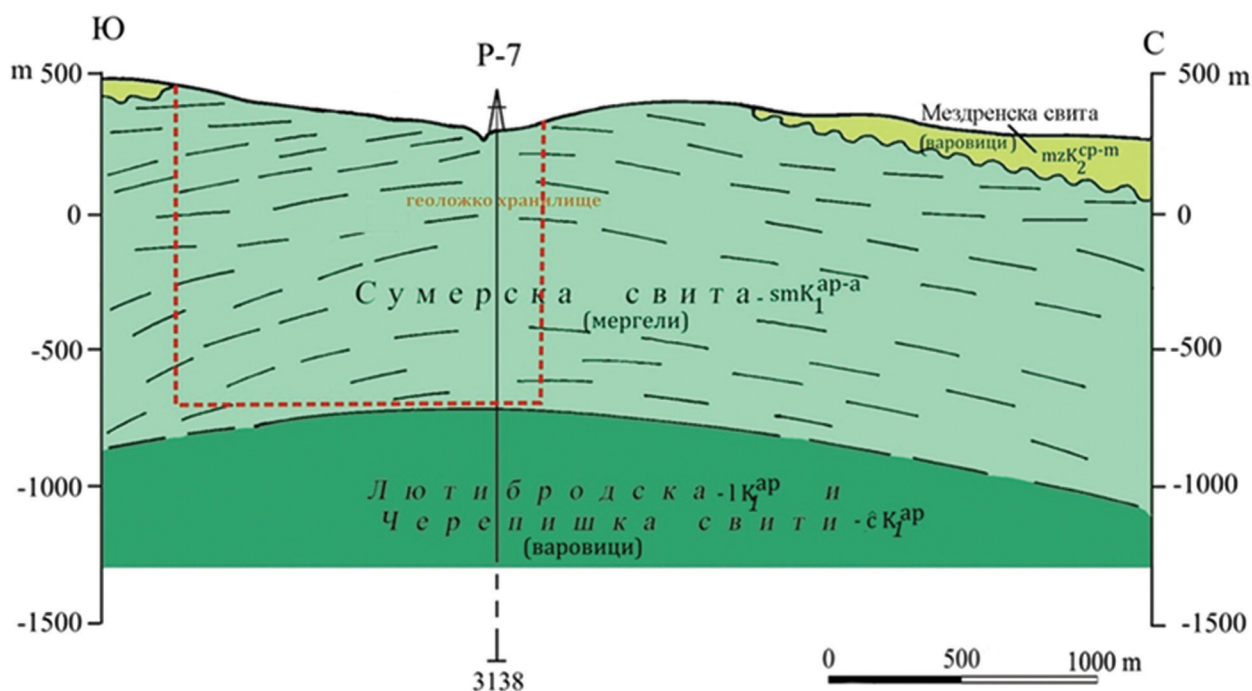
Основна роля в избора на площадка за геоложко погребване имат т.нар. оценки по безопасност, които включват анализи на геоложката среда, включително моделни изследвания за бъдеща миграция на радионуклиди от хранилището (Mallants et al., 2001; IAEA, 2006; Piqué et al., 2013). Във връзка с достоверността на моделните резултати и безопасното функциониране на бъдещо хранилище, от значение е качествено и количественото характеризирание на влажностния режим на геоложката среда на хранилищната система (Robinson, Bussod, 2000). В допълнение, подобни изследвания са препоръчителни от гледна точка на промени в климата и бъдещата им оценка в динамиката на влажностния режим в геосферата.

Целта на статията е да представи предварителен хидравличен модел на мергелите от Сумерската свита, на базата на който да се направи оценка на движението на вода в дългосрочен план – от няколко стотици до десетки хиляди години.

Материали и методи на изследване

Природни характеристики и параметри

Вместващата среда на потенциалната хранилищна система е изградена от мергелите на Сумерската свита, представляваща пространствено издържана, значително хомогенна, с дебелина около 1200 m геоложката среда (фиг. 1). Изградена е от плътни глинести мергели с редки прослойки от пясъци, които се срещат в горната част на профила. В дълбочина пясъците са все по-рядко, с малка дебелина и са пространствено неиздържани. Мергелите имат много плътна структура, изградена от прахови частици с глинесто-карбонатна спойка (Karastanev et al., 2011). Карбонатното им съдържание варира, както и съдържанието на глинестата компонента, което не се отразява на ниската ефективна порестост, която е между 6% и 8% (Georgieva, 2016). В горната част на профила, до десетина метра, мергелите са напукани и изветрели, след



Фиг. 1. Потенциална зона (с пунктир) за геолошко хранилище на радиоактивни отпадъци в Сумерската свита.

което следват плътни субгоризонтални слоеве. С изключение на най-горната част (напуканата зона), в хидравлично отношение мергелите на Сумерската свита представляват ненаситена среда. Коефициентът на филтрация варира от $1,21E-11$ до $3,23E-11$ m/s или средна стойност от $2,0E-11$ m/s. Дъждовете в този район на Предбалкана са със средногодишна стойност от 680 mm.

Компютърна програма за моделни изследвания

През последните десетки години все по-често се използват софтуерни продукти за моделиране на инфилтрационния поток както в зоната на аерация, така и в зоната на пълно водонасищане, които решават уравненията на водопренос с помощта на методите на крайните разлики или методите на крайните елементи. Такъв продукт е HYDRUS-1D, който дава числови решения на конвективно-дисперсионните уравнения на базата на решението на частното диференциално уравнение на Richards, с което се описва влагопреноса в порова среда с променлива степен на водонасищане или т.нар. хидравличен модел (Šimůnek et al., 2008). За тази задача се изисква да се познаят две нелинейни функционални зависимости: „обемно водно съдържание – напор на водата в порите на почвата (смука-

телен потенциал)“ $\theta(h)$ и „коефициент на филтрация – напор на водата в порите на почвата“ $K(h)$. Подробно описание на решаването на тези функции е дадено в Šimůnek et al. (2008) и други. HYDRUS-1D намира приложения при изследванията на транспорта на радионуклиди в зоната на аерация между повърхността на почвата и нивото на грунтовите води (Mallants et al., 2011; Merk, 2012).

Компютърен модел

Съгласно описаните геоложки и литостратиграфски условия на Сумерската свита за целта на изследването беше избран еднодименсионен модел със следните начални и гранични условия: *горно гранично условие* - ежедневен инфилтрационен поток на база 10% от средногодишния валеж; *долно гранично условие* – свободно дрениране; *начално гранично условие* – ненаситена среда с характерна стойност на смукателен потенциал при еднородни глинести масиви с голяма дебелина, а именно 10 m. Моделът симулира среда с размер 400 m, считано от повърхността, като горните 10 m отразяват напуканата и изветряла зона със съответни хидравлични стойности на водопренос (подобни на параметрите за глинест пясък). За останалите 390 m бяха използвани хидравлични параметри, отговарящи на плътна глина и конкретно посочения по-го-

ре коефициент на филтрация. В допълнение, в модела беше използвана опцията за запазване на повърхностен слой вода, което е важно условие за коректните цифрови интерации при модел, отчитащ среда с ниска степен на пропускливост. Подобна процедура е възможна, тъй като програмният код HYDRUS-1D и подобните програми се основават на т.нар. "mass balance" подход. При него с решаване на конвективно-дисперсивните уравнения се изчислява балансът на постъпващите и съответно напускащите водни количества. С така описаните условия и параметри бяха направени симулации за периоди от време от 1000 и 10 000 години.

Резултати и обсъждане

Симулациите показват, че при тази ниска порестост (6–8%) и голяма дебелина на мергелния масив (около 1200 m), основният параметър, който контролира водопреноса, е коефициентът на филтрация. Водният поток, след установяване на стабилизирано или „квазистабилзирано състояние“, се движи със скорост от 1,73E-06 m/d (2.0E-11 m/s). Това равновесно състояние се случва след 940 години от началото на симулациите за цялата симулационна област от 400 m. Това се отнася и за двата периода с разминаване от 50 дни (по-ранната „квазистабилзация“ настъпва при симулацията за 10 000 години), което показва добра сходимост на резултатите. Основен показател за достоверността на изчислителния процес, т.нар. „верификация на модела“ е „грешката на водния баланс“ – при симулацията от 1000 години, грешката от изчисленията е 0,16%, докато при тази за 10 000 години е по-голяма – 2%. При подобни цифрови модели на водо- и масопренос грешка до 5% се счита за допустима, а резултатите се приемат за достоверни.

Заклучение

Компютърният код HYDRUS-1D е подходящ софтуер, който определя с достатъчна степен на достоверност влажностния режим на мергелите

от Сумерската свита. Резултатите дават основание да се смята, че разпространението на радионуклиди в мергелите ще зависи в голяма степен от силите на дифузия. Създаденият модел в бъдеще може да се използва за проиграване на различни сценарии на водо- и масопренос във връзка с геолошко погребване на радиоактивни отпадъци.

Литература References

- Georgieva, M. 2016. Effective porosity and mineral composition of marl from the Sumer Formation. – In: *Proceedings of the National Conference "GEOSCIENCES 2016"*. Sofia, Bulg. Geol. Soc., 147–148.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2006. *Fundamental Safety Principles: Safety Fundamentals. IAEA Safety Standards Series Nr SF-1*. Vienna, IAEA, 24 p.
- Karastanev, D., D. Evstatiev, K. Stoykova, R. Nakov, A. Benderev, A. Radulov, D. Solakov, K. Todorov, E. Vasilev, P. Ivanov. 2011. *Study of the Possibilities for Implementing Deep Geological Disposal. Task 4 – Analysis and Zonation of the Territory of Bulgaria, Selection of Potential Host Rocks for Deep RAW Disposal*. Contract Report (SERAW Nr 208041) (in Bulgarian).
- Mallants, D., J. Marivoet, X. Sillen. 2001. Performance assessment of the disposal of vitrified high-level waste in a clay layer. – *J. Nuclear Materials*, 298, 1–2, 125–135.
- Mallants, D., M. Th. van Genuchten, J. Šimůnek, D. Jacques, S. Seetharam. 2011. Leaching of contaminants to groundwater. – In: Swartjes, F. A. (Ed.). *Dealing with Contaminated Sites*. Dordrecht, Springer, 787–850.
- Merk, R. 2012. Numerical modeling of the radionuclide water pathway with HYDRUS and comparison with the IAEA model of SR 44. – *J. Environ. Radioactivity*, 105, 60–69.
- Piqué, À., D. Arcos, F. Grandia, J. Molinero, L. Duro, S. Berglund. 2013. Conceptual and numerical modeling of radionuclide transport and retention in near-surface systems. – *AMBIO*, 42, 4, 476–487.
- Robinson, B. A., G. Y. Bussod. 2000. Radionuclide transport in the unsaturated zone at Yucca Mountain: Numerical model and preliminary field observations. – In: Faybishenko, B., P. A. Witherspoon, S. M. Benson (Eds.), *Dynamics of Fluids in Fractured Rock*. Geophys. Monogr. Series 122, Washington D. C., AGU, 323–336.
- Šimůnek, J., M. Šejna, H. Saito, M. Sakai, M. Th. van Genuchten. 2008. *The Hydrus-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media*. Version 4.0. HYDRUS Software Series 3, Riverside, University of California Riverside, 315 p.