

# ВЛИЯНИЕ НА ЛОКАЛНАТА СЕИЗМИЧНОСТ ПРИ ИЗБОР НА ПЛОЩАДКА ЗА ХРАНИЛИЩЕ НА РАДИОАКТИВНИ ОТПАДЪЦИ

Ст.н.с. / ст. д.г.н. Стефан Ш а н о в,  
н.с. д-р Димитър А н т о н о в - Геологически институт към БАН

THE EFFECT OF THE LOCAL SEISMICITY FOR SELECTION OF RADIOACTIVE WASTE REPOSITORY SITE. S. Shanov, D. Antonov

Summary: Due to the Kozloduy Nuclear Power Plant exploitation, a construction of a low and intermediate level radioactive waste repository is forthcoming. One of the important tasks for its design is the potential site selection. The seismicity impact over the site from local seismic sources is one of the criteria for analyses of the long-term performance of the repository including a preservation of the engineered barriers integrity. The paper deals with the geotectonic situation and local seismicity of a region near to Kozloduy NPP. An assessment of possible maximum earthquakes accelerations is made by seismotectonic prognostication of a hypothetical site model south of the plant. The presented results show that the terrain near Kozloduy is with low seismicity and some geotechnical measures for soil base improvement may reduce the seismic risk over the repository.

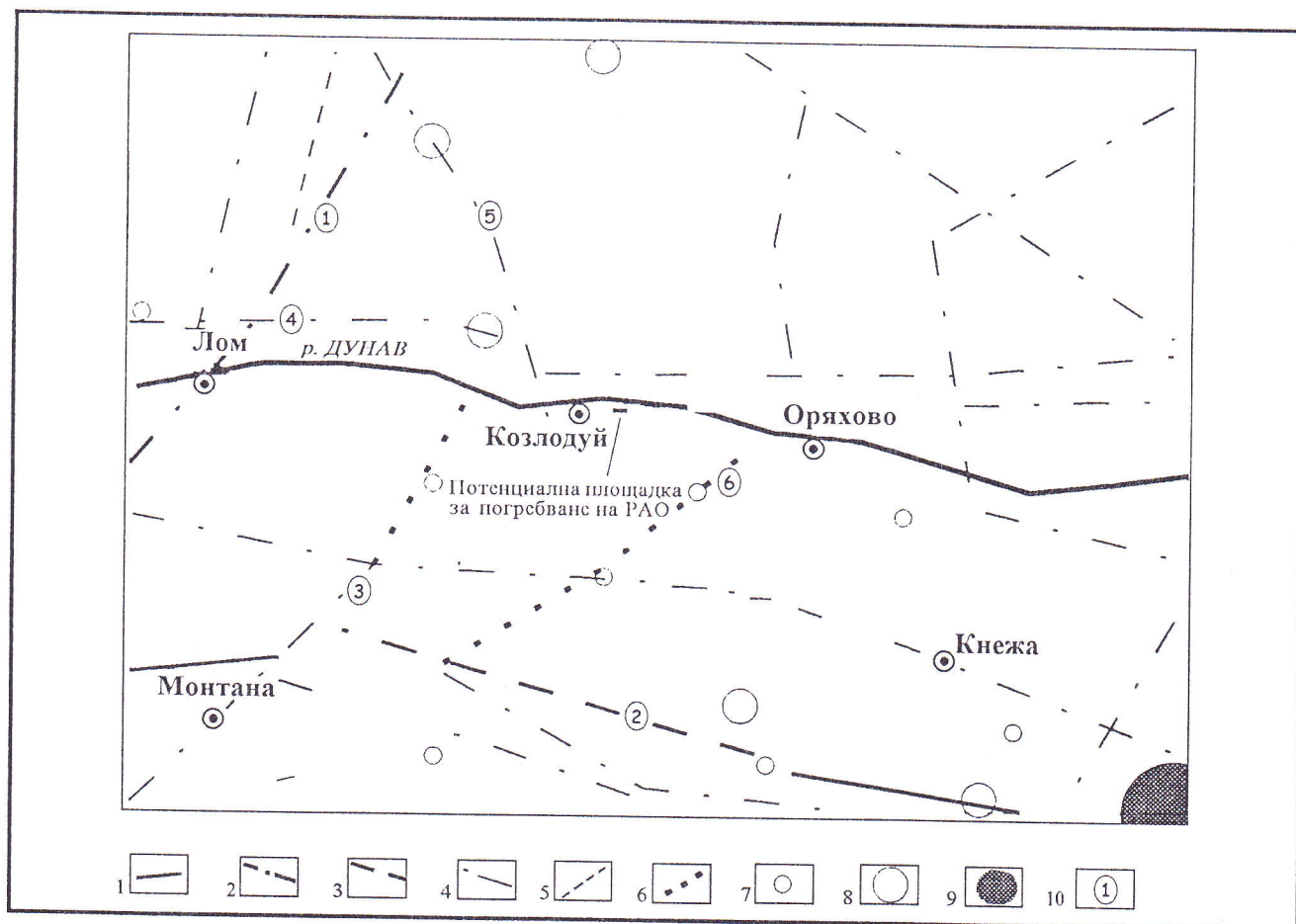
С изграждането на АЕЦ "Козлодуй" България се нареди сред страните с развита ядрена енергетика. В резултат на работата на централата се отделят ниско-, средно- и високорадиоактивни отпадъци, които подлежат на погребване в специални хранилища. Към настоящия момент ниско- и среднорадиоактивните отпадъци (НСРАО) се съхраняват на територията на АЕЦ, като предстои изграждането на постоянно хранилище за тяхното депониране. Очакваният общ обем на отпадъците в кондиционирано състояние за целия експлоатационен срок на централата, от затварянето на I и II блок и работата на един блок на АЕЦ "Белене" е около 100 000 m<sup>3</sup>.

Една от основните задачи при създаване на хранилище за НСРАО е изборът на площадка. При всички досегашни изследвания в тази насока лъсът около АЕЦ "Козлодуй" е разглеждан като потенциална среда за изграждането ѝ. Влиянието на местната сеизмичност е един от критериите при анализа на дълговременната устойчивост на хранилището и запазване целостта на инженерните бариери.

В настоящото изследване е разглеждана геотектонската обстановка и локалната земетръсна активност около АЕЦ "Козлодуй" и чрез сеизмотектонско прогнозиране и модел на хипотетична площадка (южно от централата) е направена оценка на очакваните възможни максимални ускорения от земетресения.

## Геотектонска обстановка и локална сеизмичност в района на АЕЦ "Козлодуй"

Районът около АЕЦ "Козлодуй" се намира в най-забележителната негативна структура на Мизийската платформа - Ломската падина. Нейната източна граница е оформена от разломи (фиг. 1), по които се е получило стъпаловидно пропадане на запад. Структурите на Предбалкана покриват южната част на падина. Западната и северната граници са разломни, с изразено блоково пропадане по тях. Движенията по разломите през плиоцена и кватернера предопределят съвременния морфоструктурен план на райо-



Фиг. 1. Местоположение на площадката по картата на комплексните линеаментни възли (по [1]): 1 - разломи I категория, разкриващи се на повърхността; 2 - разломи I категория, покрити от по-млади седименти; 3 - предполагаеми разломи I категория; 4 - разломи II категория, покрити от по-млади седименти; 5 - предполагаеми разломи II категория; 6 - активни разломи; 7 - епицентри на земетресения с  $M = 0-2,0$ ; 8 - епицентри на земетресения с  $M = 2,1-4,0$ ; 9 - сеизмотектонски възел с  $M_{max} = 5,5$ ; 10 - номер и наименование на разлома в текста

на, както и характера на речната мрежа.

По-важните разломи са (фиг. 1):

- **Гостилски.** Той е елемент от една голяма разломна структура - **Олтенската**, пресичаща редица други в централната част на **Балканския полуостров**, вкл. и **Мизийската платформа**.

- **Севернобалкански.** Ограничава от юг **Мизийската платформа**. Характеризира се със сложен строеж и дълговременно развитие. В западната част на изследвания участък този разлом има навлачен харак-

тер, но постепенно на изток преминава в нормален разсед.

- **Цибришки.** Представлява разсед с пропаднало западно крило, пресичащ **Ломската надина** от **гр. Монтана** в посока североизток. Вероятно е съвременен тектонски активен, тъй като по него са регистрирани слаби земетресения (фиг. 1). Проследява се и морфоложки по долината на **р. Цибрица**.

- **Дунавски.** Според някои автори това е сегментирана разломна структура с обща дължина над 200 km [1]. По него след девона северният блок се е издигнал с около 2000-2500 m.

През плиоцена обаче се издига южният с близо 300-400 m. Разломът е разкъсан вторично от напречни разломи.

- **Мотру.** Той има сложен характер и е проследен по фундамента на **Мизийската платформа** на румънска територия. Издигнато е източното крило с елемент и на дясно отсядане. На север от разглеждания район на румънска територия има регистрирана и сеизмична активност по него.

- **Огостенски.** Представлява дълъг около 40 km разлом с пропаднало северозападно крило. Той е бил активен и през ква-

тернера. Съвременната му активизация се подчертава от няколко слаби земетресения по него. Проследява се морфоложки по долината на *р. Огоста*.

Земетръсният потенциал на зоната от около 50 km около площадката на хранилището е анализиран на базата на няколко сеизмични каталога (фиг. 1). Показаните епицентри на земетресения представят картината на активността, регистрирана до 1994 г. Всички епицентри на сеизмичните събития са представени пропорционално на техния магнитуд посредством окръжности в мащаб, обозначен в легендата на картата.

Изводът, който може да бъде направен, е, че площадката попада в район с едно от най-ниските нива на земетръсна активност на *Балканите*.

#### Сеизмотектонско прогнозиране

За прогнозиране на потенциалната сеизмична опасност е използвана картата на комплексните линеаментни възли и методиката за оценка на техния потенциал за земетресения [1]. Съгласно нея в разглежданата територия (фиг. 1) има само един сеизмотектонски възел от I ред. Той практически е и най-опасната зона за генериране на по-силни земетресения в близост до площадката и се намира на 68 km от нея. За него оценката за силата на максималното потенциално земетресение по методиката, представена в [1], е  $M = 5,0 - 5,5$  при очаквана хипоцентрална дълбочина от 30 km. Всички останали вероятни зони на земетръсни огнища са по-отдалечени. Те са от II и III ред и биха могли да се изключат от анализите за максимални възможни въздействия.

В непосредствена близост до площадката е отбелязано нали-

чието на два разлома - *Цибришкия* и *Огостенския* (фиг. 1), по които е регистрирана слаба сеизмична активност ( $M < 2,0$ ). Като консервативно решение се приема възможността за реализация в безкраен времеви интервал на земетресения по тях при дълбочина на огнищата около 10 km. Опасни за площадката са сегментите на разломите, намиращи се северно от структурата с направление *И-З*, която преминава близо до *гр. Кнежа* (фиг. 1). Така североизточният сегмент на *Огостенския разлом* с дължина 19 km е на разстояние 8,5 km от площадката, а активният на *Цибришкия разлом* е на 19 km от нея.

В световната практика се е наложила методика за оценка на максималното потенциално земетресение чрез прилагане на емпирични връзки между дължината на активните сегменти от разломи и магнитуда на очакваното сеизмично събитие, като се отчита категорията на активността на структурата. Използват се данните от повърхностни разкъсвания по разломи при силни земетресения. В района на площадката няма основание да се очаква такова разкъсване, поради което е приложена формулата за области от платформен тип [2], а именно:

$$M = 1,5 \log L + 1,4,$$

където  $L$  е дължината на активния разломен сегмент, km, а  $M$  - магнитудът на максимално силното земетресение, което може да се генерира от него.

Ако се използва тази формула, то тогава от активния сегмент на *Огостенския разлом* може да се очаква земетресение с максимален магнитуд  $M = 3,32$ , а за този от *Цибришкия разлом* в близост до площадката се получава  $M = 3,35$ . Посочените стойности са близки до реалната обстановка, доколкото последното по-силно събитие, което

може да се свърже с активизация на *Цибришкия разлом*, е това от 23.03.1987 г. с  $M = 3,3$  [3].

#### Оценка на възможните максимални ускорения от земетресения

Емпиричните зависимости между хоризонталното ускорение  $a$ , магнитуда на земетресението  $M$ , епицентралното разстояние  $R$  и дълбочината  $H$  на хипоцентъра са публикувани от редица автори, като са използвани данни от реални регистрации в целия свят. Анализът на тези емпирични зависимости [4] показва, че най-удачната може да бъде представена с формулата:

$$a = a' 10^{bM} (R + 25)^{-c}.$$

Коефициентите  $a'$ ,  $b$  и  $c$  са различни при отделните автори и зависят от извадката от данни, които те са ползвали. В общи линии всички зависимости се отнасят за средни грунтови условия, т.е. за достатъчно консолидирани скали на строителната основа. В настоящото изследване са използвани регресионни коефициенти, които са дадени в табл. 1.

Горепосочената емпирична зависимост не отчита хипоцентралната дълбочина на земетресението, но всички данни са от корови такива. Резултатът се получава в единицата gal.

Таблица 1

Емпирични регресионни коефициенти за изчисляване на максималното ускорение от земетресения

| Автори            | $a'$   | $b$   | $c$   |
|-------------------|--------|-------|-------|
| Faccioli, 1977    | 1934,4 | 0,140 | 1,103 |
| McGuire, 1974 [5] | 472,3  | 0,278 | 1,301 |
| Donovan, 1973 [6] | 1080   | 0,217 | 1,320 |

Таблица 2

Резултати от оценката на максималното очаквано хоризонтално ускорение  $a$  при средни почвени условия, в част от земното ускорение  $\Delta g$

| Емпирична зависимост по: | Максимално очаквано хоризонтално ускорение $a$ [ $\Delta g$ ] |                   |                 |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|
|                          | сеизмотектонски възел                                         | Огостенски разлом | Цибришки разлом |
| Faccioli, 1977           | 0,077                                                         | 0,112             | 0,089           |
| McGuire, 1974            | 0,044                                                         | 0,042             | 0,030           |
| Donovan, 1973            | 0,043                                                         | 0,056             | 0,040           |
| Voutkov et al., 1986     | 0,105                                                         | 0,014             | 0,014           |

Изследване, направено от български колектив [7, 8], използва и хипоцентралната дълбочина, като емпиричната зависимост е от друг вид и дава възможности за въвеждане на корекции за реалните грунтови условия чрез акустичната твърдост  $A_r$  на почвените и скалните разновидности и оттам - и за преизчисляване интензивността

на земетресението  $I$ , респ. хоризонталното ускорение  $a$ .

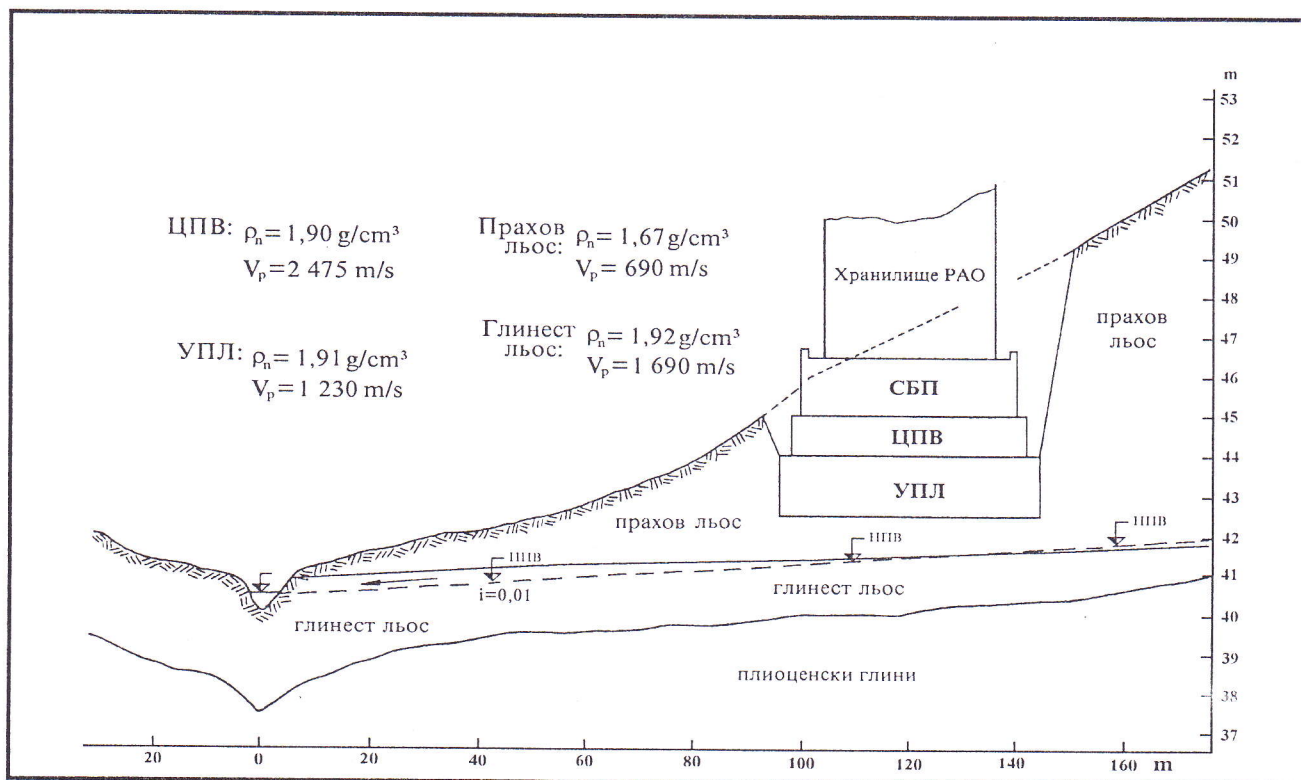
Определянето на максималните очаквани въздействия е направено по четирите представени емпирични зависимости, като само по последната са въведени корекции за реалните грунтови условия. Използвани са оценките за най-близкия сеизмотектонски възел и активните разлом-

ни сегменти на *Цибришкия* и *Огостенския* разломи (табл. 2).

От горната таблица ясно се вижда, че формулата на Faccioli [4] дава по-силни въздействия от земетресенията, които биха могли да възникнат по *Огостенския* разлом. По [8] сеизмотектонският възел може да предизвика хоризонтални ускорения от порядъка на  $0,105 \Delta g$ . Тези два крайни случая надхвърлят нормативната за района стойност по българските стандарти ( $K_s = 0,10$ ).

Задължителен елемент на едно хранилище за радиоактивни отпадъци е наборът от инженерни бариери. В изследвания район съществува възможност като такава да бъде използвана подобрена лъсоча основа. С цел да се определи влиянието на сеизмичността при подобна постановка е съставен модел на пло-

Фиг. 2. Модел за сеизмичното въздействие върху площадката и противовезометръсния ефект на използваните бариери: СБП - стоманобетонна плоча, ЦПВ - циментово-почвена възглавница, УПЛ - уплътнен лъс, НПВ - ниво на подземните води,  $i$  - градиент на потока,  $\rho_n$  - обемна плътност,  $g/cm^3$ ,  $V_p$  - скорост на надлъжните вълни,  $m/s$



щадка на приповърхностно хранилище, включващ както льосовата основа, така и три "изкуствени" слоя. Моделът, с който са направени по-нататъшните изследвания, е хипотетичен, тъй като все още не са определени точното място на хранилището и неговият тип. Поради това той е построен на базата на следните *основни параметри* (фиг. 2):

- Повърхностен тип хранилище с ширина 26 m и дължина 70 m.

- Хранилището е фундирано на обща стоманобетонна плоча с дебелина 1,5 m, която предава на земната основа натоварване в размер 0,3 МРа.

- Под плочата е изградена циментово-почвена възглавница със състав 20% клиноптилолит и 12% цимент с дебелина 1 m, под която следва уплътнен льос, дебелина 1,5 m.

- Естествената земна основа, намираща под уплътнения льос, се състои от прахов типичен льос, чиято дебелина под долния край на първия е 1 m, следван от глинест льос с дебелина 1,5 m. Льосът заляга върху плиоценски глинени с романска възраст.

- Водното ниво е на 3-3,5 m под стоманобетонната плоча, като потокът на подземните води е с градиент  $i = 0,01$  и има за водоупор романските глинени.

Използваните по-долу данни за скоростите на сеизмичните вълни са получени от литературни източници и от лабораторни изследвания с ултразвуков сеизмоскоп [9].

Корекциите за подобрени грунтови условия са изчислени за хранилището на *РАО* при условия на естествена среда (прахов льос) и на подобрена основа. Доколкото най-консервативните оценки са получени по формулата на *Faccioli* [4] и на *Voutkov et al.* [8], а при последната има възможност за внасяне на корекции

Таблица 3  
Резултати от оценката на максималното очаквано хоризонтално ускорение  $a$  при реални почвени условия без подобряване на земната основа, в части от земното ускорение [ $\Delta g$ ]

| Условия        | Максимално очаквано хоризонтално ускорение $a$ [ $\Delta g$ ] |                   |                 |
|----------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|
|                | сеизмотектонски възел                                         | Огостенски разлом | Цибришки разлом |
| Средни почвени | 0,105                                                         | 0,014             | 0,014           |
| Реални почвени | 0,126                                                         | 0,016             | 0,016           |

Таблица 4  
Резултати от оценката на максималното очаквано хоризонтално ускорение  $a$  след подобряване на земната основа, в части от земното ускорение [ $\Delta g$ ]

| Условия                                    | Максимално очаквано хоризонтално ускорение $a$ [ $\Delta g$ ] |                     |                     |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                            | сеизмотектонски възел                                         | Огостенски разлом   | Цибришки разлом     |
| Средни почвени условия                     | 0,105                                                         | 0,014               | 0,014               |
| Реални почвени условия                     | 0,126                                                         | 0,016               | 0,016               |
| Подобрена земна основа                     | 0,092                                                         | 0,0138              | 0,0138              |
| Подобрение спрямо реалните почвени условия | $\Delta a = 27\%$                                             | $\Delta a = 13,5\%$ | $\Delta a = 13,5\%$ |

Забележка: Разликата в процентите се дължи на нелинейността на използваните емпирични зависимости

и за реални грунтови условия, то представената по-долу оценка е валидна само за тази емпирична зависимост. В табл. 3 са дадени ускоренията, които биха се получили при условие на свободна земна повърхност, като най-горният слой представлява дебелина около 5 m прахов льос.

Както се вижда от тази таблица, в оценките има известно нарастване на земното ускорение, което е незначително за въздействията от *Огостенския* и *Цибришкия разломи*, но водещо до  $\Delta g = 0,126$  за сеизмотектонския възел. Тази оценка е сравнително неблагоприятна, вероятно завишена, и не отговаря на изчислените въздействия по другите формули. Теоретично обаче чрез нея ще може да се прецени доколко геотехническите мероприятия ще я редуцират като стойност, като покажат ефективността на предложения метод за

засдзяване на основата под съоръжението. В табл. 4 е дадена оценка на процентното снижаване на сеизмичните въздействия, ако се подобряват геотехническите характеристики на тази основа. На нея са представени резултатите от анализа на максималните сеизмични въздействия от трите активни структури в близост до площадката, като са изчислени среднотежестно параметрите на слой, достигащ до плътните плиоценски глинени. Този слой съдържа както подобрените чрез геотехнически мероприятия пластове, така и останалите под тях, които са с естествените си характеристики.

#### Заклучение

Съгласно българските норми за строителство в земетръсни райони сеизмичната интензивност за потенциална площадка,

която ще се намира южно от *Козлодуй*, е VII степен по *MSK-64*, а сеизмичният коефициент е  $K_s = 0,10$  при повтораемост от 1000 години. Важността на съоръжението за съхраняване на радиоактивни отпадъци налага използване на геотехнически методи. Те водят до редуциране влиянието на сеизмичното ускорение от най-вероятните близки източници на земетресения. Сравнението на резултатите от табл. 2, 3 и 4 с нормативния коефициент показва, че определеният  $K_s = 0,10$  практически добре обезпечава магнитудното ниво 5,5, което по-горе бе оценено като възможно да бъде генерирано от сеизмотектонския възел само при използването на формулата в [8]. Завишената оценка на ускорението при директното фундиране върху льос и льосови глини в най-горната част на разреза до 0,126 g и 0,112 при формулата в [4] е твърде консервативна. Съгласно направените изчисления предложените геотехнически подобрения редуцират влиянието на силните локални сеизмични въздействия до 27%. Това е основание, даже в най-

неблагоприятния случай, да се очакват ускорения под нормативно приетото 0,10  $\Delta g$ .

Трябва да се подчертае, че всички изчислени по-горе по емпирични зависимости параметри нямат нормативен характер, но те сочат, че ако се извършат необходимите геотехнически мероприятия на потенциалната площадка за съхранение на *РАО*, то сеизмичните въздействия върху съоръжението ще се редуцират от 13 до 27%, съответно от слабите към по-силните земетресения. Този извод потвърждава изследванията, при които е установено, че чрез подобряването на земната основа десетки сгради в *Северна България* по-леко са понесли сеизмичните въздействия при *Вранчанското земетресение* от 1977 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В о п с е в, Е. et al. A method of compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria. *Geol. Balc.*, 12, 2, 1982.
2. Инструкция для определения содержания и масштабов сейсмологических и сеймотектонических исследований для проектирования АЭЦ и теплоэнергетических комплексов. Ми-

нистерство энергетического строительства и электрификации. Главный проект, АТОМТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ, М., 1983.

3. Георгиев, Ц., С. Шанов. Съвременна геодинамика на западната част на Мизийската платформа (Ломска падина). *Бълг. геофиз. спис.*, LXVII, 3, 1991.
4. F a c c i o l i, E. Bases for methodology of seismic microzoning. Consultant's Report to UNESCO, Mexico City, 1977.
5. M c G u i r e, R. Seismic structural response risk analysis, incorporating peak response regressions on earthquake magnitudes and distance. Report R74-51, Dept. of Civil Eng., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1974.
6. D o n o v a n, N. A statistical evaluation of strong motion data including the February 9, 1971 San Fernando earthquake. In: Proc. 5th World Conf. Earthq. Eng., Rome, I, 1973.
7. V u t k o v, V., A. D e m i r e v, St. S h a n o v. Interrelation between basic seismic parameters. In: Proc. of the 11th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Found. Engineering, San Francisco, 1985.
8. V o u t k o v, C., St. C h a n o v, A. D e m i r e v. Evaluation de l'intensité et l'accélération maximale en zones sismiques. C.R. du Symp. Intern. Problèmes de géologie de l'ingénieur dans les zones sismiques, Bari, I, 1986.
9. А н т о н о в, Д. Льосът в района на АЕЦ "Козлодуй" като среда за погребване на ниско- и средноактивни отпадъци. Автореф. докт. дисерт., ГИ-БАН, С., 2002.

## Проф. д.т.н. Стоян Христов на 70 години



Стоян Христов е роден на 4 юли 1933 г. в с. Хан Аспарух, Староза-

горска област. През 1960 г. завършва Минно-геоложкия институт със специалност "Маркшайдерство", след което работи в рудник "Трояново 2" към мини "Марица-изток" последователно като маркшайдер, главен маркшайдер и зам.-директор по техническите въпроси на рудника. През периода 1960 - 1965 г. завършва задочно специалността "Минна електромеханика" в МГИ.

От края на 1965-та до 2000 г. Ст. Христов работи в катедра "Открито разработване на полезни изкопаеми", където изминава пътя от асистент до професор. През 1971 г. защитава кандидатска дисертация в

Ленинградския минен институт, а през 1989 г. - докторска в МГУ.

Броят на научните публикации на проф. Христов надхвърля 260, в т.ч. 3 монографии, 6 учебника и 7 ръководства. Научните му интереси са в областта на устойчивостта на откосите на земните съоръжения; усъвършенстването качеството на обработката на мраморни и гранитни плоскости и добива на мраморни блокове; развитието на минните работи и устойчивостта на бордовите и др. От 1988 г. той е член на Международната академия по минерални ресурси в Москва.

Честит юбилей, проф. Христов!