

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

UDC 544.03+551.24

M. Tolstoy, Dr. Sci., Prof.
Geological Faculty
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
N. Kostenko, PhD, Senior Research Scientist
Geological Faculty
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: knv@univ.kiev.ua
O. Shabatura, PhD, Senior Research Scientist
Geological Faculty
Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: sand@univ.kiev.ua

ON NUMERICAL PETROPHYSICAL EVALUATION OF GRANITOIDS OF AREA NEAR THE SOUTH-UKRAINIAN NUCLEAR POWER PLANT WITH THE DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF USING ITS FOR THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE

(Reviewed by the editorial board member S. Shnukov)

The most important task of modern nuclear power engineering is a safe disposal of the radioactive wastes. The various approaches have been used in developing the basic justification of choice of disposal geological environment. It was revealed that a deep repository of the radioactive wastes is suitable approach for this goal. It has substantial advantages in comparison with the surface warehousing. A carefully chosen geological environment would form a safe casing for the repository engineered barrier system, protecting it from many natural and artificial hazards. At present several developed countries have considered locating deep repositories in crystalline rock. Repository depths between about 500–1000 m are usually considered. However, a approach of deep geological repository is connected with the problem of searching of suitable geological sites and investigation a lot of characteristics of the host rock. It is thus important to consider the potential use of the special petrophysical researches in assessment studies. These petrophysical characteristics would need more in-depth analysis of the insulating properties of the host rocks.

On the basis of our researches carry out the simulation of some petrophysical characteristics and permeability of the leading petrotypes of Ingulsk and Dniester-Buh megablocks of Ukrainian Shield by statistical techniques, including correlation and factors analyses. It gave a possibility to implement of numerical classification of the all researched objects (totally 27 petrotypes). Results of analyses are also used to make predictions about the function indicators as a tool for selection of the host rocks. Finally only Oleksandrivsk enderbites and Kirovohrad granites were chosen as the most acceptable natural objects for the radioactive wastes disposal. Also Oleksandrivsk enderbites are not far to SUNPP that means low transport costs and environmental safety. Kirovohrad granites should be chosen as the host rocks as to creation of underground laboratory of priority comprehensive researches of insulation properties of geological environmental.

Problem statement. The long-standing question of modern nuclear power engineering is the problem of the safe radioactive wastes (RAW) disposal. It is important to accelerate studies of the search for a repository site. This development are based on knowledge and understanding of the insulating properties and involved processes and has to includes directed investigations of the host rocks of prospective disposal sites. Very promising of the natural objects are hard poor-porous rocks. Respectively, it is mainly concerned with crystalline rocks and its geomechanical and hydraulic properties, also mineralogy and geochemistry.

Ukraine has 15 working nuclear power plants and has produced large amounts of radioactive wastes that have to be managed. However, at present Ukraine hasn't a respective deep repository that satisfy a modern demand. To achieve this goal need to apply the different disposal strategies based on nature of the wastes, the available host rocks and the associated engineering and scientific researches. An one side these researches, the wide petrophysical evaluation of the crystalline rocks in the near-field of South Ukrainian Nuclear Power Plant (SUNPP) are described this paper. As a result these investigations will be determined the additional sites for RAW disposal and operational capability of the host rocks are obtained.

Analysis of recent researches. There are three main types of the host rock are currently under investigation: 1) hardrocks (granites, granodiorites and other hard crystalline rocks); 2) sedimentary rocks (clays and marles); 3) chemical deposit (rock salt). It was found that the most favorable natural objects for disposal of radioactive wastes are crystalline rocks. Granite rocks are under investigation

in Sweden, Finland, Czech Republic, Spain, Switzerland and other countries. Repository depths between about 500–1000 m are usually considered. In Ukraine, most recent developments of disposal concept attracted to granite massifs as the host rocks. A wide range of the host geological formations has been considered for deep repositories within the bounds of the Exclusion Zone of Chernobyl Nuclear Power Plant and on the adjacent areas [2, 3, 5]. Similar geological formations are also occur near SUNPP but its still have a low level of proper investigations. Overall petrophysical researches of the host rocks are carried out relatively recently – in conjunction with associated disposal programmes (by Swedish scientists since 2002 [6]).

It should be noted that development planning of SUNPP weren't developed to account for all possible hazards connected with the functioning of the Tashlitsk hydropower complex [1]. The main natural hazard is geodynamic tension of Pervomaisky Fault – a part of spread fractured Holovaniv Suture Zone, where SUNPP is actually located. Additionally, Holovaniv Suture Zone is a border between Ingulsk and Dniester-Buh megablocks of Ukrainian Shield where tectonically-induced fractures and faults may be superimposed upon this unstable system. In this regard, disappointing forecast concerning the possibility of natural seismic events at the center of Pervomaisky Fault with 5–6 or more times is expressed. It is clear that development of multiconceptual models of the deep geologic repository may proceed only on the basis of a good understanding of such unpredictable natural disasters and careful searching of new sites for RAW disposal.

Work objective. Our investigations will focus on the study of the physical properties of granitoids of two large megablocks of Ukrainian Shield. Granitoids of Kirovohrad complex of Ingulsk megablock are positioned on genetic connection with of uranium deposits. As is well known, such operating excavations of U-deposits are most favorable for disposal of RAW in future, and for the creation of underground laboratory studies of the flow properties of radioactive elements and the insulating characteristics of the host rocks already today.

From the above material, it is seen that a basic subject of the present invention is to provide a selection of the most favorable sites within geological boundaries based on a database of physical characteristics of leading petrotypes of granitoids rocks. Database of investigated granitoids rocks are collected and processed in research Sector of Physic-chemical studies of rocks of Geological Faculty of Taras Shevchenko National University of Kyiv. The main goals these researches are to expand a quantity of the suitable sites for RAW repository, providing the comprehensive physical and technical characteristics of massifs and improving geological criteria set for the host rocks of RAW repository.

Summary of main material. In addition to a description of geochemical and geological characteristics of geological disposal system, the input data that are generally required by petrophysical models include: rock porosity (total porosity P_t and effective porosity P_{ef}), density (bulk density σ_0), elastic properties (compressional V_p and shear seismic waves V_s), radioactivity (R_t), heat conductivity (λ) and permeability (η). The permeability is determined by quality terms of fracturing. Generally speaking, permeability embraces a wide spectrum of physical and structural characteristics of geological environmental that controlling the migration of constituents in the porewater, fluid flow and mass transport. As known, the migration of radionuclides through undisturbed saturated porous rocks or fractures and fracture zones depend on the degree of water saturation, the temperature and the permeability of the host rock. Because we observe strong correlations of a value of the permeability with total and effective porosities, elastic properties (and its anisotropies) and total radioactivity. Thermal conductivity, perhaps due to the influence of metasomatic processes, is not strong correlated with any petrophysical parameters. It was also proposed that during the preliminary stages of estimation, try to use the value of the ratio $(V_p + V_s)/P_{ef}$ and coefficients of anisotropies of seismic waves. Continuing investigation on early listed physical characteristics has led to a more sophisticated understanding of nature of permeability in barrier zones of the repository.

Having a considerable amount of analytical material, emphasis is given to the most useful aspects of quantitative applications for disposal model development and testing (mathematical research methods: cluster, correlation analyses and principal components method).

Clusterization on the base of positive correlation coefficients of granitoids rocks used in developing model that includes 4 main rock groups (Figure 1):

- 1) Bokov'ian and Novoukrainsk charnokites; Novoprazhsky, Orediv and Vozsiyatsk leucogranites; Kam'iansk, Huriv tonalites, Adzhamsk granodiorites; Ingulets plagiogneisses; Oleksandrivsk enderbites;
- 2) Bokov'ian quartz diorites, Ivaniv quartz monzonite, Zhezheliv, Khrystoforiv, Kam'iansk granodiorites, Bokov'ian, Mytrofaniv, Novolazariv granites, Ingulets plagiogranites;
- 3) Krupsky quartz syenites, Ruskopoljansk granosyenites, Bobrynets, Nadiiv, Dolyniv, Krupsk granites;
- 4) Kirovohrad and Novoukrainsk granites.

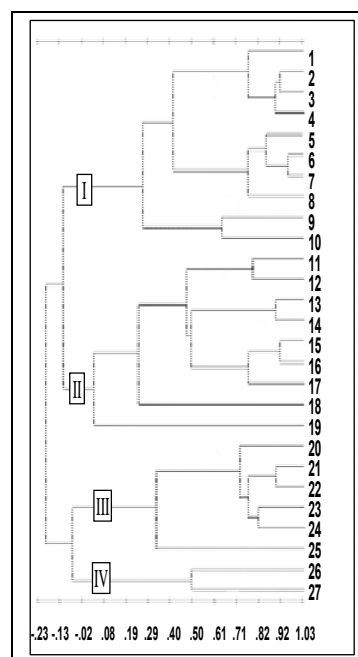


Figure 1 Tree diagram of linkage distance of leading petrotypes of Ingulsk and Dniester-Buh megablocks of Ukrainian Shield

Notes: 1. I, II, III, IV – rock groups with positive values of correlation coefficients. 2. Leading petrotypes of granitoid rocks:

- 1, 5 – Bokov'ian and Novoukrainsk charnokites;
- 2, 8, 9 – Novoprazhsky, Orediv, Vozsiyatsk leucogranites;
- 3, 4 – Kam'iansk, Huriv tonalites; 6, 12, 18 – Adzhamsk, Zhezheliv, Kam'iansk granodiorites; 7 – Oleksandrivsk enderbites;
- 10 – Ingulets plagiogranit-gneiss; 11 – Bokov'ian quartz diorite;
- 13 – Ivaniv quartz monzonite; 14 – Ingulets plagiogranite;
- 16, 17, 19, 21 – 24, 26, 27 – Bokov'ian, Mytrofaniv, Novolazariv, Dolyn, Krupsk, Kirovohrad, Novoukrainsk granites;
- 20 – Ruskopoljansk granosyenites; 25 – Krupsk quartz syenites

Figure 2 shows the factor diagram constructed with two large factors (F_1 and F_2) which cumulated 69% of total variance. Also on this chart is displayed the points of representing rock groups (I, II, III, IV). On the right part of factor diagram there are fields of points of rock groups II and IV. In terms of presenting assessments these granitoids are the least reliable natural objects for safe disposal. A degree of their availability decreases in the direction of the axis F_1 . It should be noted that the significant positive factor loadings, connected with F_1 , corresponded with P_{ef} , AV_p while significant negative loadings with V_p and V_s . This means that searching of sites for safe RAW disposal should be limited to the areas where petrotypes from groups I and III are occurred. First of all, Adzhamsk granodiorites and Oleksandrivsk enderbites may be defined as petrotypes that are suitable for creation of primary RAW disposal at depths of their location. The other petrotypes of the mentioned groups should be classified as backup option.

Discrimination of rocks according to their total radioactivity, AV_s and P_t is observed along the axis F_2 where the petrophysical parameters have the significant positive factor loadings. In particular, Ruskopoljansk granosyenites and Kirovohrad granites are maximally differentiated with radioactivity. It has also been found that Kirovohrad granites may become attractive for us since uranium deposits are genetically related to massifs of "Kirovohrad type" granites. According to the recommendations of M.P.Laverov et al. [4], some the underground openings, boreholes and shafts have been worked out in U-bearing rocks, would be to use for studying the insulating properties of the host rocks.

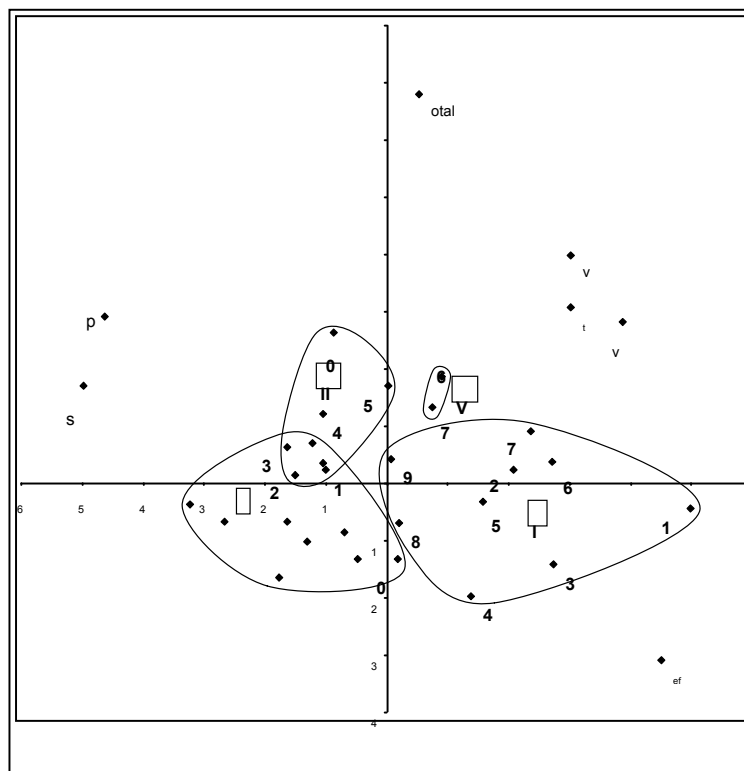


Figure 2. Factor diagram of figurative points of leading petrotypes of granitoid rocks of Ingulsk and Dniester-Bug of megablocks together with their petrophysical parameters in plot of factors $F_1 - F_2$.

Notes: 1. I, II, III, IV – rock groups outlined by results of cluster analysis.

2. Petrotypes according to their numbers, refer to Figure 1

Conclusions. All of the above 27 analyzed petrotypes of Ingulsk and Dniester-Buh megablocks of Ukrainian Shield have been reviewed with geostatistical simulation. Only 2 petrotypes (Oleksandrivsk enderbites and Kirovohrad granites) will be used to provide the proper ranges of physical properties desired for RAW disposal. Oleksandrivsk enderbites could be used as the host rocks because of are not far to SUNPP that means low transport costs and environmental safety. In addition, Kirovohrad granites should be chosen to creation of underground laboratory of comprehensive priority researches of insulation properties of the host rocks.

It should be noted that value of permeability has comprehensive nature so relevance analysis of leading petrotypes of granitoids rocks with only one characteristic of permeability is not appropriate. In particular, it is recommended to use numerical values of all proper characteristics of the host rocks as the basis of their petrophysical evaluation. Also that allowed to introduce the approach of "reference petrotype" and then respectively to classify granitoids with "conditionally suitable" and "conditionally unsuitable" categories. How it was done for granitoids of Volyn megablock of Ukrainian Shield [3]. In essence, granitoids of Ingulsk and Dniester-Buh megablocks of Ukrainian Shield should be wide investigated with the predetermined aim of developing or testing concept for repository safety in the future.

References:

1. Вербицкий С.Т., Кендзера А.В., Сафронов О.Н., Бушмакина Г.Н., (2009). Сейсмологический мониторинг района размещения Южно-Украинского энергокомплекса и предварительные результаты наблюдений. *Мониторинг геологических процессов: материалы IX Международной научной конференции*, м. Київ, К., 44–46.
2. Verbitsky S.T., Kendzera A.V., Safronov O.N., Bushmakyna G.N., (2009) Seismological monitoring of location area of South Ukrainian power supply package and preliminary results of observations [Seismologicheskii monitoring rayona razmeshcheniya Yuzhno-Ukrainskogo energokompleksa i predvaritelnye rezultaty nablyudeniya]. *Monitoring geologicheskii procesiv –*

Monitoring of Geological Processes: Materials of IX International Scientific Conference, Kyiv, 14 – 17 October 2009. K., 44–46 (In Russian).

2. Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения): монография / под. ред. В.М. Шестопалова, (2006). К., 398.

Isolation of radioactive waste in subsurface of Ukraine (problems and possible solutions) [Izolyatsia radioaktyvnykh otkhodov v nedrakh Ukrainy (problemy i vozmozhnye reshenia)]: monograph / edited by V.M. Shestopalov, (2006). K., 398 (In Russian).

3. Кузів Л., (2011). Перспективність петротипів гранітоїдів Волинського мегаблоку за їх петрофізичними характеристиками для захоронення РАВ: автореф. дис. ... канд. геол. наук: 21.06.01., К., 25.

Kuziv L., (2011). Perspectivity of petrotypes of granitoids from Volyn megablock by their petrophysical characteristics for disposal of radioactive waste [Perspektivnist petrotypiv granitoidiv Volynskogo megabloku za yikh petrofizichnyimi kharakterystykamy dlya zakhoronennya RAV]: synopsis of thesis ... candidate of geological sciences: 21.06.01, K., 25 (In Ukrainian).

4. Лаверов Н.П., Петров В.В., Полужков В.В., Насимов Р.М., Хаммер Й., Бурмистров А.А., Шукин С.И., (2008). Урановое месторождение Антей – природный аналог хранилища ОЯТ и подземная геодинамическая лаборатория в гранитах. *Геология рудных месторождений*, 50, 5, 387–413.

Laverov N.P., Petrov V.V., Poluektov V.V., Nasimov R.M., Hammer J., Burmistrov A.A., Schukin S.I., (2008). Uranium deposit Antaeus – natural analogue of SNF disposal and underground geodynamical laboratory in the granites [Uranovoe mestorozhdenie Antey – prirodnyy analog khranilishcha Oyat i podzemnaya geodinamicheskaya laboratoria v granitakh]. *Geologia rudnykh mestorozhdeniy – Geology of Ore Deposits*, 50, 5, 387–413 (In Russian).

5. Соболев Э.В., Шестопалов В.М., Белевцев Р.Я. и др., (1996). Состояние проблемы захоронения радиоактивных отходов в Украине и геологические аспекты их изоляции. *Проблемы Чернобыльской зоны відчуження*, 3, 5–16.

Sobotov E.V., Shestopalov V.M., Belevtsev R.Ya. et al., (1996)/ State of the problem of radioactive waste disposal in Ukraine and geological aspects of their isolation [Sostoyanie problemy zakhoroneniya radioaktivnykh otkhodov v Ukrainie i geologicheskie aspekty ikh izolyatsii]. *Problemy Chornobyl'skoi zony vidshchudzhennya – Problems of Chernobyl Exclusion Zone*, 3, 5–16 (In Russian).

6. Mattsson H., Thunehed H., (2004). Compilation of petrophysical data from rock samples and in situ gamma-ray spectrometry measurements. Stage 2 – 2004 (including 2002). P-Report P-04-294. Nov., 69. Oskarshamn site investigation [Electronic source]. Access mode: <http://www.skb.se/Templates/Standard 17139.aspx>.

Received by Editorial Board on 14.10.13

М. Толстой, д-р геол.-мін. наук, проф.,
Н. Костенко, канд. геол. наук, ст. наук. співроб., knv@univ.kiev.ua,
О. Шабатура, канд. геол. наук, ст. наук. співроб., sand@univ.kiev.ua,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Геологічний факультет, вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

РЕЧОВИННО-ПЕТРОФИЗИЧНА ОЦІНКА ГРАНИТОЇДІВ РАЙОНУ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ВИЗНАЧЕННЯМ ЇХ ПРИДАТНОСТІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СХОВИЩ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

Однією із важливих задач сучасної ядерної енергетики є вирішення проблеми безпечної утилізації радіоактивних відходів (РАВ) працюючих блоків атомних електростанцій (АЕС). Загальноприйнятою світовою практикою поводження із радіоактивними відходами є їх захоронення в спеціально обладнаних інженерних спорудах, серед яких підземний варіант сховищ РАВ має ряд суттєвих переваг у порівнянні з їх наземним складуванням. Але при виборі майданчика підземного сховища РАВ постає проблема обмеженого петрофону придатного для використання в якості депозитарію з точки зору їх інженерної і екологічної безпеки. Все це спонукає дослідників до прискореного визначення альтернативних ділянок, придатних для нетривалого підземного захоронення РАВ в районі діючих АЕС. Зрозуміло, що правильний вибір майданчика сховища повинен враховувати велику кількість інженерно-геологічних критеріїв висунутих до вмісних порід депозитарію. Причому ваговою властивістю, що контролює тепломасоперенос в гірському середовищі є величина і характер проникності гірських порід.

Спеціальні петрофізичні дослідження показали досить обмежене коло характеристик, які дають змогу коректно оцінювати параметр ефективної проникності гірських порід. Серед них відзначимо ємнісні, пружні і, певною мірою, радіоактивні параметри. В основі даного дослідження лягло положення про петрофізичне моделювання засобами математичної статистики провідних петротипів двох мегаблоків Українського щита (Дністровсько-Бузького і Інгульського) для оцінки їх ефективної проникності. Враховуючи значний обсяг аналітичних даних приймався комплексний характер оцінювання проникності зв'язаної системою множинних кореляційних навантажень із іншими вимірювальними характеристиками порід. Для їх систематизації і аналізу були використані кластер-аналіз і метод головних компонент у режимі кореляційної матриці. Це дало змогу класифікувати об'єкти досліджень і виконати операції оптимізації і вибору найбільш придатних геологічних об'єктів. За отриманими результатами серед 27 досліджених петротипів гранітоїдів придатними для утилізації РАВ за петрофізичними ознаками виявилися ендербіти олександрівські та граніти кіровоградські. Окрім величин ефективної проникності, перші з них можуть бути привабливими, з точки зору фізико-механічних властивостей і територіальної близькості до Південноукраїнської АЕС, тобто найменш затратні та екологічно безпечні з точки зору транспортування РАВ. Інший петротип (граніти кіровоградські) виявився оптимальним не тільки в якості репозитарію РАВ, але і для створення підземних лабораторій комплексних досліджень ізоляційних властивостей вмісних порід. Як свідчить французький досвід (передової атомно-енергетичної країни світу) подібні лабораторії можуть бути використані для оцінювання кристалічних масивів з метою тимчасового і тривалого (консервуючого) зберігання небезпечних радіоактивних відходів.

М. Толстой, д-р геол.-мін. наук, проф.,
Н. Костенко, канд. геол. наук, ст. науч. сотр., knv@univ.kiev.ua,
А. Шабатура, канд. геол. наук, ст. науч. сотр., sand@univ.kiev.ua,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
Геологический факультет, ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ВЕЩЕСТВЕННО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРАНИТОИДОВ РАЙОНА ЮЖНОУКРАИНСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИХ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Одной из важных задач современной ядерной энергетики является проблема безопасной утилизации радиоактивных отходов (РАВ) работающих блоков атомных электростанций (АЭС). Общеизвестной мировой практикой поведения с РАВ является их захоронение в специально оборудованных инженерных сооружениях, среди которых подземный вариант хранилищ РАВ имеет ряд существенных преимуществ в сравнении с их наземным складированием. Но при выборе площадки подземного хранилища РАВ возникает проблема ограниченного петрофона пригодного для использования в качестве репозитария РАВ с точки зрения их инженерной и экологической безопасности. Все это побуждает исследователей к ускоренному определению альтернативных участков, пригодных для непродолжительного подземного захоронения РАВ в районе действующих АЭС. Понятно, что корректный выбор площадки хранилища должен учитывать большое количество инженерно-геологических критериев к вмещающим породам репозитария. Причем значимым свойством контролирующим тепломасоперенос в горной среде является величина и характер проницаемости горных пород.

Специальные петрофизические исследования показали достаточно ограниченный набор характеристик корректно оценивающих параметр эффективной проницаемости горных пород. Среди них отметим емкостные, упругие и, в известной мере, радиоактивные параметры. В основе данного исследования легло положение о петрофизическом моделировании средствами математической статистики ведущих петротипов двух мегаблоков Украинского щита (Днестровско-Бугском и Ингульском) для оценки их эффективной проницаемости. Учитывая значительный объем аналитических данных принимался комплексный характер оценивания проницаемости связанной системой множественных корреляционных нагрузок с другими измеряемыми характеристиками пород. Для их систематизации и анализа был использован кластер-анализ и метод главных компонент в режиме корреляционной матрицы. Это дало возможность классифицировать объекты исследований и выполнить операции оптимизации и выбора соответствующих геологических объектов. По полученным результатам среди 27 исследованных петротипов гранитоидов пригодными для утилизации РАВ по петрофизическим признакам определены ендербиты александровские и граниты кировоградские. Кроме величин эффективной проницаемости, первые из них могут быть привлекательными, с точки зрения их физико-механических свойств, а также территориальной близости к Южноукраинской АЭС, а это соответственно влечет меньшие затраты на транспортировку РАВ и их экологическую безопасность. Другой петротип (граниты кировоградские) оказался оптимальным не только в качестве репозитария РАВ, но и также для создания подземных лабораторий комплексных исследований изоляционных свойств содержащих пород. Как свидетельствует французский опыт (передовой атомно-энергетической страны мира) подобные лаборатории могут быть использованы для оценивания кристаллических массивов с целью временного и длительного (консервирующего) хранения опасных радиоактивных отходов.