

ХИДРОГЕОЛОЖКИ МОДЕЛ НА ВЛИЯНИЕТО НА РЕКА ДУНАВ ВЪРХУ НИВОТО НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ И ВЪЗМОЖНО НАВОДНЯВАНЕ НА ПРОЕКТИЯ БЛОК-7 НА АЕЦ „КОЗЛОДУЙ“

Николай Тонев Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Представен е общ концептуален модел на хидрогеоложките условия в границите на определените алтернативни площадки за нова ядрена мощност - Блок 7 на АЕЦ „Козлодуй“. Моделът е съставен след систематизиране на събраната климатична, геолого-тектонска, хидроложка, хидрогеоложка и техногенна информация за района на централата и подробен анализ на проведените детайлни сондажни, геофизични и опитно-филтрационни изследвания на територията на площадките. Посредством компютърна програма Modflow е разработен тримерен (3D) нестабилизиран филтрационен модел, базиран на приетата обща концепция. С него се симулират промените в структурата на филтрационното поле при отчитане на конкретната хидрогеоложка обстановка и непрекъснато изменение на нивото в р. Дунав. Въз основа на моделните решения е направена количествена оценка за покачването и спадането на нивата на подземните води в обхвата на алтернативните площадки и прилежащите площи до р. Дунав, като са прогнозирани възможностите и размерите на евентуалното им наводняване.

HYDROGEOLOGICAL MODEL OF THE DANUBE RIVER INFLUENCE OVER THE GROUNDWATER LEVEL AND THE POSSIBLE FLOODING OF THE SUGGESTED FOR CONSTRUCTION BLOCK 7 OF NPP "KOZLODUY"

Nikolay Tonev Stoyanov

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

ABSTRACT. A general conceptual model of the hydrogeological conditions within the proposed alternative sites for the construction of a new nuclear power facility - Block 7 of NPP "Kozloduy" is presented. The model is developed after a systematization of the collected climatic, geological, tectonic, hydrological, hydrogeological, and technogenic information about the nuclear plant area and a detailed analysis of the conducted detailed borehole, geophysical and experimental filtration tests on the proposed alternative sites. Applying the computer program Modflow, a three-dimensional (3D) non-stabilized filtration model, based on an accepted general conception, is developed. This model is used for simulating the changes in the filtration field after taking into account the specific hydrogeological conditions and the continuous fluctuations of the water level in the Danube River. Based on the obtained model solutions, is developed a quantitative estimation for the rise and the drop of groundwater levels in the range of the proposed alternative sites and in the areas adjacent to the Danube River, and that is used for predicting the possibilities and the dimensions of their possible flooding.

Въведение

Първите хидрогеоложки проучвания в Козлодуйската низина са проведени преди 50-60 години във връзка с отводняването на ниските заливни части на речната тераса. По-задълбочените изследвания започват в края на 60-те години на XX век с предпроектните проучвания за изграждане на АЕЦ "Козлодуй". Впоследствие, изследванията продължават във връзка с изграждането на нови ядрени мощности. През последните десетилетия в района на централата се проучват усилено няколко площадки за построяване на депо за временно съхранение на радиоактивни отпадъци, а преди три години стартира проучването на четири алтернативни площадки за изграждане на нова ядрена мощност (Блок 7). Резултатите от проучванията са отразени в голям брой производствени отчети, научно-изследователски доклади и статии (Гълъбов и др., 1992; Евстатиев и др., 2004; Карастанев и др., 2007; Стойнев и др., 2009, 2013; Стоянов, 2009; Димовски и др., 2014 и много други). Основни теми в докладите и статиите са свързани с изясняване на геолого-

тектонските, хидрогеоложките и инженерногеоложките условия в района на централата; отводняване на строителните изкопи; изследване на миграцията на радионуклидите в подповърхностното пространство и подземните води; оценка на естествената защитеност на геоложката основа и др. Хидрогеоложките изчисления и прогнози са правени предимно в условията на стабилизирания режим на филтрация или са разглеждани различни варианти на стационарно филтрационно поле при високи и ниски нива в р. Дунав (Стоянов, 2012; Гиргинов, 2015 и др.).

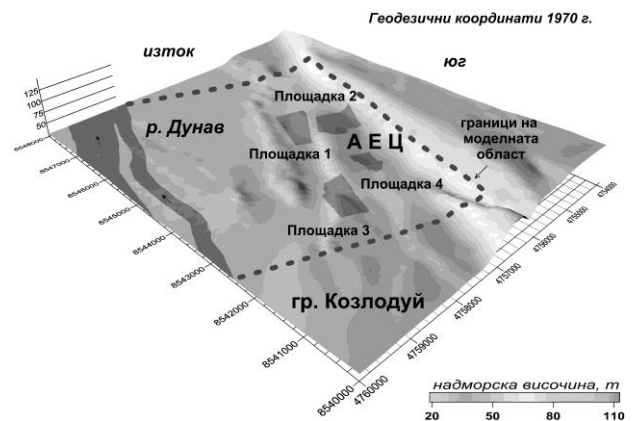
Настоящото изследване е посветено на един слабо застъпен до момента проблем, свързан с количествената оценка на влиянието на р. Дунав върху нивото на подземните води при отчитане на непрекъснатото изменение на речното ниво. Посредством филтрационен нестационарен 3D модел е направена прогноза за възможното наводняване на проучените алтернативни площадки за изграждане на Блок 7. Моделът е съставен с компютърна програма Modflow (Harbaugh et al., 2000; и др.).

Концептуален модел

Математическият нестационарен 3D модел за оценка на влиянието на р. Дунав върху нивото на подземните води и възможното наводняване на проектния Блок-7 на АЕЦ „Козлодуй“ е разработен при следните изходни условия:

- **Моделна област.** В план обхваща района на четирите площадки и прилежащите територии между склоновата част на лъсовия комплекс и р. Дунав (фиг. 1). Включва всички нискорангови хидрогеоложки единици в разреза до дълбочина 40-50 m.
- **Хидрогеоложки единици.** Въз основа на проведените детайлни проучвания в района на четирите площадки (Стойнев и др., 2013, Димовски и др., 2014) и преинтерпретацията на по-старите архиви, в границите на изследваната част от подповърхностното пространство се отделят 10 ниско рангови хидрогеоложки единици (ХГЕ). В дълбочина те се разкриват в следната последователност: ХГЕ1 – лъсов комплекс (лъос, лъсовидна глина и глинест пясък); ХГЕ2 - алувиални глини; ХГЕ3 - алувиален чакъл и чакълеста глина (стари тераси); ХГЕ4 - алувиален дребен чакъл и пясък (надзаливна и заливна тераса); ХГЕ5 - алувиален чакъл и пясък (заливна тераса); ХГЕ6 - алувиален чакъл (заливна тераса); ХГЕ7 - глина с пясъчни прослойки (Брусарска свита); ХГЕ8 - дребен пясък (Брусарска свита) ХГЕ9 - глина (Брусарска свита); ХГЕ10 - глина с пясъчни прослойки (Брусарска свита). Така дефинираните ХГЕ имат сложни пространствени форми и различно присъствие в обхвата на моделната област. Релефът на техните долнища и горнища са определени след прецизен анализ на резултатите от проведените на четирите площадки детайлни сондажни и геофизични проучвания, както и на информацията от изпълнените през последните 30-40 години геоложки и хидрогеоложки проучвания в района на Централата.
- **Хидрогеоложки параметри.** Приетите изчислителни стойности на коефициента на филтрация (k) и коефициента на водоотдаване (μ) на ниско ранговите ХГЕ са представени в таблица 2.
- **Структура на подземния поток.** Изцяло се контролира от колебанията на нивата в р. Дунав и от дренажните канали (отводнителната система). При ниски нива целият подземен поток е насочен в посока N-NE - към реката (Гълъбов и др., 1992). При високи нива подземният поток в северната половина на заливната тераса е обърнат от реката към пласта, т.е. към дренажните канали, а в цялата надзаливна тераса и южната половина на заливната тераса потокът запазва своята посока на N-NE.
- **Гранични условия.**
(А) Река Дунав. Основен фактор, който контролира структурата на филтрационното поле. Използваният в нестационарния модел осреднен хидрограф на р. Дунав (табл. 1 и фиг. 2) е съставен по данни от системните наблюдения на водните стоежи в организирания за нуждите на централата водомерен пост ВП БПС-1, открит при km 687,000 през 1980 г (Стойнев, 2013 и др.).
(Б) Дренажни канали. Главен фактор за понижаване на подземните води при високи нива в р. Дунав и в голяма степен определящ структурата на филтрационното поле. Без особено значение при ниски нива в реката.

- **Инфилтрационно подхранване от валежите.** В моделната област, с оглед различната водопрускаща способност на покривните слоеве, са отделени две зони:
 - Зона W1. Обхваща ниската тераса на р. Дунав, където приповърхностната част на разреза е представен от алувиални глини (ХГЕ2).
 - Зона W2. Заема южната половина на района, в която приповърхностния разрез е представен от седиментите на лъсовия комплекс (ХГЕ1).
 Изчислителните средномесечни стойности на скоростите на инфилтрация (W_1 и W_2) за двете зони са определени по формулата на Vredencamp (1990) и данни за средномесечния валеж в района на централата (табл. 1).
- **Подземен поток по южната граница на моделната област.** Формира се от подземните води в пясъчните пластове на Брусарската свита (ХГЕ7, ХГЕ8 и ХГЕ10), чакълесто-глинестите наслаги на старите алувиални тераси (ХГЕ3) и лъсовия комплекс (ХГЕ1). Дренажа се подземно в чакълесто-песъчливите материали на надзаливната тераса (ХГЕ4).

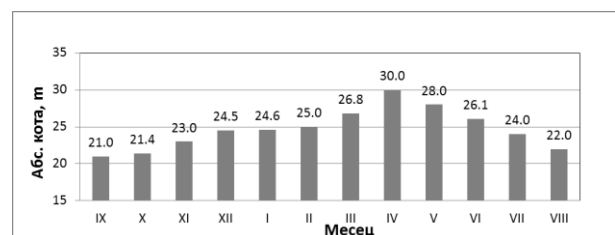


Фиг. 1. Местоположение на обекта. Граници на моделната област

Таблица 1.

Средно месечни суми на валежа (P_i), средно месечни скорости на инфилтрация в зона 1 и зона 2 (W_1 и W_2) и средно месечни стоежи в р. Дунав (H_i)

Месец	P_i , mm	W_1 , m/d	W_2 , m/d	H_i , m
IX	57	1,30E-04	2,70E-04	21,0
X	40	8,90E-05	1,90E-04	21,4
XI	48	1,10E-04	2,30E-04	23,0
XII	36	8,10E-05	1,70E-04	24,5
I	28	6,30E-05	1,10E-04	24,6
II	37	8,30E-05	1,80E-04	25,0
III	30	6,70E-05	1,40E-04	26,8
IV	40	8,90E-05	1,90E-04	30,0
V	71	1,60E-04	3,40E-04	28,0
VI	76	1,70E-04	3,60E-04	26,3
VII	65	1,50E-04	3,10E-04	24,0
VIII	67	1,50E-04	3,20E-04	22,0



Фиг. 2. Средно месечни стоежи в р. Дунав (осреднен хидрограф)

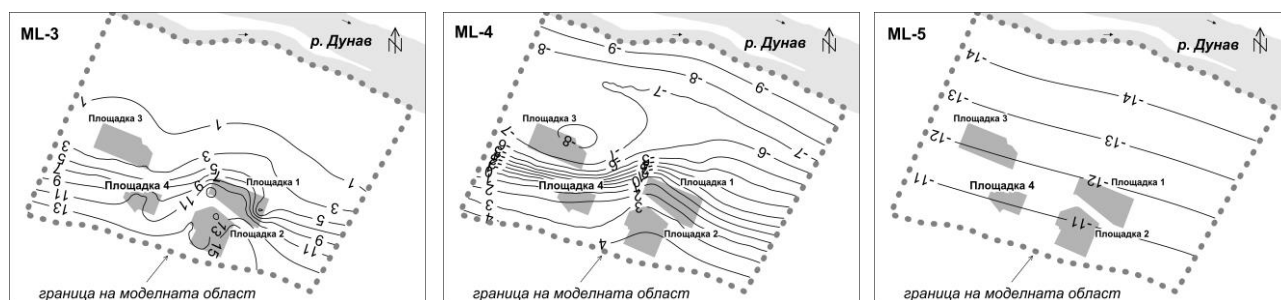
Таблица 2.

Характеристики на ниско ранговите хидрогеоложки единици (ХГЕ). Моделни пластове и моделни зони

ХГЕ	Моделен пласт	Моделна зона	Литолошко описание	Средна дебелина от - до -	Коеф. на филтрация $k, m/d$	Коеф. на водоотдаване $\mu, -$
ХГЕ1	ML-1	MZ-1.1	Лъсов комплекс (лъс, лъсовидна глина и глинести пясък)	5 - 10	0,25	0,01
ХГЕ2		MZ-1.2	Алувиални глини	3 - 7	0,02	0,005
ХГЕ3	ML-2	MZ-2.1	Алувиален чакъл и чакълеста глина (стари тераси)	1 - 3	7,5	0,10
ХГЕ4		MZ-2.2	Алувиален дребен чакъл и пясък (надзаливна и заливна тераса)	5 - 9	30,0	0,15
ХГЕ5		MZ-2.3	Алувиален чакъл и пясък (заливна тераса)	6 - 8	80,0	0,20
ХГЕ6		MZ-2.4	Алувиален чакъл (заливна тераса)	3 - 5	120,0	0,25
ХГЕ7	ML-3	MZ-3.1	Глина с пясъчни прослойки (Брусарска свита)		0,1	0,01
ХГЕ8		MZ-3.2	Дребен пясък (Брусарска свита)	1 - 8	2,5	0,04
ХГЕ9	ML-4	MZ-4.1				
		MZ-4.2	Глина (Брусарска свита)	3 - 10	0,005	0,008
ХГЕ10	ML-5	-	Глина и глина с пясъчни прослойки (Брусарска свита)	> 30	0,1	0,01



Фиг. 3. Релеф на горнището и долнището на моделен пласт ML-1 и долнището на моделен пласт ML-2



Фиг. 4. Релеф на долнищата на моделни пластове ML-3, ML-4 и ML-5

Композиране на нестационарния филтрационен 3D модел

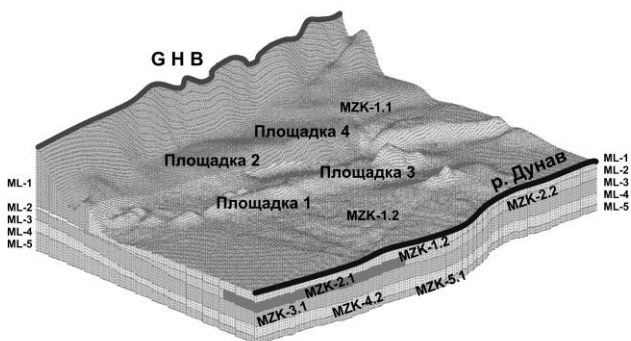
Нестационарният 3D модел представлява тримерна симулация на структурата на подземния поток в условията на непрекъснато изменение на нивата, разхода и останалите елементи на филтрационното поле. При неговото композиране са използвани следните основни техники, схеми и входни параметри:

- Моделът е съставен съобразно постановките, изложени в концептуалния модел и програма Modflow.
- Моделната област обхваща четирите алтернативни площадки и прилежащите им територии до р. Дунав (фиг. 1). Общата площ на модела е около 23,7 km².
- Пространствената дискретизация е направена като е използвана равномерна ортогонална мрежа със 180 реда, 230 колони и 5 моделни пласта. В моделните

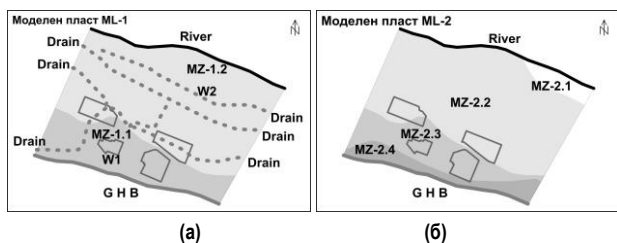
пластове са детерминирани 10 моделни зони (табл. 2). Техните граници са илюстрирани на фигури 5, 6 и 7.

- Релефът на ограничителните повърхнини (т.нар. долница и горница) на моделните пластове са съобразени с морфологичните особености на терена и пространствените форми на ХГЕ (фиг. 3 и 4). Земната повърхност е зададена като горница на ML-1.
- В рамките на моделни пластове и зони филтрационни характеристики са постоянни. Те са зададени съобразно приетите за всеки пласт и зона стойности (табл. 2). За коефициента на филтрация във всички моделни пластове е прието практикуваното в моделирането съотношение $k_x = k_y = 10k_z$.
- Регионалният поток е моделиран с разход по част от външните граници на моделната област по схемата ГНВ. Използваната проводимост по границата е изчислена съобразно дебелината на моделния пласт и коефициента на филтрация в пласта или зоната, в която попада съответната моделна клетка.

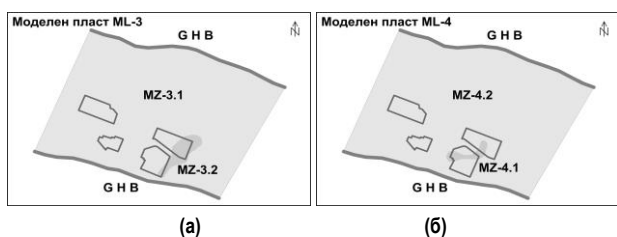
- Река Дунав е симулирана като тримерен обект със съответната геометрия и хидравлични характеристики. Зададена е с гранично условие от III род (River) при отчитане на непрекъснато изменение на речното ниво във времето $h = f(t)$. Като входни данни са използвани определените средномногогодишни месечни стоежи на реката в рамките на хидроложкия цикъл. Амплитудата на минималните и максимални речни нива обхваща интервала между абсолютни коти 21,0 и 30,0 m.
- Дренажните канали са зададени като тримерни обекти в първия моделен пласт при допускане, че между тях и вместващите ги литоложки разновидности съществува пряка хидравлична връзка. Геометрията и хидравлични характеристики на съоръженията са приети съобразно техните реални размери, координати и конструктивни особености. Зададени са с гранично условие от III род (Drain). Приетите стойности на нивата от запад на изток в южния канал са в диапазона от кота 24,0 m до кота 23,0 m, а в северния канал от кота 22,6 m до кота 21,6 m.
- Инфилтрационното подхранване е зададено в ML-1 с гранично условие подхранване (Recharge). Дефинирани са две моделни зони – Зона W1 и Зона W2 (фиг. 6а). За скоростите на инфилтрация W_1 и W_2 в двете зони са приети изчислените средномесечни стойности (табл. 1).
- Общото време за симулация е разделено на 12 стрес периода, като във всеки от тях са задавани съответните средномесечни стойности на водните стоежи в р. Дунав (H_i) и скоростите на инфилтрация W_{1i} и W_{2i} .



Фиг. 5. Геометрия на моделните пластове и зони. Гранични условия



Фиг. 6. Моделни зони и гранични условия в ML-1 и ML-2



Фиг. 7. Моделни зони и гранични условия в ML-3 и ML-4

Прогнозни решения. Дискусия

Основните резултати от направените със съставения нестационарен 3D модел симулации са илюстрирани в обобщен вид в таблица 3 и с поредица от пиезометрични карти (фигури от 8 до 19).

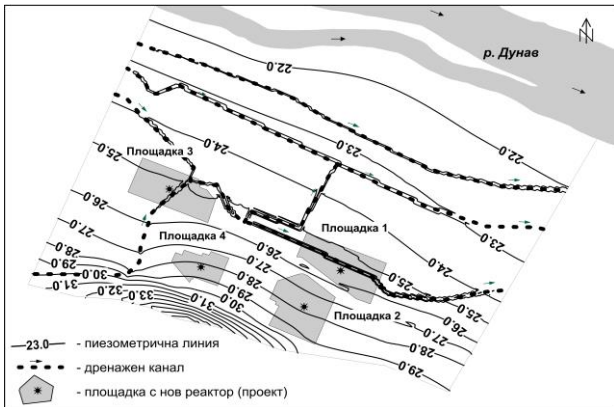
Таблица 3.

Прогнозни коти (m) по месеци на нивото на подземните води h_i в централните части на площадките

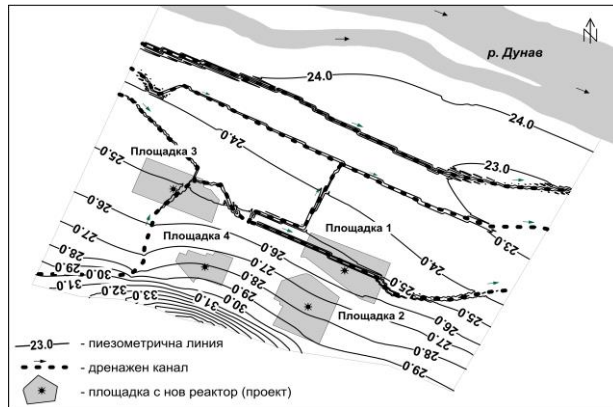
Месец	Площадка 1	Площадка 2	Площадка 3	Площадка 4
IX	25,59	27,75	25,26	28,28
X	25,51	27,72	25,15	28,25
XI	25,52	27,71	25,21	28,24
XII	25,46	27,69	25,17	28,22
I	25,39	27,65	25,14	28,18
II	25,43	27,63	25,22	28,17
III	25,43	27,61	25,26	28,15
IV	25,50	27,61	25,37	28,15
V	25,73	27,67	25,62	28,20
VI	25,88	27,72	25,83	28,26
VII	25,98	27,76	25,95	28,30
VIII	26,11	27,82	26,06	28,36
Δh_j , m	0,72	0,21	0,92	0,21

Посочените в таблица 3 стойности представят по месеци прогнозните коти на подземните води (h_i) на територията на всяка площадка като функция на средномесечните нива в р. Дунав (H_i) и средномесечната валежна инфилтрация (W_{1i} и W_{2i}), т. е. $h_i = f(H_i, W_{1i}, W_{2i})$. Представените резултати показват, че годишната амплитуда на изменение на нивото (Δh_j) за Площадки 1 и Площадка 3 (в ниската тераса) е по-малка от метър, съответно за Площадка 1 амплитудата е 0,72 m, а за Площадка 3 - 0,92 m. За Площадки 2 и 4 (във високата тераса) тази амплитуда е още по-малка – едва 20-25 cm. Получените резултати са напълно логични и обясними. Всички теоретични и полеви изследвания сочат, че преминаването на една висока вълна в реката предизвиква подобна вълна, проникваща напречно във водоносния пласт, но с известно закъснение и с намалена амплитуда (което се потвърждава и от получените моделни решения). Конкретно за условията в обсега на АЕЦ „Козлодуй“, амплитудата на колебанията на подземните водни нива е редуцирана допълнително от влиянието на отводнителната система (дренажните канали).

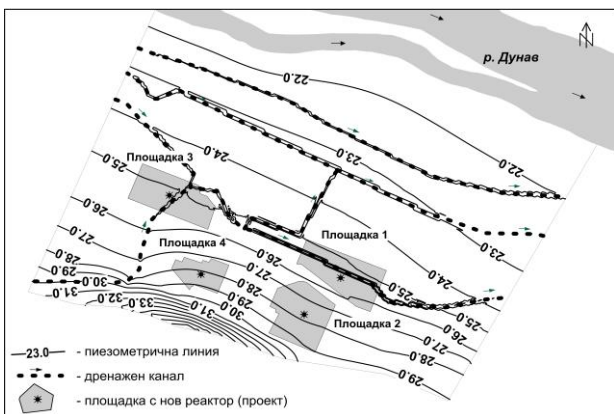
По-цялостна представа за влиянието на реката върху подземните води в Козлодуйската низина дават съставените пиезометрични карти за различните месеци от годината. Те показват промените в структурата на подземния поток (посоки на течението, градиенти и пр.) в течение на хидроложкия цикъл. Прави впечатление, че във високата речна тераса подземният поток е практически неизменен като направление и отток, докато в ниската заливна тераса и по-точно в северната ѝ част, в близост до р. Дунав има алтернативна смяна на посоката на потока в зависимост от нивото в реката. Моделните решения нагледно представят влиянието и на отводнителната система от канали, която в значителна степен контролира нивата в централната и южната части на низината.



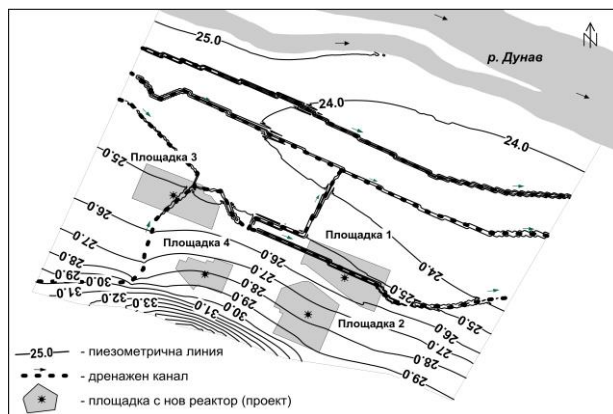
Фиг. 8. Структура на подземния поток към месец септември



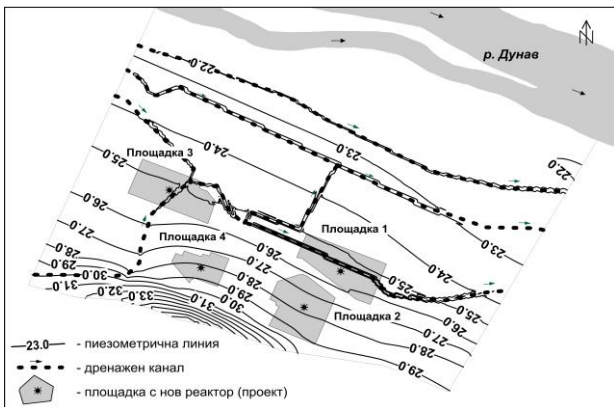
Фиг. 12. Структура на подземния поток към месец януари



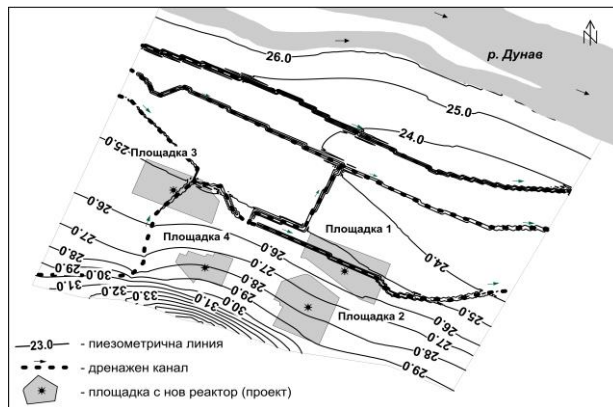
Фиг. 9. Структура на подземния поток към месец октомври



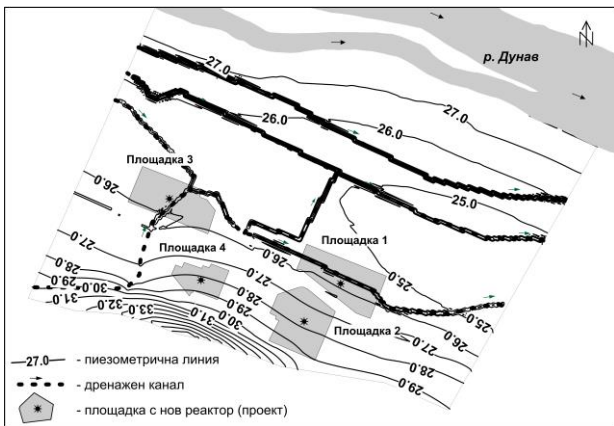
Фиг. 13. Структура на подземния поток към месец февруари



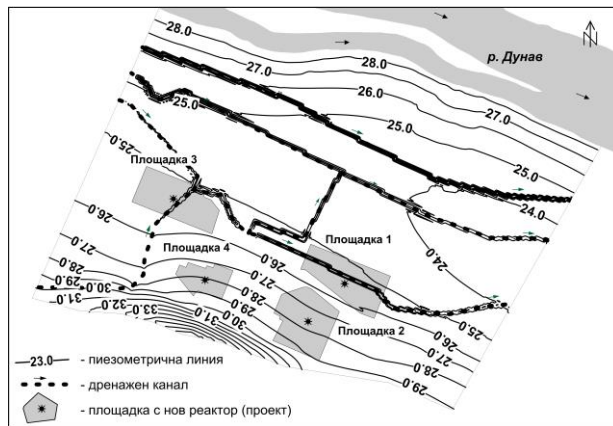
Фиг. 10. Структура на подземния поток към месец ноември



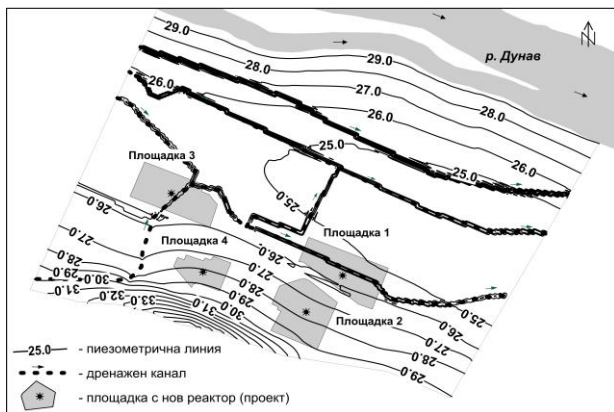
Фиг. 14. Структура на подземния поток към месец март



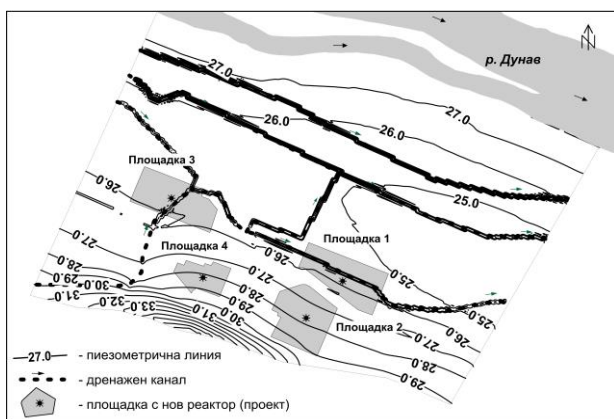
Фиг. 11. Структура на подземния поток към месец декември



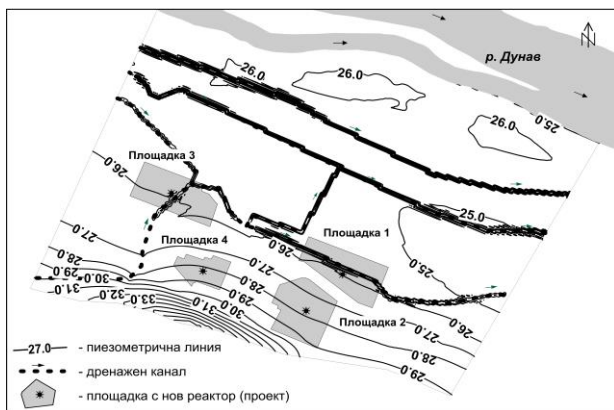
Фиг. 15. Структура на подземния поток към месец април



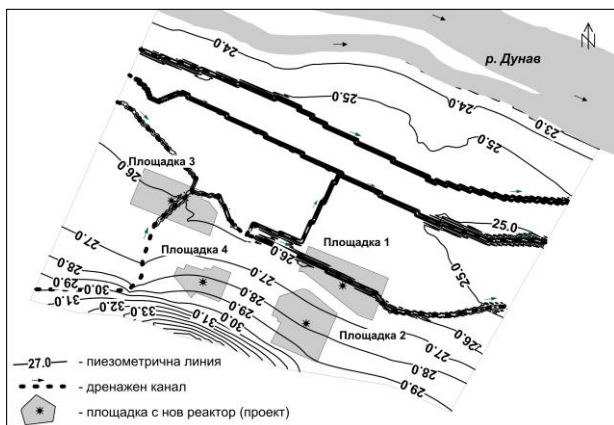
Фиг. 16. Структура на подземния поток към месец май



Фиг. 17. Структура на подземния поток към месец юни



Фиг. 18. Структура на подземния поток към месец юли



Фиг. 19. Структура на подземния поток към месец август

Заклучение

Проведените математически моделни изследвания показват, че измененията на нивото на подземните води, предизвикани от колебанията на нивото в р. Дунав, са незначителни и при четирите площадки. В обхвата на площадки 1 и 3 годишната амплитуда е между 0,5 и 1,0 m, а при площадки 2 и 4 е около 0,2–0,3 m. Тези изменения не застрашават по никакъв начин проектния Блок 7 на АЕЦ „Козлодуй“ от подземно оводняване и заливане.

Литература

Гиргинов, П. Оценка на ролята на вертикалната филтрация на подземните води в обсега на АЕЦ „Козлодуй“. - Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“, т. 58, св. I, Геол. и геоф., 2015. - 220-225.

Гълъбов, М. (ред). Изясняване на дисперсионните характеристики на почвената и водната среда в района на площадката на АЕЦ „Козлодуй“ с цел анализиране на възможните пътища за миграция на радионуклиди от АЕЦ в почвата и атмосферата. Доклад на „Акватер“, 1992.

Димовски, Ст., Н. Стоянов, Ст. Стойнев, М. Янкова. Електротомографско картиране на земната основа на алтернативни площадки за изграждане на нова енергийна мощност в АЕЦ Козлодуй. - Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“ т. 57, св. I, Геол. и геоф., 2014. - 83-88.

Евстатиев, Д. (ред). Проучвателни работи във връзка с „Реконструкция на хранилище за РАО в могилник за твърди РАО“. Доклад на ГИ БАН, 2004.

Карастанев Д. (ред). Характеризиране на площадка № 4. Доклад на ГИ БАН, 2007.

Стойнев Ст. (ред). Потвърждаване на площадка за изграждане на НХРАО. Доклад на „МГУ - Инженеринг“, 2009.

Стойнев, Ст. (ред). Изследване и определяне местоположението на нова ядрена мощност на площадката на „АЕЦ Козлодуй“. Доклад на „МГУ - Инженеринг“, 2013.

Стоянов, Н. Прогнозиране на възможната миграция на радионуклиди през льосовия комплекс в района на АЕЦ „Козлодуй“. - Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“ т. 52, св. I, Геол. и геоф., 2009. - 159-164.

Стоянов, Н. Моделни изследвания на риска от замърсяване на геоложката основа и подземните води от проектираното Национално хранилище за радиоактивни отпадъци край АЕЦ „Козлодуй“. - Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“ т. 55, св. I, Геол. и геоф., 2012. - 140-145.

Bredencamp, D. Quantitative estimation of groundwater recharge by means of a simple rainfall-recharge relationship. - In: International Contributions in Hydrogeology, v. 8, "Groundwater recharge", 1990. - 247-256.

Harbaugh A., E. Banta, M. Hill, M. McDonald. MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey modular groundwater model – user guide to modularization concepts and the groundwater flow process. Open-File Report 00-92, USGS, Reston, VA, 2000. - 130 p.

Статията е рецензирана от проф. д-р Михаил Гълъбов и е препоръчана за публикуване от кат. "Хидрогеология и инженерна геология".