

УДК: 551.782(478.9)

Покатилов В.П.

## О некоторых вопросах тектонического строения Днестровско-Прутского междуречья

### Abstract

*In this article are approached the specific issues of the monoclinic cover of Moldavian Platform (MP), in particular of the upper levels consisted as Neogene layers: are they "folded structures" or the plunging in steep slope of the Middle Miocene sandy-clay deposits generated by exogenous processes.*

### Rezumat

*În articol sunt abordate probleme privind specificul cuverturii monoclinale din cadrul Platformei Moldovenești (PM), în special, a nivelelor superioare constituite din strate de vârstă neogenă: sunt acestea "structuri plicative" sau prezintă afundări în pantă abruptă a depunerilor nisipoase-argiloase miocen medii, generate de procese exogene?*

### Резюме

*В статье высказано мнение о платформенном (моноклиналином) залегании осадочного чехла неогеного возраста Молдавской плиты (МП): "складчатость" или крутое падение среднемиоценовых песчано-глинистых отложений обусловлено экзогенными процессами.*

### Введение

Днестровско-Прутское междуречье расположено на юго-западе Восточно-Европейской платформы (ВЕП), которая в структурно-тектоническом отношении представляет собой структуру первого порядка. Днестровско-Прутское междуречье (ДПМ) – структура второго порядка, которая в литературе известна как Молдавская плита (МП). [2]. (Рис. 1).

МП представляет собой моноклираль полого погружающуюся в южном и юго-западном направлении. Она сложена мощным (более 1000 м) осадочным чехлом фанерозойских отложений. Большая часть МП (севернее глубинного разлома Леово – Чадыр-Лунга – Белгород-Днестровский) лежит на жестком основании – архей-протерозойском кристаллическом фундаменте (КФ), который в пределах ДПМ представлен юго-западным склоном Украинского щита (УЩ). Меньшая часть, к югу от указанного разлома, расположена в зоне Предбурдужского прогиба (Предбурдужская система прогибаний – ПДСП) [1]. В этой зоне, собственно к МП, относится только верхняя часть разреза осадочного чехла (верхний мел – неоген). Нижняя часть (венд – нижний мел) представляет собой мозаичную структуру горстов и грабенов, выполненную осадочными образованиями очень большой мощности (более 6000 м), глубина залегания и возраст основания которой остаются проблематичными.

Допозднемиловая история геологического развития северной и южной частей МП протекала автономно, что нашло отражение в различии их структурных планов. С позднего мела развитие МП происходило в относительно однородном тектоническом поле, в условиях эпиконтинентального морского бассейна, в трансгрессивно-регрессивном режиме.



Рис.1. Схема тектонического районирования Днестровско-Прутского междуречья (по Воловику и др., 1988). Масштаб 1:2000000.

МП занимает промежуточное (переходное) положение между двумя крупными, тектонически разнородными структурами первого порядка: ВЕП и Карпатской горноскладчатой системой. С северо-востока и востока она примыкает к УЩ, с юга – к погребенному склону Северной Добруджи, на западе – окаймляется Карпатами.

Геологическое развитие МП в неогеновое время тесно связано с формированием и становлением Карпат (олигоцен – неоген) и постепенным поднятием УЩ. Возможно полагать, что тектоническая активность этих структур в позднем кайнозое должна была отразиться на характере осадконакопления и структуре ДПМ и МП, в частности.

Рассматривая Карпаты как островную дугу, которой на востоке противостоит жесткое основание (УЩ), логично предполагать возникновение мощных напряжений, которые должны были бы вызвать как вертикальные, так, особенно, горизонтальные тектонические деформации палеоген – неогенового осадочного чехла ДПМ. Однако многолетние разведочные и геологосъемочные работы среднего и крупного масштаба не выявили каких-либо существенных тектонических аномалий в отложениях неогенового осадочного чехла.

### **Материалы и методы**

В геологической практике картирование стратиграфических подразделений, тектонических структур и элементов (прямолинейных, кольцевых и сложной конфигурации) осуществляется прямыми и косвенными методами.

К прямым методам относятся: прослеживание геологических, тектонических и прочих образований по естественным обнажениям и искусственным выработкам (расчистки, шурфы, канавы, карьеры, скважины, шахты и пр.). Прямые методы дают наиболее достоверное, зрительно-конкретное представление о том или ином геологическом объекте.

Косвенные (второстепенные) методы могут быть инструментальные и виртуальные (отраженные в виде тех или иных явлений).

К инструментальным относятся: геофизические (наземные, скважинные), геодезические, гидро- и геохимические, аэрокосмические и др. К виртуальным - геоморфологические (резкие изменения характера рельефа), гидрографические (изменения направления русел рек, продольного профиля русла и др.), геоботанические (изменение характера растительности) и пр.

Второстепенные методы не констатируют существование того или иного геологического объекта или процесса. Они только указывают на наличие некоторого отклонения от фона, которое может быть обусловлено, а может и не быть обусловлено каким-либо конкретным геологическим объектом или процессом.

Выделение геологических объектов (процессов), особенно тектонических, по косвенным, второстепенным, признакам должно осуществляться комплексным аналитическим методом с учетом, по возможности, всех элементов природной обстановки.

К третьему виду "методов" (с позволения сказать) можно отнести искусственные или дефектологические способы изображения на чертежах геологических объектов и тектонических структур и элементов. Не секрет, что некоторые геологические (тектонические) объекты (структуры) выделяются на геологических картах и разрезах вследствие: неверной привязки обнажений, горных выработок и скважин; использования различных точек наблюдений, лежащих за пределами линии данного разреза; диспропорции горизонтального и вертикального масштабов; неверной интерпретации геологических данных (изменение фаций, мощностей и пр.) и просто как дань моде.

### Анализ и результаты

Огромный фактический материал, полученный за последние более чем полвека геологосъемочных работ среднего и крупного масштаба и геологоразведочных работ, отраженный в многочисленных геологических отчетах (геологические и структурные карты и разрезы) не дает основания для безусловного утверждения о наличии в неогеновом осадочном чехле крупных вертикальных и, особенно, тангенциальных деформаций. (Рис. 2-3).

Наблюдаемое в некоторых обнажениях и скважинах наклонное залегание песчано-глинистых отложений среднего – верхнего миоцена (сармат – мэотис, понт) [3] не говорит однозначно о их тектоническом, тем более, надвиговом генезисе.

Терригенные отложения морского и аллювиального генезиса (пески, алевриты, глины) характеризуются естественной сложной слоистостью.

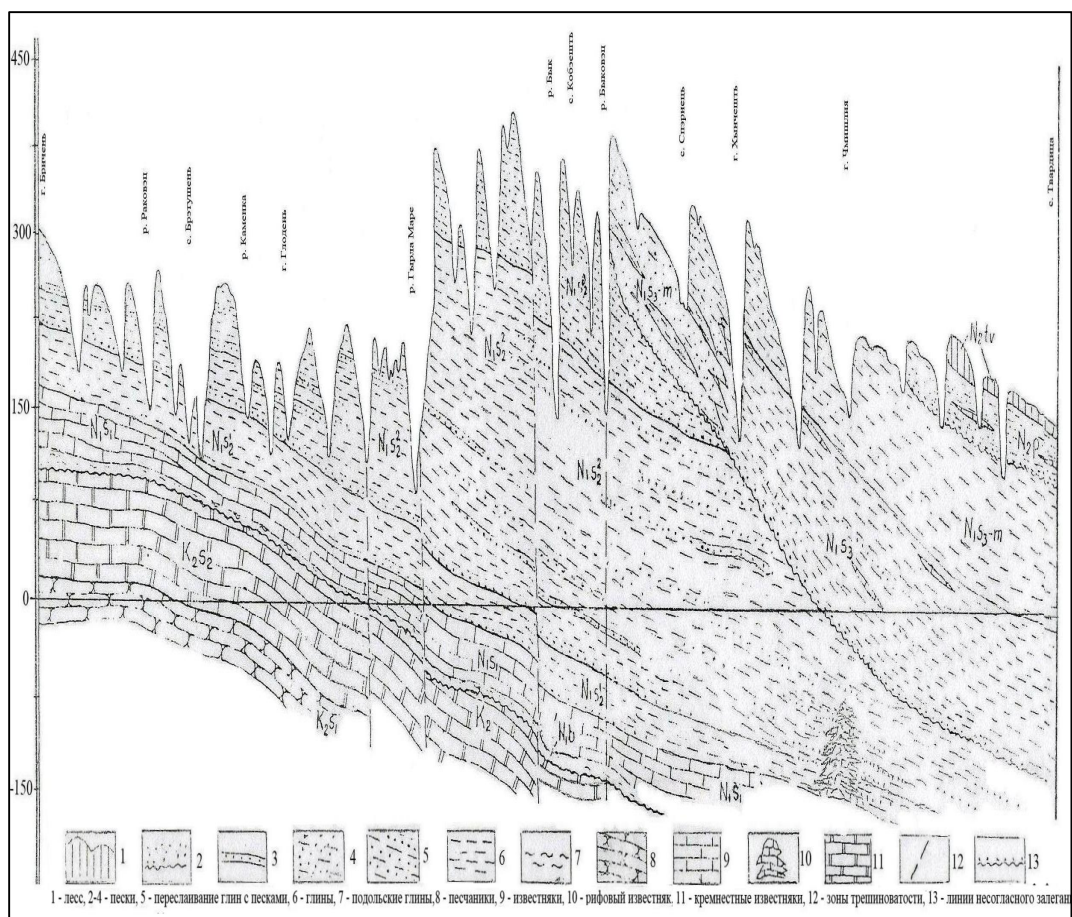


Рис.2. Геологический разрез по линии А-А<sup>1</sup>.  
 Масштаб: горизонтальный 1:1500000; вертикальный 1:7500  
 (Автор В.Н. Ткач, АGRM 1999)

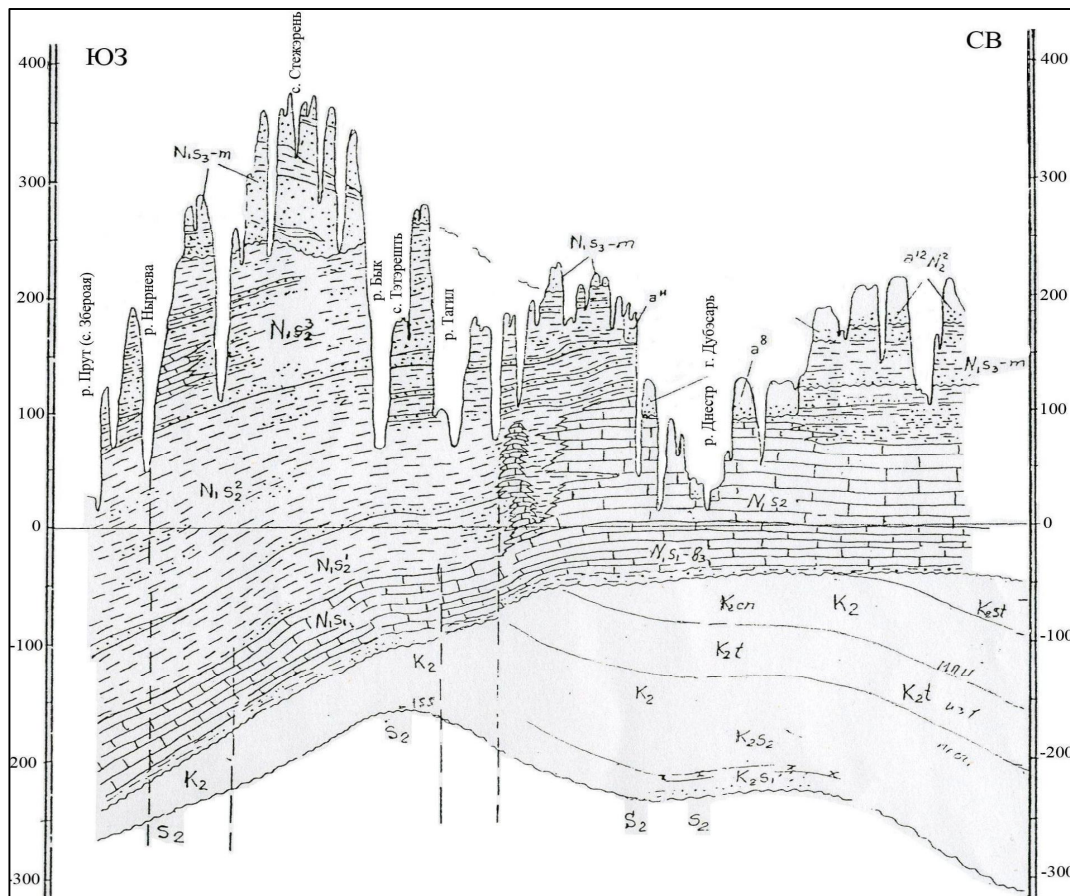


Рис.3. Геологический разрез по линии Б-Б¹.

Масштаб: горизонтальный 1:1500000; вертикальный 1:5000

(Автор В.Н. Ткач, AGRM 1988)

Аллювиальные (дельтовые, авандельтовые) отложения, которые преобладают в разрезах балтской свиты или верхнекодринской подсвиты (Барбот де Марни, 1869; Букатчук и др., 1979), распространенные в Межрифовой зоне, отличаются ясно выраженной косой, диагональной и перекрестной слоистостью, которая определяется морфологией русла и гидродинамическим характером водного потока. Глинистые отложения неогена (монтмориллонит- каолинит- гидрослюдистого состава) обладают высокой пластичностью (число пластичности  $M_p$  – от 20 до 30) и набухаемостью (до 0,20), что обусловлено пакетной структурой их кристаллической решетки. Эти свойства при определенных условиях (увлажнение) вызывают смещение и смятие глин даже при очень малых ( $3^0$ ) углах падения поверхности сместителя. Образование оползневых накоплений на больших площадях характерно для шельфовой зоны. Не случайно в Стратиграфическом кодексе [4] они выделены в особую группу пород – олистостромы. Углы падения слоев в этих образованиях могут быть самые разнообразные (от  $0^0$  до  $90^0$ ), вплоть до опрокинутых складок.

### Выводы и рекомендации

Критерием выделения тектонических объектов любого типа служит положение в пространстве регионального репера: его выдержанность (непрерывность) по простиранию и падению. В границах МП такими реперами являются подольская свита и диатомитовый горизонт. С достаточной надежностью можно говорить о наличии тектонических (вертикальных) нарушений глубокого заложения, захватывающих низы неогеновой толщи, только в зоне Приднестровских разломов (северо-восточное Приднестровье) и Нижнем Припутье, которые зафиксированы прямыми методами (Рис. 4-6).

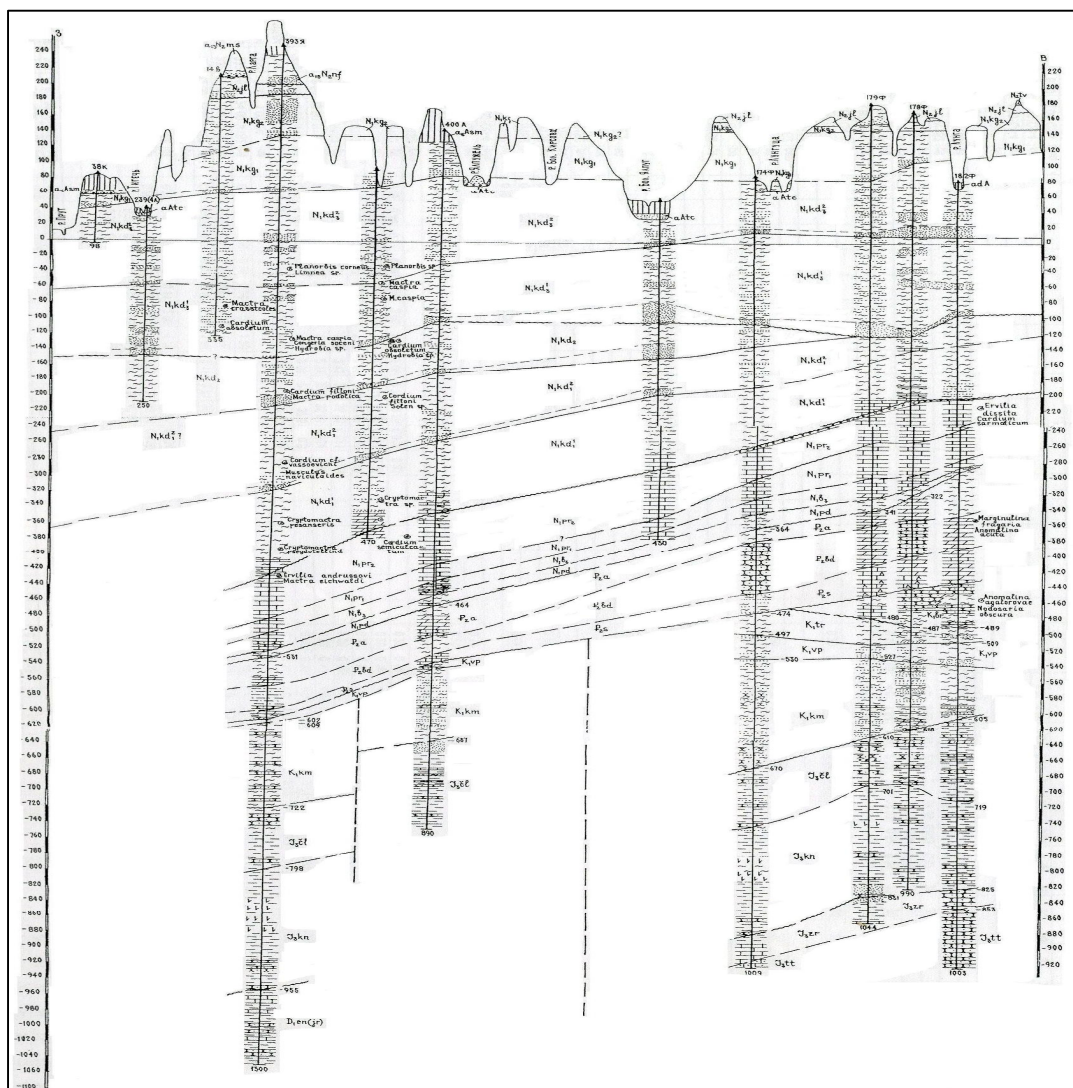


Рис.4. Геологический разрез по линии В-В<sup>1</sup>. (Конев и др. 1995)

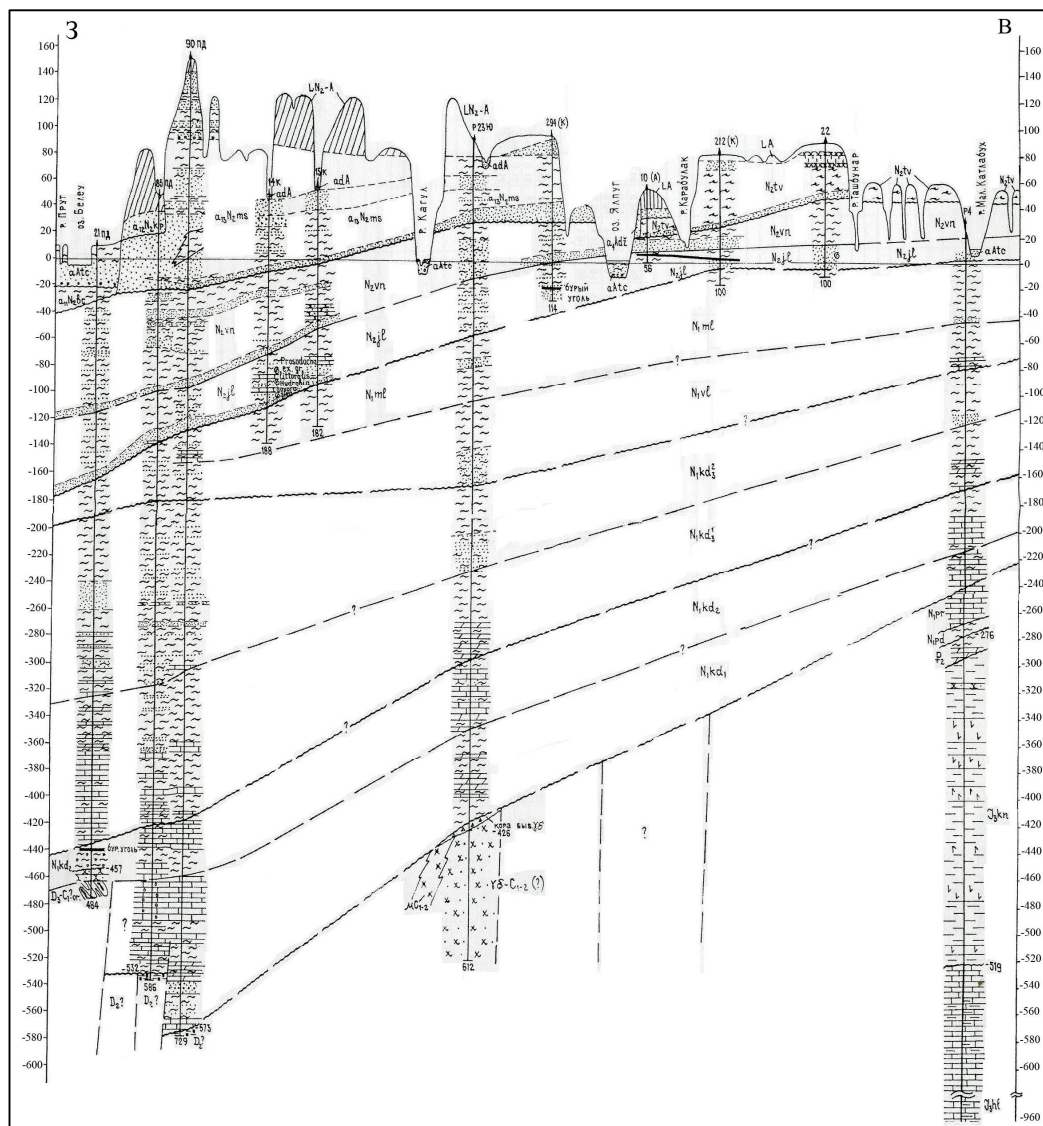


Рис.5. Геологический разрез по линии Г-Г<sup>1</sup>. (Конев и др. 1995)

Следует отметить, что даже такие "классические" разломы как Коржеуцкий, Реуцельский, Ботнинский и некоторые другие не подтверждены прямыми методами и являются гипотетическими. Поэтому ко всяким выводам о наличии тектонических структур в осадочном чехле Молдавской плиты, основанных на косвенных критериях, надо подходить весьма критически. Огромный материал геологосъемочных работ, отраженный в многочисленных геологических отчетах, не подтверждает концепции, что МП в неогене была сферой проявления активных тектонических процессов. Залегание неогенового осадочного чехла МП практически моноклиальное со слабым уклоном на юг и юго-запад. Это наглядно демонстрируют прилагаемые геологические разрезы (Рис. 2-6), которых составлено великое множество.

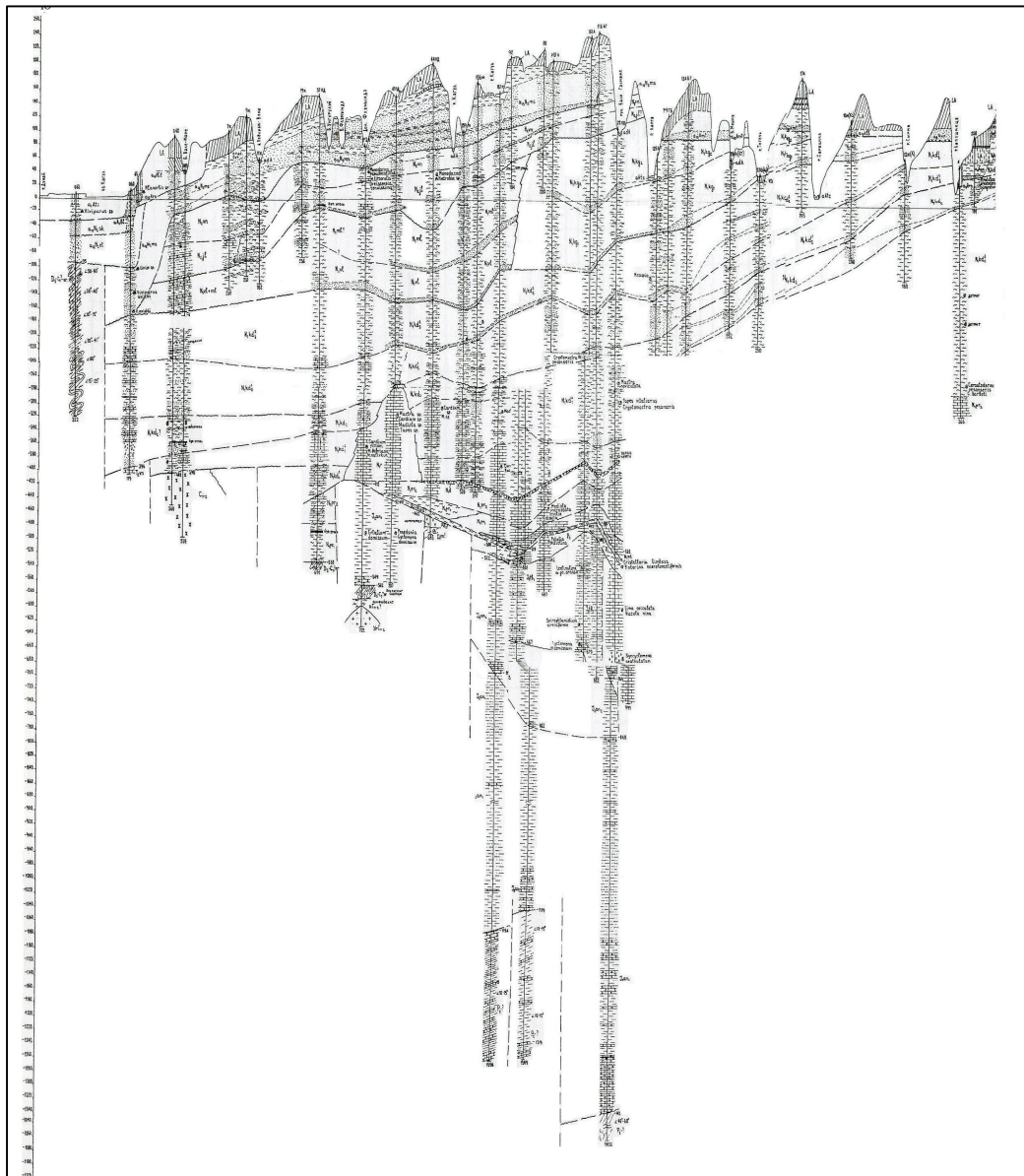


Рис.6. Геологический разрез по линии Д-Д<sup>1</sup>. (Конев и др. 1995)

На сегодняшний день нет достаточно надежных данных для утверждения, что "сарматские отложения сильно затронуты тектоническими движениями горизонтального сжатия". В каждом конкретном случае необходимо всестороннее рассмотрение причин наклонного залегания пород, которое может быть обусловлено разными факторами. При использовании керна необходимо ориентирование керна по странам света и пространственная корреляция литологически однородных одновозрастных отложений. Только на основании комплексного анализа возможны относительно достоверные выводы о связи наклонной слоистости с тектоникой.



Геологическая наука не есть застывший феномен. Разрабатываются новые методики, создаются более совершенные, высокоэффективные средства изучения земных недр, поэтому периодически возникает необходимость пересмотра прежних концепций, доизучения некоторых объектов, которым ранее не уделялось внимания по тем или иным причинам.

Не случайно, инструкциями по составлению и подготовке к изданию геологических карт разного содержания, предусматривалось проведение доизучения ранее заснятых площадей, ревизия и переиздание геологических карт с периодичностью в 20-25 лет в связи с накоплением нового материала, появлением новых геологических воззрений, новых технических средств и методик.

К настоящему времени на всей территории Республики Молдова выполнены работы по доизучению ранее заснятых площадей масштаба 1: 200000, результаты которых (отчеты) находятся в Государственном геологическом фонде. Они ждут своей реализации в издании.

Работы по подготовке к изданию и издание геологических карт масштаба 1: 200000 ведется во многих республиках бывшего СССР, в том числе и у наших ближайших соседей – Украины и России. Аналогичные работы выполнены в Румынии. Уже давно назрела необходимость включиться в этот благородный процесс Республики Молдова. Это необходимо как для нынешнего, так и для будущих поколений исследователей. Это, в конце концов, важно и для утверждения международного геологического авторитета республики.

### Литература

1. Воловик В.Т., Гавриш В.К., Няга В.И. и др. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности Северо-Западного Причерноморья. Геол. журнал, № 2, 1988. Киев, с. 48-60.
2. Сафаров Э.И., Эдельштейн А.И. Тектоника. Геология СССР. Т. XLV. Молдавская ССР. Москва, 1969, с. 255-262.
3. Слюсарь Б.С., Борщ С.А., Кристя И.С. О стиле тектоники неогенового осадочного комплекса северной части территории Республики Молдова. Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al Academiei de Științe a Moldovei. № 2, 2012, с. 5-12.
4. Стратиграфический кодекс России. ВСЕГЕИ. С.-Петербург, 2006, с. 35-36.
5. Конев Ю.М. и др. «Комплексное геологическое, гидрогеологическое, инженерно-геологическое доизучение площадей и геоэкологическое картирование масштаба 1:200000 листов L-35-XVII, L-35-XXIII и L-35-XXIX», Кишинёв 1995г. МГГФ в 3 книгах, граф. приложения.
6. Букатчук П.Д., Конев Ю.М., Покатилов В.П., Соколова В.В., Ткач В.Н. О расчленении пород среднего сармата к западу от Кишинёвско-Каменской рифовой гряды. В кн: *Геологическая структура и рельеф Молдавии*. Кишинёв «Штиинца», 1979. стр. 34 –48.
7. Барбот де Марни Н., Геологический очерк Херсонской губернии. С. Петербург 1869. 180 с.
8. Обстановки осадконакопления и фации. Под редакцией Рединга. Москва «Мир», 1990 г. 2 Т., стр. 43-57.

*Primit la redacție –4 iulie 2013*

CZU 551.4: 624.131

*Miștea M. \*, Sîrodoev Gh. \*, Mițul E. \**

## **Condițiile de dezvoltare ale proceselor geomorfologice din cadrul Podișului Dealurile Ciulucurilor**

### **Abstract**

*In the article there are characterized development conditions and distribution of modern exogenous geomorphological processes (ravines, landslides, crumbling and scree) within Ciuluc Hills heights. These processes were assessed from the viewpoint of triggering dangerous environmental and geomorphologic situations. There were proposed measures to minimize the negative impact of these processes at the regional scale.*

### **Rezumat**

*Este prezentată caracterizarea generală a Podișului Dealurilor Ciulucurilor, evidențiate condițiile de dezvoltare ale principalelor procese de modelare a reliefului (eroziunea de adâncime, alunecările de teren, surparea și grohotișul) și gradul de afectare de către aceste procese distructive a teritoriului podișului. Sînt propuse măsuri de minimizare a impactului acestor procese la scara regională.*

### **Резюме**

*В статье описаны условия формирования и развития в пределах Чулукской возвышенности современных экзогенных геоморфологических процессов (овраги, оползни, обвалы и осыпи). Оценивается их роль в формировании неблагоприятных экологических и геоморфологических ситуаций, предлагаются конкретные мероприятия по минимизации их негативного воздействия.*

### **Introducere**

Ravenele și alunecările de teren sînt principalele procese exogene de morfogeneză care avînd o extindere regională determină evoluția contemporană a reliefului Moldovei; procesele de surpare-grohotiș au o răspîndire relativ restrînsă și sînt caracteristice cu precădere pentru părțile nord-vestică și nord-estică ale republicii. Dezvoltarea intensă a acestor procese duce la fragmentarea reliefului, la deformarea și distrugerea învelișului de sol, obiectivelor civile și industriale, comunicațiilor de suprafața și subterane și a multor altor edificii ingineresti. Una din subregiunile geomorfologice cu dezvoltare activă a proceselor exogene de morfogeneză o constituie Dealurile Ciulucurilor – partea de nord a Podișului Moldovei Centrale. Evidențierea rolului condițiilor și a factorilor geologo-geomorfologice de bază în evoluția proceselor erozionale, de alunecare, surpare-grohotiș este scopul actualei lucrări.

---

\* Institutul de Ecologie și Geografie al AȘM

### Obiectul și metoda de cercetare

Drept obiect de cercetare a servit subregiunea de podiș Dealurile Ciulucurilor, particularitățile reliefului și ale proceselor actuale de modelare ale acestuia. La baza studiului au fost puse abordările metodice ale lui A.I. Spiridonov [1] și Iu.G. Simonov [2] referitor la analiza morfologică a reliefului prin studierea comparativă a aspectului exterior ale acestuia care se caracterizează prin parametri morfologici și morfometrici. Pe lângă aceasta, au fost larg folosite tehnologiile geoinformaționale, setul de soft-uri aplicative MapInfo [3] cu ajutorul cărora au fost întocmite modelele spațiale ale structurii geologice, condițiilor geomorfologice și a răspîndirii alunecărilor de teren și a ravenelor. Structura elaborată și baza de date creată, privind particularitățile morfologice de manifestare a proceselor geomorfologice exogene au servit drept suport informațional pentru obținerea statisticilor ce caracterizează Dealurile Ciulucurilor.

### Rezultatele cercetării

**Caracterizarea generală.** Dealurile Ciulucurilor au o suprafață de 1667,7 km<sup>2</sup> și sînt așezate în partea centrală a Moldovei. Sub aspect administrativ Dealurile Ciulucurilor intră mai mult sau mai puțin în componența a cinci unități administrative – mun. Bălți, raioanele Fălești, Florești, Sîngerei și Telenești (Tab.).

Tabelul

Raportul între suprafețele unităților administrative și a Dealurilor Ciulucurilor

Unitatea administrativă	Ponderea unității în cadrul podișului, %	Ponderea podișului în cadrul unității, %
mun. Bălți	11,1	0,6
r. Florești	25,5	16,9
r. Fălești	20,7	13,2
r. Sîngerei	84,5	51,5
r. Telenești	34,7	17,8

Raionul Sîngerei, cum se vede, aproape în întregime este situat în cadrul podișului examinat (fig. 1) și ocupă mai mult de jumătate (51,5 %) din suprafața lui. Ponderea teritoriului mun. Bălți în cadrul Podișului alcătuiește doar 11,1 %, ceea ce este egal cu 0,5 % din suprafața acestuia.

*Sub aspect fizico-geografic* Dealurile Ciulucurilor la nord se învecinează cu Cîmpia Cuboltei, la est – cu Podișul Nistrului, la vest – cu Cîmpia Prutului de

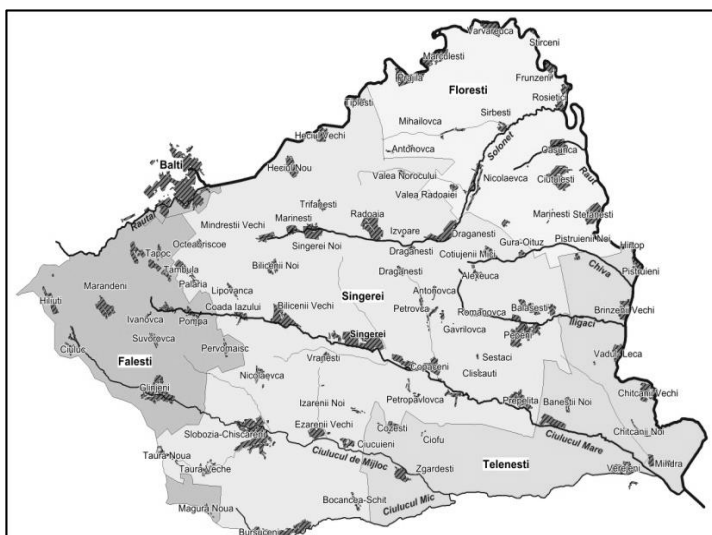


Fig. 1. Unitățile administrative situate în cadrul Dealurilor Ciulucurilor

Mijloc și la sud - cu Podișul Codrilor Bîcului [4]. O trăsătură specifică Dealurilor Ciulucurilor este dominarea în cadrul acestuia a șirurilor dealuroase ușor înclinate, întinse în direcția sublatitudinală. Cota absolută maximă este de 350,1 m (D. Rediu). Relieful podișului este modificat puternic de procesele exogene – versanții văilor și vîlcelelor sînt tăiați de ogașe, ravene și deformați, în mare măsură, de alunecări de teren, mai ales în partea lui sud-vestică. Adîncimea fragmentării erozionale a reliefului este de 100-250 m [5]. Principalele elemente de relief ale acestui podiș sînt interfluviile plate, deluroase și reziduale, versanții și lunca văilor, precum și versanții și fundul vîlcelelor. În cadrul teritoriului luat în studiu au fost evidențiate trei landșafturi naturale [6]:

- Podișul Solonețului deluros și rezidual constituit din alternanța stratelor de argilă și nisipuri;
- Podișul Măgurii de alunecare și rezidual alcătuit preponderent din argile și aleurite;
- Interfluviile Ciulucurilor de șiruri și reziduale, argiloase.

*Clima* este temperat-continentală, cu ierni blînde și veri calde îndelungate [7]. Temperatura aerului medie anuală oscilează între  $8,5^0 - 9^0$ . Cantitatea precipitațiilor în medie pe an variază în limitele 450 – 500 mm.

*Rețeaua hidrografică* a Podișului este destul de dezvoltată desimea ei fiind de  $0,48 \text{ km}^2$ . Rîurile principale care străbat acest teritoriu sînt Solonețul, Ciulucul de Mijloc și Ciulucul Mare (fig. 2); rîurile Răut și Ciulucul Mic servesc drept limite ale podișului studiat.

Răutul este în același timp și cel mai mare rîu din Moldova bazinul căruia se află în întregime în limitele republicii. O trăsătură distinctă a acestui rîu pe porțiunea

Dealurilor Ciulucurilor este prezența meandrelor mari și pătrunderea adîncă în rocile *in situ* a albiei. Valea în ansamblu este largă ( $5-10 \text{ km}^2$ ), cu versanți domoli și moderat înclinați, tăiați de ravene adînci și vîlcele, cu o formă de trapez în profil transversal. Lunca Răutului este bilaterală, cu precădere mlăștinoasă, iar malurile albiei sînt foarte înclinate cu o înălțime de pînă la 2 m [8]. În cursul mijlociu unde Răutul intersectează roci dure, valea capătă aspectul unui canion, cu versanți prăpăstioși cu o luncă relativ îngustă [8]. Celelalte rîuri din cadrul podișului sînt afluenți ai Răutului, de diferit ordin.

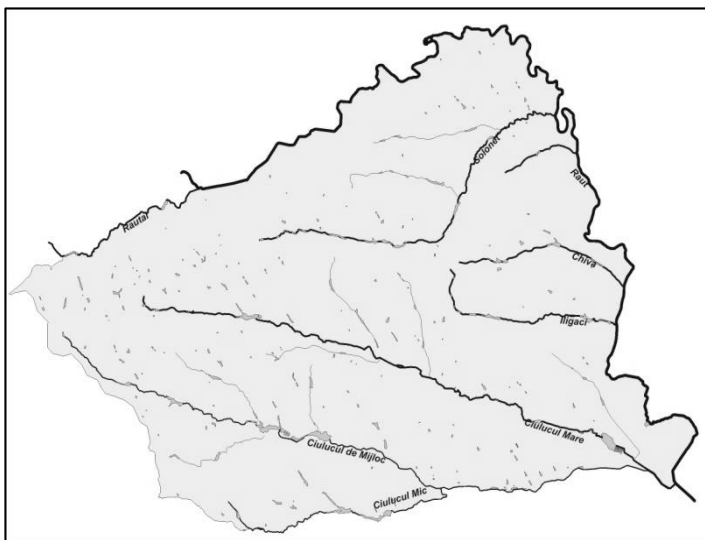


Fig. 2. Rețeaua hidrografică a Podișului

Ciulucul Mare este situat în întregime în cadrul podișului studiat și obîrșia avînd la 2 km nord-vest de s. Beleuți (fig. 3). Lungimea rîului este de 62 km. Valea lui este slab sinuoasă, asimetrică, cu versantul stîng mai domol și mai puțin deformat de alunecări.

Lățimea văii variază între 0,5 și 5 km, iar a luncii – cu precădere între 2 și 3 km. Versanții văii sînt convecși, mai rar rectilini și concavi, cu o înălțime de la 45 pînă la 230 m. Albia rîului este stabilă, la maluri adesea cu rogozișuri, cu fundul nămolos și cu malurile abrupte. Suprafața bazinului este puternic fragmentată de ravene, vîlcele și de văile afluenților acestuia.

Rețeaua hidrografică este bine dezvoltată - desimea

ei medie este de  $0,55 \text{ km/km}^2$ . În limitele bazinului există 58 curenți de apă, cu o lungime totală de 284 km, printre care 5 – cu o lungime de peste 10 km [8].

Ciulucul de Mijloc, obîrșia căruia se află în prejma s. Ciuluc, are o lungime de 46 km. Bazinul lui este localizat într-un podiș mediu deluros, dezmembrat de ravene și vîlcele. Cotele absolute ale suprafeței oscilează între 50 și 350 m, iar înălțimea relativă atinge 270 m. În bazin există peste 50 curenți de apă cu o lungime totală de 242 km, printre care numai doi au lungimi de 11 și 12 km. Valea Ciulucului de Mijloc este asimetrică, în partea inferioară a cursului are o lățime pînă la 3 km; versanții ei sînt concavi, fragmentați, de la puțin pînă la moderat înclinați.

Pe teritoriul Dealurilor Ciulucurilor sînt construite peste 300 iazuri și 5 lacuri de acumulare (pe Ciulucul Mare, Ciulucul de Mijloc și Ciulucul Mic), suprafața celui mai mare este de 116 ha. Principala lor destinație este irigarea și piscicultura.

**Structura geologică.** În structura geologică a podișului (deasupra bazei erozionale) iau parte formațiunile neogene și cuaternare. Neogenul este reprezentat prin subetajele Volhinian și Bessarabian ale Miocenului și etajele Kimmerian și Akchagylian ale Pliocenului.

Volhinianul ( $N_{1v}$ ) este compus din diverse calcare, care conțin strate subordonate de gresii, nisipuri, marne și argile carbonatice, și numai în partea superioară (mai restrînsă) a secțiunii predomină marnele cu strate de argile carbonatice cu diatomee și rar de asemenea cu strate de calcare [10,11]. Depozitele acestui subetaj sînt dezgolate în valea Răutului pînă la s. Sărătenii Vechi și în partea inferioară a văilor afluenților acestuia – Soloneț, Chiva, Iiligaci (fig. 4). Versanții formați din aceste roci au un aspect abrupt.

Bessarabianul se divizează în două subdiviziuni – inferioară și superioară. În cadrul celei inferioare ( $N_{1bs_1}$ ) după particularitățile litologice și de facies se disting trei pachete de sedimente. Pachetul inferior este compus din argile puternic carbonatice (la bază cu strate de marne și diatomite), după care urmează argile aleuritice cu 1-2 strate de calcare iar mai sus, cu lamine și strate de nisip fin granulos. Pachetul mijlociu este prezentat prin aleurite și nisipuri fin granuloase cu strate subordonate de argile auleritice. Pachetul superior este alcătuit din nisipuri mărunt și medii granulare cu strate de gresii, calcare și argile.

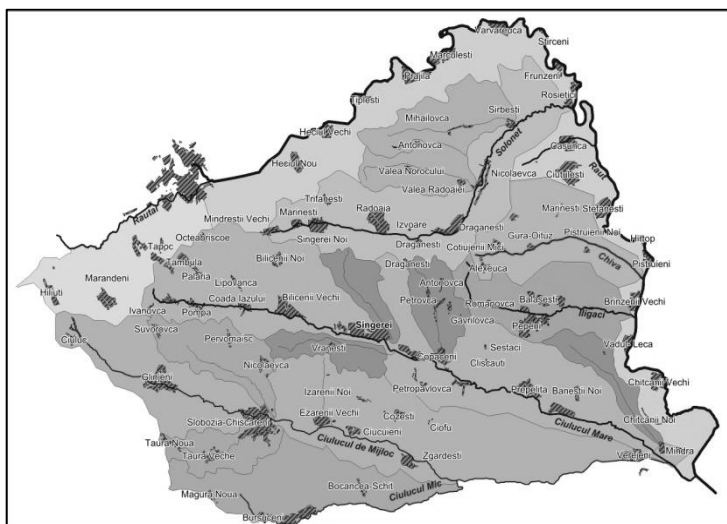


Fig. 3. Bazinele rîurilor

Depozitele subdiviziunii inferioare a basarabianului sînt extinse pe întreg teritoriul podișului, formînd versanții vîlcelor și ai văilor afluenților Răutului și partea superioară a versantului drept al acestuia.

Subdiviziuni superioară a basarabianului ( $N_1bs_2$ ) este constituită din nisipuri, aleurite și argile, în care se întîlnesc strate și lentile de calcare și gresii cu grosime mică. La baza formațiunii adesea se află un strat de bolovănișuri, alcătuit din galetе mai puțin rulate de calcar, rar de gresii și argilă. Grosimea acestui strat pe alocuri atinge 1,5 - 2 m. Formațiunea superioară are o extindere limitată, se întîlnește sub formă de petece pe sectoarele înalte, cu precădere în partea estică a podișului, situată între rîurile Soloneț și Ciulucul Mic (fig. 4).

Kimmerianul este prezent prin orizontul superior al subetajului mediu ( $N_2^2k_2^2$ ) și orizontul inferior al subetajului superior ( $N_2^2k_3^1$ ), cărora corespunzător le sînt atribuite terasa a XV-a și a XIV-a de versant a Paleo-Nistrului [11]. De regulă, în partea inferioară a terasei sînt dispuse nisipuri slab sortate, cu prundiș și galetе, cu pietriș de jasp carpatic (facies de albie), iar în partea superioară – din aleurite și argile adesea cu stratificație orizontală

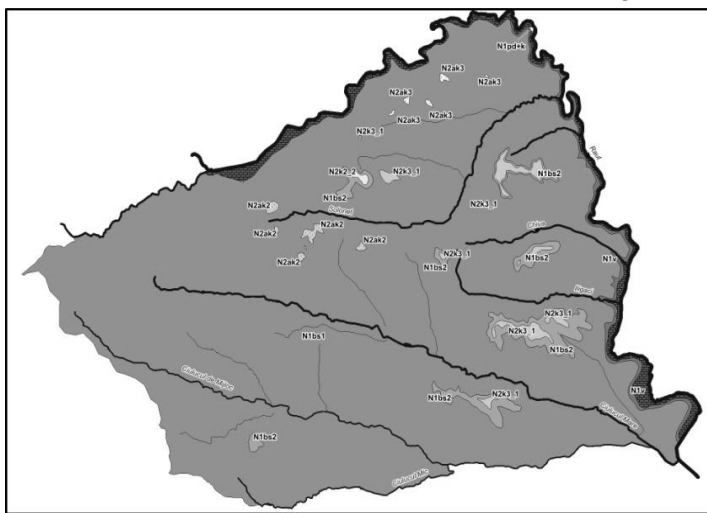


Fig. 4. Harta geologică a Dealurilor Ciulucurilor (după [8])

(facies de luncă). Aceste depozite aluviale în alcătuirea geologică a podișului joacă un rol neînsemnat, fiindcă au o grosime relativ mică (pînă la 10 m) și răspîndire restrînsă. Depozitele terasei a XV-a au fost stabilite doar într-un singur loc – pe D. Rădoaia. Deși terasa a XIV-a se caracterizează prin mai multe areale de extindere și acestea sînt mai mari ca suprafață, ea este dezvoltată cu precădere în partea vestică a podișului, unde ocupă creasta interfluviilor afluenților Răutului dintre rîurile Soloneț și Ciulucul Mic.

Akchagylianul este prezentat prin subetajul mediu ( $N_2^3ak_2$ ), căruia îi este atribuită terasa a XI-a Paleo-Nistrului. Depozitele acestei terase s-au păstrat sub forma de petece mici și rar întîlnite pe interfluviu din cursul superior al Solonețului și Ciulucului Mare și pe interfluviul Răut-Bîrsan (afluent al Solonețului).

Cuaternarul în cadrul podișului examinat este compus din formațiunile secțiilor Eopleistocen, Pleistocen și Holocen.

Eopleistocenul este prezentat prin subetajele inferior ( $Q_1E_1$ ) și superior ( $Q_1E_2$ ). Primului subetaj îi este atribuită partea superioară a terasei X-a și terasa a IX-a de versant a Nistrului. Aluviunile acestor terase sînt evidențiate numai în partea de nord a podișului – pe interfluviul Răut-Bîrsan (afluent al Solonețului), unde ele se întîlnesc foarte rar și în formă de petece restrînse. Subetajul superior al Eopleistocenului înglobează depozitele teraselor a VIII-a și VII-a, stabilite în partea vestică a podișului – în zona adiacentă văii actuale a Răutului. Areele acestor depozite au o formă preponderent alungită și orientată paralel văii actuale a Răutului. În afară de această zonă se află arealul terasei a VIII, situat pe interfluviul Soloneț-

Bîrsan, nu departe de confluența lor, și unele areale ale terasei a VII-a, aflate pe partea sudică a interfluviilor afluenților de stînga din cursul inferior al Ciulucului de Mijloc.

Pleistocenul este reprezentat prin terasele VI-I de versant ale Nistrului. Areele ale tuturor acestor terase se întîlnesc în extremitatea estică a podișului – pe versantul drept al văii Răutului. Mai bine aici este prezentată terasa a V, arealele cărei sînt mai frecvente și mai mari, îndeosebi în partea nord-estică a podișului. Această terasă a fost stabilită de asemenea pe partea estică a interfluviului Ciulucul Mare – Ciulucul de Mijloc din apropiere cu confluența acestor râuri. În partea nordică a podișului sînt dezvoltate numai primele trei terase ale Răutului, între care după frecvența arealelor și mărimea lor primul loc revine terasei a I-a. În valea Solonețului sînt răspîndite terasele a II și I-a de versant ale acestui rîu. Pe lîngă terase de această vîrstă pe versantul stîng al văii Ciulucului Mare, în cursul inferior al acestuia, a fost stabilit un areal al terasei a III-a, iar a văii Ciulucului de Mijloc – al terasei a IV-a.

Interfluviile, pe alocuri și partea superioară a versanților, sînt acoperite cu formațiuni nedivizate eolian-deluviale ale Eopleistocenului superior-Holocenului și de eluviu ale Cuaternarului, iar versanții sînt înveliți cu deluviu nedivizat de vîrstă eopleistocen – holocenă și coluviu cuaternar de asemenea nedivizat.

**Relieful** podișului este prezentat prin următoarele elemente de bază: interfluvii, versanți ai văilor și vîlcelor, lunci ale văilor și funduri ale vîlcelor (fig. 5).

Interfluviile ocupă 18,2 % din teritoriul podișului, luncile rîurilor și fundurile vîlcelor – 16,5 % și versanții de diferită geneză – 65,3 %. Valorile cotelor absolute ale luncilor rîurilor și fundurile vîlcelor oscilează de la 31,3 pînă la 145,6 m, constituind în medie 94 m. Înălțimea interfluviilor variază între 107 și 350 m, iar în medie este egală cu 209,7 m. Deci înălțimea medie a versantului este de 115,7 m.

Văile rîurilor mici din cadrul Interfluviului Răut – Soloneț sînt asimetric: versanții sud-estici și sudic sînt domoli și versanții nord-vestici relativ abrupti. Asemenea morfologie este caracteristică și pentru interfluviul Soloneț-Ciulucul Mare. Aceste trăsături atribuie reliefului Dealurilor Ciulucurilor chipul de cuestă. Fragmentarea orizontală în cadrul podișului este de 1,47 – 1,82 km/km<sup>2</sup> [9]. Pentru văile rîurilor este caracteristic profilul transversal asimetric, iar versanții de dreaptă sînt scurți, panta lor în apropiere de interfluviu este de 10-12<sup>0</sup>. Partea superioară a acestor versanți adesea este complicată de

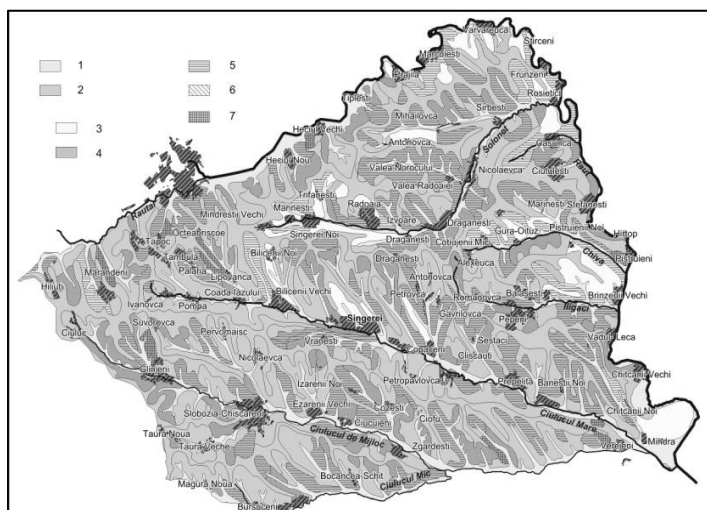


Fig. 5. Elementele de relief și gradul de erodare a versanților.

*Elementele de relief:*

*1 – luncile și fundurile vîlcelor; 2 – interfluviile, versanții;*

*3 – erozional; 4 – de alunecare.*

*Gradul de erodare:*

*5 – slab, 6 – moderat; 7 – puternic*

abrupturile de desprindere ale alunecărilor de teren vechi și actuale. Versanții de stînga ai văilor sînt mai puțin înclinați, panta lor în medie constituie  $3-6^{\circ}$ . Versanții, alcătuiți din roci dure (calcare, gresii) se evidențiază prin panta sa mare care atinge valoarea de  $60-70^{\circ}$ .

Geneza versanților este preponderent de alunecare care ocupă peste 54% din teritoriul podișului. În cadrul acestor versanți terenurile slab și mediu erodate constituie 45 mii ha iar cele puternic erodate – circa 2 mii ha. Versanților de geneză erozională revine în jur de 11 % din suprafață, din care circa 7,4 mii ha prezintă terenuri slab erodate și 1,2 mii ha – terenuri moderat erodate (fig. 5). Versanții de surprare-grohotiș ocupă doar 0,2 % din suprafața podișului.

**Procesele geomorfologice exogene principale.** În modelarea actuală a reliefului podișului un rol important au procesele erozionale, de alunecare și de surprare-grohotiș.

*Eroziunea liniară* în cadrul podișului este prezentată de 1032 ravene (fig. 6), din care 805 sînt ravene de versant și 227 de fund. Lungimea totală a ravenelor este egală cu 369 km, iar lungimea medie a unei forme – cu 360 m. Frecvența ravenelor constituie 61 rav./100 km<sup>2</sup>.

Compararea indicilor frecvenței a diferitor tipuri de ravene pune în evidență faptul că ravenelor de versant le este caracteristică o frecvență mai mare decît celor de fund. Acest fenomen își găsește explicația în deosebirile genetice între acele două tipuri de ravene [13]. Numărul ravenelor de fund este limitat în mare măsură de existența formelor erozionale vechi (16,5 % din suprafață), atunci cînd suprafața favorabilă dezvoltării ravenelor de versant constituie peste 60 % din suprafața podișului. Cel mai mult afectați de ravene sînt versanții Ciulucului Mare și Ciulucului de Mijloc în cursurile lor inferior și mijlociu. Prin cel mai mic număr de ravene se evidențiază bazinele afluenților mici ai r. Răut.

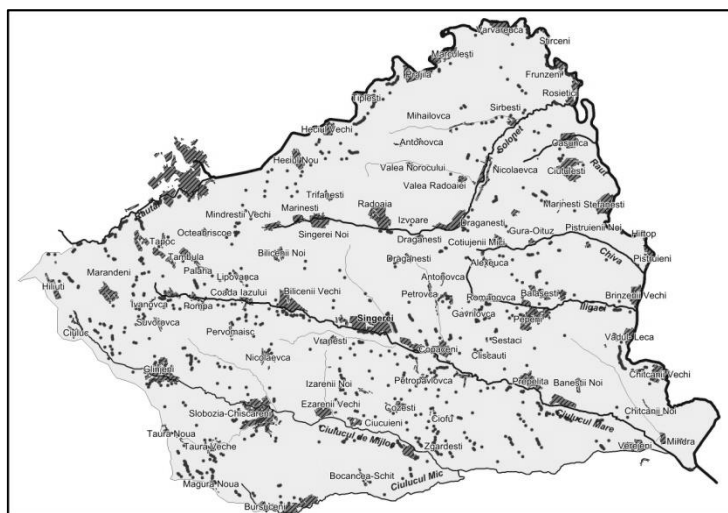


Fig. 6. Distribuția ravenelor

*Procesele de alunecare.* Mai mare parte a podișului se caracterizează prin gradul mijlociu de afectare de alunecări; frecvența lor în cadrul acestuia variază între 20 și 30 alunecări pe 100 km<sup>2</sup> [14, 15]. În jumătatea vestică a podișului valoarea acestui indice depășește mărimea de 50 alun./100 km<sup>2</sup> (fig. 7). De remarcat că majoritatea alunecărilor se dezvoltă pe terenuri cu destinație agricolă; afectarea acestor terenuri de alunecări constituie 2 – 3 % din suprafața lor. În valea râului Chiva sînt afectați de alunecări în fond versanții cursului superior și mijlociu, unde au fost evidențiate 11 alunecări cu o suprafață de la 5 pînă 79 ha. Valea r. Ciulucul Mare este afectată de alunecări preponderent în cursul inferior al râului, unde există 62 de alunecări, suprafața cărora oscilează de la 1 pînă la 119 ha. În cursul superior al Ciulucului Mic este afectat de alunecări atît versantul de dreapta, cît și cel de stînga, precum și versanții văilor afluenților de stînga a râului din aceasta parte de curs.



Versanții văii Ciulucul de Mijloc sînt afectați de alunecări cu precădere în cursul superior al râului; suprafața alunecărilor variază aici între 1,5 – 53 ha. Cîteva alunecări au fost înregistrate pe versanții văii r. Soloneț cu o suprafață de pînă la 18 ha. Alunecări separate se întîlnesc pe versanții văilor afluenților mici ai Răutului. La marginele estică și nord-estică a podișului, unde în alcătuirea versanților iau

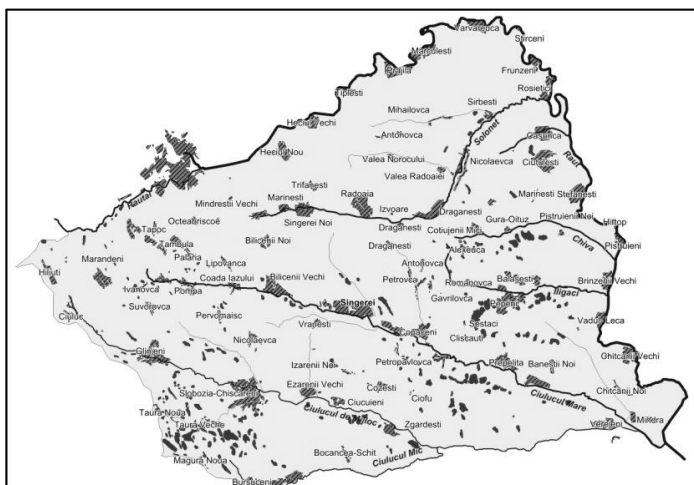


Fig. 7. Distribuția alunecărilor de teren

parte calcarele, alunecări de teren practic nu se întîlnesc. Numai acolo, unde peste calcare sînt dispuse argile cu strate de nisip acvifer se constată alunecări suspendate.

*Procese de surpare-grohotiș* evoluează pe versantul drept al văii Răutului începînd aproximativ de la locul vizavi de gura r. Camenca și pînă la r. Chiva. Aici versantul este compus aproape în întregime din roci dure (calcare volhiniene) și este înalt, abrupt, modelat de procesele de surpare-grohotiș. Versanții de acest tip genetic sînt dezvoltați de asemenea în văile râurilor Soloneț și Chiva din cursul lor inferior. Aproximativ 75 % din suprafața acestor versanți (circa 400 ha) este afectată de procesele active de surpare-grohotiș cu formarea la poalele lor a conurilor și trenelor nu prea mari de grohotiș. Restul versanților este acoperit cu formațiuni deluviale și de surpare-grohotiș care la rîndul lor adesea sînt acoperite cu vegetație ierboasă și arboricolă și cu mult mai rar cu cea de pădure; pe acești versanți procesele de surpare și grohotiș se dizolvă foarte slab sau de loc nu se manifestă.

**Măsuri de prevenire a proceselor geomorfologice exogene.** Pentru a evita activarea proceselor geomorfologice distructive înainte de a purcede la valorificarea versantului este necesar de a determina stabilitatea acestuia, aceasta reieșind din structura geologică, condițiile hidrologice, geomorfologice și de scurgere a apelor de suprafață. În caz de necesitate vor fi luate măsuri pentru consolidarea versantului și preîntîmpinarea dezvoltării proceselor geomorfologice nefavorabile.

Diversitatea cazurilor de formare a ravenelor determină un număr mare de modalități de combatere a acestora. Pentru stoparea creșterii ravenelor cel mai des sînt utilizate, fiind în același timp puțin costisitoare, ușor executabile și eficiente, următoarele măsuri [16, 17]:

- împădurirea zonelor adiacente vîrfului ravenei sau vîlcelei;
- dispersarea sau și evacuarea scurgerii de suprafață de la vîrfurile ravenelor prin construirea unui val de pămînt.

Împădurirea ulterioară a ravenelor și mai mult le consolidează; în afară de aceasta pădurea este unul din modurile de folosire economică a terenurilor ravenate [16].

Măsuri de combatere a alunecărilor [18, 19, 20] se împart în două grupe: pasive și active.

La măsurile active se referă cele cu caracter restrictiv și de protecție:

- interzicerea executării de tăieri a versanților cu pericol de alunecare, mai ales în partea lor bazală;
- neadmiterea măririi presiunii asupra versantului, îndeosebi în partea lui superioară (prin amplasarea diferitor construcții, depozitărilor de pământ, etc.);
- interzicerea construirii pe versanți a edificiilor, obiectivelor cu volum mare de alimentare cu apă fără a lua măsuri de prevenire a scurgerilor posibile în rocile versantului;
- protejarea vegetației de arbori, arbuști și de iarbă de pe versanți;
- interzicerea irigațiilor necontrolate a terenurilor;
- interzicerea instalării apeductelor fără amenajarea canalizării.

Alunecările de teren active care se află în partea vestică a podișului necesită să fie împădurite, cum s-a procedat cu cele contemporane și vechi și care în prezent se află în starea stabilă.

La măsurile active se referă cele prezentate prin construcții inginerești destinate proiecției obiectivelor concrete amenințate de alunecări sau consolidării alunecărilor și versanților cu pericol de alunecare cu scopul valorificării economice a acestora. Pentru selectarea măsurilor necesare și amplasarea lor spațială se cere efectuarea lucrărilor speciale detaliate.

Cu privire la versanți de surpare-grohotiș este necesar de menționat că ei, dispunând de o pantă mare, sînt folosiți în fond ca pășune. De aceea principală măsură de protecție a versanților de acest tip este gestionarea pășunatului în vederea conservării învelișului existent de iarbă, arbuști și arbori.

### **Concluzii**

1. Relieful Dealurilor Ciulucurilor este erozional-acumulativ, modelat și complicat de procesele erozional-denudaționale. Versanții sînt tăiați de ravene și adesea deformați de alunecări de teren, mai ales în partea sud-vestică a podișului.
2. Evoluția intensă a proceselor geomorfologice exogene în cadrul podișului este condiționată de:
  - fragmentarea adîncă a reliefului (energia reliefului depășește 100 m, iar înălțimea dintre punctele cu înălțime maximă și minimă atinge 300 m);
  - răspîndirea largă a depozitelor friabile nisipo-argiloase, care alcătuiesc aproape toți versanții și care prezintă mediu favorabil pentru dezvoltarea proceselor erozionale și de alunecare, iar rocile de calcar din extremitatea estică a podișului – pentru procesele de surpare și grohotiș;
  - cantitatea relativ mare de precipitații atmosferice și regimul depunerii acestora
  - împădurirea slabă a versanților;
  - valorificarea agricolă înaltă a teritoriului.
3. Principală măsură regională privind stabilirea proceselor geomorfologice exogene este împădurirea versanților cu pericol erozional și de alunecare și gestionarea pășunatului pe versanții de surpare-grohotiș.

### Bibliografie

1. Спиридонов А.И. Основы общей методологии полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. – М.: Высшая школа, 1970. – 458 с.
2. Симонов Ю.Г., Болысов С.И. Методы геоморфологических исследований. – М.: Аспект Пресс, 2002. 191 с.
3. Mapinfo Professional 9.5. Руководство пользователя. Mapinfo Corporation, – Troy, New York, 2006. – 622 с.
4. Boboc, N., Mițul, E., Sîrodoev, Gh. Unități de relief (scara 1:500 000). // Republica Moldova. Condiții geomorfologice. Chișinău: „Iulian”, 2006.
5. Sîrodoev Gh., Mițul E. Geomorfologia // Flora Basarabiei (sub redacția acad. Negru, A.). Chișinău: Universul, 2011. P. 18-24.
6. Прока В. Карта ландшафтного районирования (масштаб 1: 1 000 000). // Атлас Молдавской ССР. М., ГУГК, 1978. С. 72.
7. Constantinov T., Daradur M., Bejenari Gh. și alt. Republica Moldova. Harta Climatică (scara 1:500 000). Chișinău: Policart, 2002.
8. Казак, В.Я., Лалыкин, Н.В. Гидрологические характеристики малых рек Молдовы и их антропогенные изменения. – Кишинев: Динамо, 2005. – 208 с.
9. Билинкис, Г.М., Друмя, А.В., Дубиновский, В.Л., Покатилов, В.П. Геоморфология Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1978. 188 с.
10. Рошка В.Х. Миоцен. // Геология СССР, т. XLV. Молдавская ССР. Геологическое описание и полезные ископаемые. М.: „Недра”, 1969. С. 137-171.
11. Блюк И.В., Букатчук П.Д., Покатилов В.П. и др. Геологическая карта (масштаб 1: 200 000). Кишинев 1989.
12. Сыродоев Г., Мицул Е., Герась А., Игнатиев Л. Обвальнo-осыпные процессы в долине р. Днестр // Водные ресурсы бассейна р. Днестр – предпосылки устойчивого развития населенных пунктов региона. Chișinău: „Imona Grup” SRL, 2010. С. 44-50.
13. Mițul E., Sîrodoev Gh., Ghermanic D. Frecvența distribuției ravenelor (scara 1:2 000 000). // Republica Moldova. Condiții geomorfologice. Chișinău: „Iulian”, 2006.
14. Sîrodoev Gh., Mițul E., Ignatiev L., Gherasi A. Evaluarea Riscurilor de apariție a proceselor geomorfologice periculoase. // Republica Moldova. Hazardurile Naturale Regionale. Chișinău: Elena-V.I., 2009. P. 8-57.
15. Mițul, E., Sîrodoev, Gh., Ignatiev L., Gherasi A. Frecvența distribuției alunecărilor de teren (scara: 1:2 000 000). // Republica Moldova. Condiții geomorfologice. Chișinău: „Iulian”, 2006.
16. Eroziunea solului (esența, consecințe, minimalizarea și stabilirea procesului). – Chișinău: Pontos, 2004. – 474 p.
17. Ursu A., Overcenco A., Marcov I. Stopați creșterea râpilor! Vindecați rănille pământului! - Chișinău, 2001. – 16 p.
18. Орлов, С.С., Тимофеева, Т.А. Геодинамические процессы в Молдавии и борьба с ними. – Кишинев: Штиинца, 1974. – 71 с.
19. Емельянова, Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 308 с.
20. Леваднюк А.Т., Мицул Е.З., Сыродоев Г.Н. и др. Оползнеопасные территории Молдавии и их рациональное использование. – Кишинев: Штиинца. 1990. – 122 с.

*Primit la redacție –18 ianuarie 2013*

CZU 556.3.013; 556.3.072(478)

Moraru C., Timoshencova A.

## **Evaluation of spatial interpolation methods for groundwater: case study, the Republic of Moldova**

### **Abstract**

*In this case study the geostatistical analysis of digital hydrogeological map accuracy was carried out. Maps were modeled in isolines by means of different interpolators. The occurrence of groundwater levels was mapped on the representative area in limits of the Republic of Moldova. Using the software Surfer 11 eleven models of groundwater levels were generated by the following interpolators: Kriging, Radial Basis Function, Inverse Distance to a Power, Modified Shepard's, Minimum Curvature, Polynomial Regression, Triangulation with Linear Interpolation, Nearest Neighbor, Natural Neighbor, Moving Average and Local Polynomial. The comparability between maps was estimated applying methodology of the statistical residuals as the subtraction between Natural model –Artificial model and the absolute average value of the statistical residuals. Modified Shepard's method is defined as the most accurate interpolator. Nevertheless the correlation analysis shows that this interpolation method is very close with Kriging, Local Polynomial, Minimum Curvature, Natural Neighbor and Triangulation with Linear Interpolation ( $r > 0.70$ ).*

### **Rezumat**

*În studiile prezente a fost analizată precizia hărților hidrogeologice digitale, care au fost produse folosind metodele diferitor interpolatori în izolinii. Pentru un teritoriu reprezentativ, în cadrul R.Moldova, s-a cartat nivelul apelor freatice în condiții naturale. Utilizând softul Surfer 11 au fost întocmite 11 modele a nivelului freaticului prin intermediul interpolatorilor Kriging, Radial Basis Function, Inverse Distance to a Power, Modified Shepard's, Minimum Curvature, Polynomial Regression, Triangulation with Linear Interpolation, Nearest Neighbor, Natural Neighbor, Moving Average și Local Polynomial. Diferența între hărțile obținute a fost estimată folosind metodologia reziduurilor statistice ca diferența dintre Model natural –Model artificial și a valorii reziduurilor absolute medii. Cel mai exact interpolator a fost considerat Modified Shepard's Method. Tot odată în rezultatul analizei corelaționale această metodă este foarte apropiată de interpolatorii Local polynomial, Kriging, Minimum curvature, Natural neighbor și Triangulation with linear interpolation ( $r > 0.70$ ).*

### **Резюме**

*В данной работе проведён геостатистический анализ точности компьютерных гидрогеологических карт, которые были построены в изолиниях посредством разных интерполяторов. Для репрезентативной территории в пределах Рес. Молдова был картирован уровень грунтовых вод. Используя программное обеспечение Surfer 11 были построены 11 моделей уровня грунтовых вод посредством методов Крайгинга, Радиальных базисных функций, Обратных расстояний, Шепарда, Минимальной кривизны, Полиномиальной регрессии, Триангуляции с линейной интерполяцией, Ближайшего соседа, Естественного соседа, Скользящего среднего и Локальных полиномов. Сравнимость между картами была оценена с использованием методологии статистических остатков от разницы Природная модель –Искусственная модель и абсолютной величины статистических остатков. Метод Шепарда определен как наиболее точный интерполятор. Тем не менее корреляционный анализ показывает, что данный метод очень близок с методами Крайгинга, Локальных полиномов, Минимальной кривизны, Естественного соседа и Триангуляции с линейной интерполяцией ( $r > 0.70$ ).*

## Introduction

Geologists and particularly hydrogeologists represent their data in different map formats. Mapping, as a rule, is associated with data interpolation and extrapolation. Interpolation is a procedure of predicting value of attributes at unsampled sites from measurements made at point location within the same area, and extrapolation is predicting value of attribute at sites outside the area covered by existing observation [5]. Interpolation is used more frequently by specialists. It is necessary to note that at present one unique classification of methods for interpolation does not exist. There are two types of methods: global estimation (over a large area within there are many samples) and local estimation (a smaller area, one in which there are a few samples; in such situations we use nearby samples locate outside the area being estimated) [9]. We will predominantly use the second type. Additionally, authors [5] notes, that global methods use trend surfaces on geometric coordinates, regression models on surrogate attributes methods of spectral analysis; local methods are deterministic and use Thiessen polygons and pycnophylastic methods linear and inverse distance thin plates spines. Despite the major improvements in interpolation methods over the last 20-30 years, the problem of mapping accuracy remains. Evaluation and comparison of different special interpolators were well analyzed [18, 19]. New interpolation approaches are proposed periodically [1, 3, 7, 13]. A comparison of different interpolators has been exploited in studying rainfall [10, 16], urban air pollution [4], geomorphology [6], geophysics [2] and other fields.

Groundwater, compared with other natural mapped phenomena, is located below the land surface and measurements for aquifers are possible only using special wells. These wells are limited in number because of high cost for drilling and special permission for its location. In such cases all available data are unique and need to be processed accurately and with high degree of confidence. Groundwater level is the complex indicator of the aquifer existence. Water level is indirectly connected with hydraulic rocks properties, water movement, artificial and natural variations, and aquifer water resources. The work reported here has been motivated by the practical need for understanding how accurate our groundwater level map is.

## Case study area

**General data.** The case study area is located in the south of Moldova (fig.1). From the administrative point of view the area of research belongs to Cimișlia's region, it is in 0.5 km to the North from the town of Cimișlia, between 46° 32' 28.9" North Latitude - 28° 45' 27.5" East Longitude and 46° 34' 03.5" North Latitude - 28° 47' 09 0.3" East Longitude. Authors [21] give the detailed description of natural conditions of the research area.

**Climate.** Climate in case study area, as well as over all country, is moderate continental. Winter is short and rather soft, summer - long and warm. Average annual temperature is positive and as a result of long-term supervision data notes 9.20°C. Average monthly temperature remains positive during nine months. Average air temperature of the hottest month July reaches + 26.0 °C, and in the coldest month January it is - 11.0°C. The average annual absolute maximum rises to + 39 °C, and the average annual absolute minimum goes down to -29 °C.

Due to amount of precipitation the territory of research makes part of areas with insufficient natural moistening. The average annual amount of precipitation is 360.0–420.0 mm. In warm periods of time there is 344 mm of precipitation, and in the cold ones - 95 mm

(only 10% of precipitation is firm). Relative humidity increase is observed in the winter period (84-87%), and it falls to 62% in the warm periods of time.

In the area of research winds of the northern and northwest direction prevail. Winds are weak or moderate. Average wind speed is equal to 3.90 m.

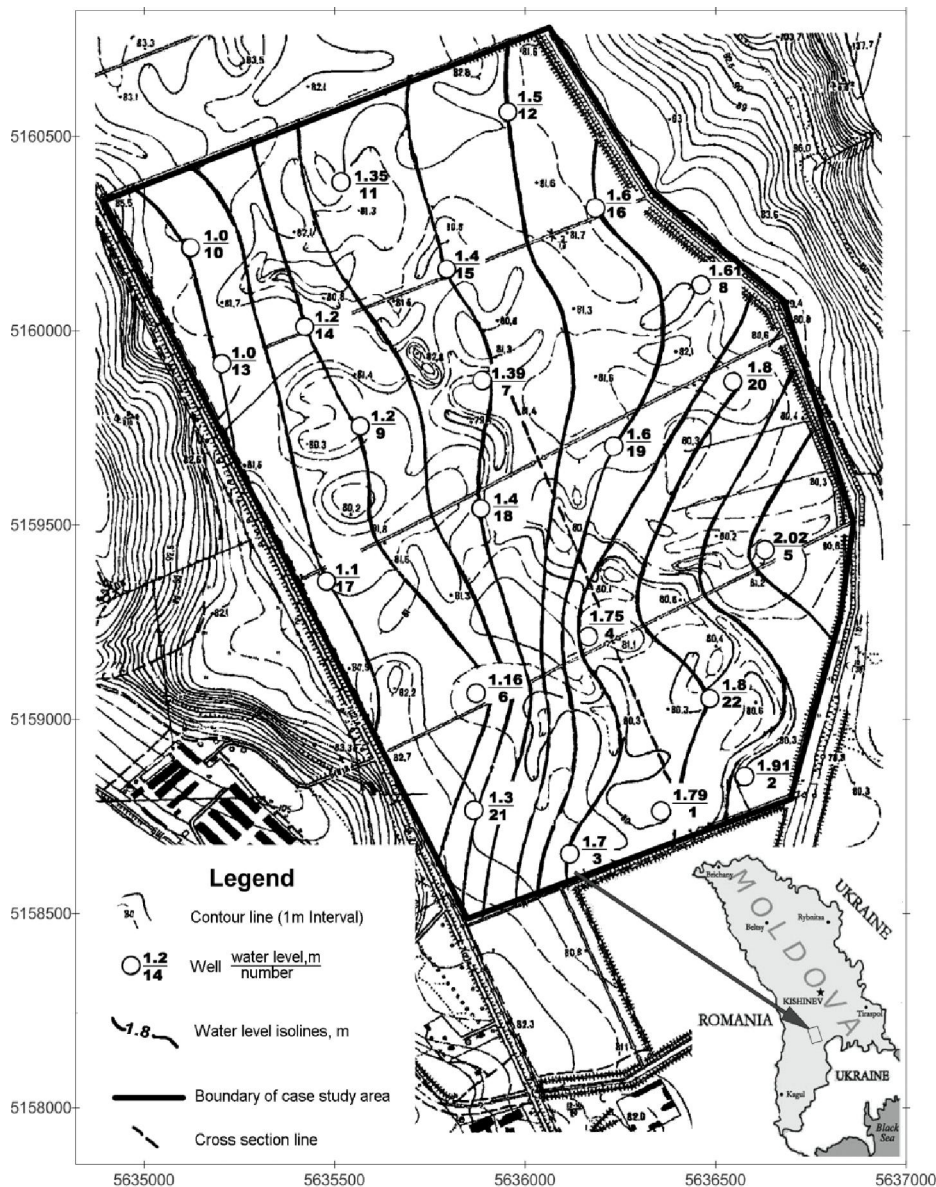


Fig. 1. Location map and groundwater level of the study area

**Geomorphology.** From the geomorphologic point of view the area of research is situated within the Southern Moldavian Wavy Plain. Watersheds are presented by Pliocene surface of alignment. Definitely the case study area is located on the right bank of the Cogîlnic River, and it is an almost flat site in comparison with the elevation number, which goes down from the northwest to the southeast. The elevation difference is 1-2 m.

Exogenous factors are involved in shaping surface of the research area. *Gully erosion and landslides occur on this territory*. Landslide density makes 3-5 landslides per 10 km<sup>2</sup> [22]; its values can sometimes reach 5-10 per 10 km<sup>2</sup>[22]. Ravines have density of 10-20 ravines per 10 km<sup>2</sup>[22]. Landslides form hilly land surface. Older landslides belong to frontal type; they are widespread on the right bank of the Cogîlnic River where the research area is. This area is characterized by various types of sediments: eluvial, colluvial, alluvial, inclusive alluvial deposits of the Cogîlnic River terraces (IX terraces).

**Hydrology.** Basic elements of the hydrographic network of the case study area are the rivers, floodplain lakes and ponds. The majority of the southern rivers of the country (where the town of Cimișlia is located) discharge into the Black Sea basin. The Cogîlnic River flows into Lake Sasîc. This lake is a certain liman of the Black Sea. River water comes from rain and snow; also underground water supplies the rivers. About 50 % of the annual drain fall on the period from March to May, and the minimum drain is observed in February.

The largest river of the research area is the Cogîlnic (Cunduc) River with the Northwestern direction of the water course. The Cogîlnic River has length of 243 km (125 km of them flow on the territory of Moldova), and also the water-collecting area is 3910 km<sup>2</sup> (from which 1030 km<sup>2</sup> belong to RM). The annual average discharge of the river makes 0.30 m<sup>3</sup>/s, absolute maximum value of 6.47 m<sup>3</sup>/s (1962) and absolute minimum value of 0.0006 m<sup>3</sup>/s (1964) were registered. In droughty years the river starts drying up because of low rainfall amounts.

The valley of the river is well defined within the research territory. Depth of the river-bed fragmentation makes 159.0 m in the North and 130.0 m in the South. The width of the bed is 10.0 m and it curves strongly on flat, marshland places. The right side of the river valley is rather steep (elevation is 30.0-350.0 m) and crossed by numerous ravines. The left bank is rather flat and gradually moves to the watershed.

The hydrographic mode of the river depends on the amount of precipitation. During summer season, in connection with uneven distribution and shortage of rains, the rivers and its tributaries are almost dried completely up and restore the stream with summer rainfall and snow thawing during spring season.

**Geology and Hydrogeology.** Deposits of Proterozoic, Paleozoic, Mesozoic and Cainozoic groups take part in the geological structure of the described area. Because of the studied aquifer is dated for Quarternary deposits it is expediently to provide only their characteristics. The geological and hydrogeological cross-section of the study territory is shown in fig.2.

Genetically Quaternary sediments are presented by all complexes of continental sediments, except glacial and lake ones. There are eluvial (elQ) and eluvial deluvial (el+dlQ) geological and genetic complexes on watersheds and inclinations (slopes). Lithologically they are presented by loess loams with thickness of 20-25 m. In flood bed of the rivers alluvial (al Q) sediments which compose terraces of valleys are widely spread. Lithologically they are presented by gravel with some pebbles and sandy formations. Sediment thickness is 5–10 m thick.

In the regional plan it is possible to allocate the aquifers and complexes in deposits of Quaternary System, the Sarmatian Stage and Cretaceous System. For the economic and drinking purposes and industrial water-supply has been generally identified Sarmatian aquifer.

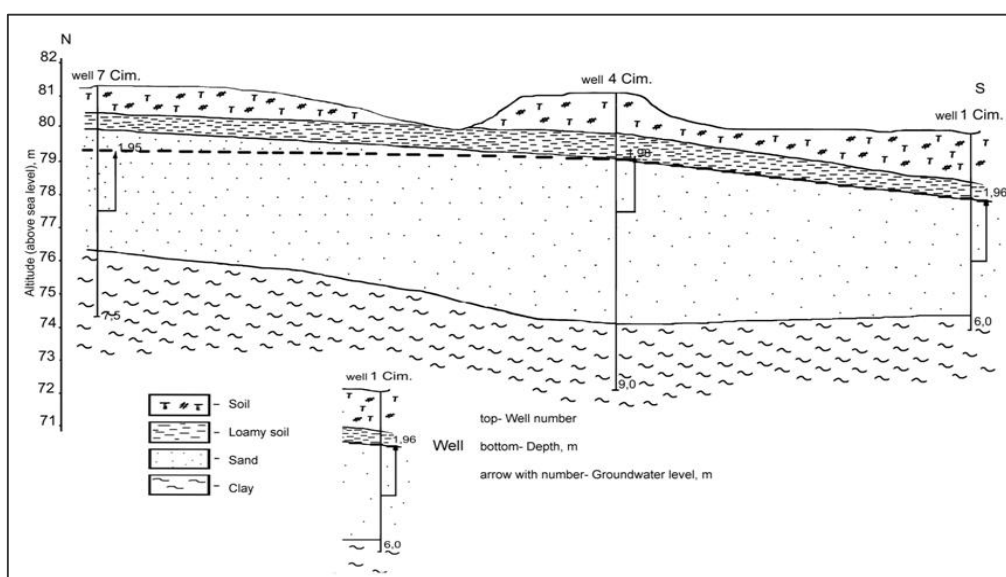


Fig. 2. Geological and hydrogeological cross – section (cross section line –see fig.1)

Quaternary deposits contain three aquifers which are related for various genetic types:

- 1) Aquifer of old alluvial deposits;
- 2) Aquifer of eolian-deluvial deposits;
- 3) Aquifer of early alluvial and alluvial-deluvial deposits.

Geological and hydrogeologic features of the case study area come as the consequence of the regional structure. For our purposes we provide only the detailed characteristics of the research area. These data are obtained as a result of water well drilling (see fig.1), hydrogeologic and geochemical workings. The representative geological section is offered in fig.2. From top to down the following layers occur: 1) soil (0.8–1.8 m), 2) loams (0.3–2.0 m), 3) sand (3.0–4.2 m) and 4) blue clay (thickness is more than 3 m). The aquifer of phreatic type is related to sand. Phreatic water level varies in a narrow interval – from 1.0 to 2.02 m from the earth surface. It is important to note that the water level doesn't depend on topographic landforms. The difference in water levels is caused by the direction of water current from the NW to the SE (see fig.1).

Ground water is salty; the value of mineralization varies from 2.19 to 9.3 g/l; water corresponds to the  $SO_4 - Na$  type.

The aeration zone (1.0–2.02 m thick) represents a layer of rocks unsaturated with water. Rocks contain a large amount of the salts which concentration changes from 0.07 to 3.0 mg/l (in a water extract). The most salted is the top part of the zone (an interval of 0.0-0.5 m). Below this depth the content of salts decreases drastically.

### Model characteristics

The main objective of this research paper is to make a comparison of different interpolators and to mark down which of them work more accurately for mapping groundwater levels. But first of all, we generated a model (see fig.1) based on topographic map with scale of 1:10000 and hydrogeological data.



The flat relief of the case study area was taken as an important condition in order not to influence on the occurrence of the groundwater levels. The elevation difference is 1-2 m on the investigated territory (altitudes vary in 80–82 m above sea level). In addition this fact caused the strict boundaries of the research area. Outside of the territorial limits, the ground features differ significantly (elevation is 30-50 m).

The model map represents the spatial occurrence of the groundwater levels. During the field investigations, 22 sample wells were drilled. The representative wells are of a random selection. The minimum value of the groundwater levels was registered in the first well (1.0 m) and the maximum one – in the fifth well (2.02 m) (see fig.1). In that way, we designate that the values of the groundwater levels rises from the northwest to the southeast. Undoubtedly, that 22 sample wells are not enough for generating a more realistic manual or “eyeballing” [8] interpolation by integrating expert knowledge, modeling capabilities and experience into the construction of the geological surface. In this case the grid with the following parameters was elaborated.

Grid Name: Natural Model  
 Grid Size: 24 rows \* 20 columns  
 Total Nodes: 480  
 Filled Nodes: 322  
 Grid Geometry:  
 X Spacing:  $\approx$  100 m  
 Y Spacing:  $\approx$  100 m

The quantities of Filled Nodes and Total Nodes differ from each other because of territorial boundaries and some interpolator features to draw lines strictly in limits of data points (The Triangulation with Linear Interpolation Method and the Natural Neighbor Method). The cell is in the shape of regular tetragon (highly approximately to foursquare). According to Descriptive Statistics for the Natural Model, the values of phreatic water levels vary in 0.62–2.05 m. Statistic parameters of the model are presented in the tab.1

Table 1

Statistic parameters of the model

<b>Parameters</b>	<b>Value</b>
Mean	1.46
Standard Error	0.02
Median	1.45
Mode	1.39
Standard Deviation	0.30
Sample Variance	0.09
Kurtosis	-0.86
Skewness	0.11
Range	1.43
Minimum	0.62
Maximum	2.05

### Interpolation Methods

Interpolation methods which are used in GIS applications and other software are described in a large spectrum of publications [5, 8, 9]. We used as a platform for our

purposes commercial software Surfer 11 which is representative regarding the number of interpolators. Totally we test 12 methods and namely Moving Average, Kriging, Nearest Neighbor, Local Polynomial, Minimum Curvature, Data Metrics, Inverse Distance to a Power, Natural Neighbor, Polynomial Regression, Modified Shepard's Method, Radial Basis Function and Triangulation with Linear Interpolation. Earth science users of these interpolators, as a rule and predominantly, do not understand in a full way how interpolators work and that is the difference among them. Fundamentals of these methods are well described in many sources [5, 9, 12, 15, 18]. In this context a brief description of each method which is based on data from indicated sources is analyzed.

1) *The Moving Average Method* is based on the averaging values of grid node. It is like a moving “window” with defined by author a radius for searching ellipse. For each ellipse a new value of (Z) value is calculated using general approach as:

$$Z = \sum (Z_i/n),$$

where Z is the new calculated value;  $Z_i$  is value of parameter (i) inside the ellipse and (n) is number of such parameters. Accuracy of the method depends of the used radius of the moving ellipse and density of initial data.

2) *The Kriging Method* is considered a popular one in interpolating surfaces. Numerous different kinds of Kriging are in actual use: for instance, punctual (simple) Kriging is used where the ensured variable is stationary; universal (general) Kriging where it is not; Kriging with Splines – any curve fitted by a spline function can also be indentified using Kriging and vice – versa [5, 12]. We used simple or ordinary Kriging which is operated according to assumption: N points are used to estimate grade at unknown point A; the weights w can be estimated by different number of ways, but it is clear that w will vary intensively in distance between points d; the w is obtained by solving N simultaneous equations of the form below, together with equation  $\sum w_i = 1$  [12]:

$$w_1\mu(h_{i1}) + w_2\mu(h_{i2}) + \dots + w_N\mu(h_{iN}) = \mu(h_{iA}),$$

where  $\mu(h_{ij})$  is the semivariance corresponding to the separation  $h_{ij}$  between points i and j. The variance of the estimate  $E_A$  can also be obtained using semivariance  $\mu(h_{ij})$ . When the sample variance has been calculated a function is fit to it.

3) *The Nearest Neighbor Method* (otherwise known as Thiessen polygons or Dirichlet or Voronoi) is characterized by: a) using distances between closest pair of points and b) requiring no choice of quadrant size. The simplest algorithm for this method compares the observed mean distances d between points with means expected from particular distributions  $\hat{\sigma}$  determined by the Poisson distribution:

$$\hat{\sigma}_{\text{ran}} = 0.5 (A/N)^{1/2} \text{ for a random distribution}$$

$$\text{and } \hat{\sigma}_{\text{hex}} = 1.0743 (A/N)^{1/2} \text{ for a hexagonal distribution [12].}$$

4) *The Polynomial Regression Method* allows powers of the independent X value in an equation like this type [15]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X + \beta_2X^2 + \dots + \beta_nX^n$$

According to [16] Polynomial Regression is not really an interpolator because it does not attempt to predict unknown X values. Nevertheless it can be used to define type of trend surfaces. Both in Surfer 10 and Surfer 11 surface definition is determined by user

selected options namely as simple planar surface, bi-linear saddle, quadratic surface, cubic surface and user defined polynomial with different order of equation.

5) *The Minimum Curvature Method* in the Surfer code implements the concepts of tension similar to a simple planar model using least squared regression [14]:

$$AX + BY + C = Z(X, Y),$$

where Z is variably interpolated.

Four steps are to generate the final grid using this method [16]: a) the least squares regression model is fit to data, b) substitution of data location from data values – as a result, a set of residual data values is obtained, c) interpolation of the residuals at the grid nodes and d) the values of the regression model at the grid nodes are added to the interpolated residuals.

6) *The Data Metrics Method* uses five groups of statistics and namely Z Order Statistics, Z Moment Statistics, Other Z Statistics, Data Location Statistics, and Terrain Statistics [15]. This method just creates grids of information about the data on a node-by-node basis. Generally speaking, Data Metrics statistics is not interpolator and this one is not used in our study.

7) *The Inverse Distance to a Power Method* combines the ideas of proximity exposed by the Thiessen polygons with the gradual change of the trend surface [5]. Authors of this reference analyzed the weighted Moving Average equation used for computing inverse distances:

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i)}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \mathbf{1},$$

where the weights  $\lambda_i$  are given by  $\Phi(d(x, x_i))$ .

A requirement is that  $\Phi(d)$  tends the measured value as  $d$  tends to zero. Given equation after some transformations becomes a linear interpolator in which the weights are computed from a linear function of distance. Generally this method is exact and is used in many earth science mapping applications.

8) For *the Natural Neighbor Method* interpolation algorithm uses a weighted average of the neighboring observations, where the weights are proportional to the "borrowed area". Method does not extrapolate contours beyond the convex is full of the data locations (i.e. the outline of the Thiessen polygons) [15].

9) *The Local Polynomial Method* is very similar to the method of Polynomial Regression. In Surfer code gridding method assigns values to grid nodes by using a weighted least squares fit with data within the grid node's search ellipse [15]. User is free to set the power to a number between 0 and 20, and then to select a polynomial order, 1, 2, or 3.

10) *The Modified Shepard's Method* is similar to the Inverse Distance to a Power method, but the use of local least squares eliminates or reduces the "bull's-eye" appearance of the generated contours. The Modified Shepard's method can be either an exact or a smoothing interpolator [15].

11) *The Radial Basis Function Method* is based on a group of functions. The multiquadric function is the most used. For this case interpolated surface is calculated on the base of equation [11]:

$$F(d_{ij}) = (d_{ij}^2 + r^2)^{1/2},$$

where  $F(d_{ij})$  is the radial base function and  $d$  is the distance between points.

This algorithm uses an R softening factor. The default value for  $R^2$  in the Radial Basis Function gridding algorithm is calculated as follows:  $(\text{length of diagonal of the data extent})^2 / (25 * \text{number of data points})$  [15].

12) *The Triangulation with Linear Interpolation Method* holds much favor among Earth scientists. Method is simple and consists from the following steps: a) all points are covered by triangles point by point without crossing of triangles, b) changes of point values are considered to be described by a linear function. The equation of a plane can be expressed as:

$$Z = ax + by + c ,$$

where  $Z$  is the predicted value.

Given the coordinated and  $V$  values of three nearby points we can calculate the coefficients  $a$ ,  $b$  and  $c$  [9]. Isolines are counterer from triangle to triangle.

## Results

Groundwater maps, constructed using different interpolators, are presented in fig. 3–5. Visual analysis of maps shows that all methods do not exactly fit with Natural surface model. Essential difference of accuracy is observed for Moving Average, Inverse Distance to a Power, Local Polynomial and Polynomial Regression methods. The rest methods have different degree of coincides with natural groundwater level position.

In order to estimate geostatistical relationship between model and modeled surfaces linear correlation was applied (tab.2). In this case it is necessary for interpretation of the correlation to describe shortly which parameters are compared. Because of random location of hydrogeological wells (see fig.1) each interpolator made a regular grid of the data with centered values in nodes. For correlation processing data from each grid have been prepared and finally the matrix of groundwater level values has been arranged. Structure of the matrix is simple: horizontal line is associated with the interpolation methods and vertical grid contains computed data for groundwater level. Analysis of the tab. 3 indicated that the rank of correlation is following (from maximum to minimum): Natural Neighbor, Kriging, Triangulation with Linear Interpolation, Radial Basis Function, Minimum Curvature, Local Polynomial, Modified Shepard's Method, Inverse Distance to a Power, Nearest Neighbor, Polynomial Regression and Moving Average. Logical comparing of the maps (see fig. 3-5) and correlation coefficients ( $r$ ) do not express the real situation. For instance  $r = 0.937$  for Polynomial Regression and model, and visual analysis clearly indicate that linear correlation in our case is formal (fig.4). One important assumption need to be noted –data matrices for each method and procedure of creating surfaces (isolines of groundwater level) are different by algorithms (see description of interpolation methods). That is why correlation coefficients do not estimate real geostatistical relationships between selected methods.

Other procedures are applied, and namely slice techniques. In fact the slice in Surfer code is associated with the cross – section across the contour maps. Line for slicing was selected as unique for all maps including Natural model. Results of slices are summarized in fig. 6. Visual analysis of presented data shows that Kriging and Radial Basis Function methods are much closed to Natural model line. Correlation coefficients for all slices are presented in the tab. 3.

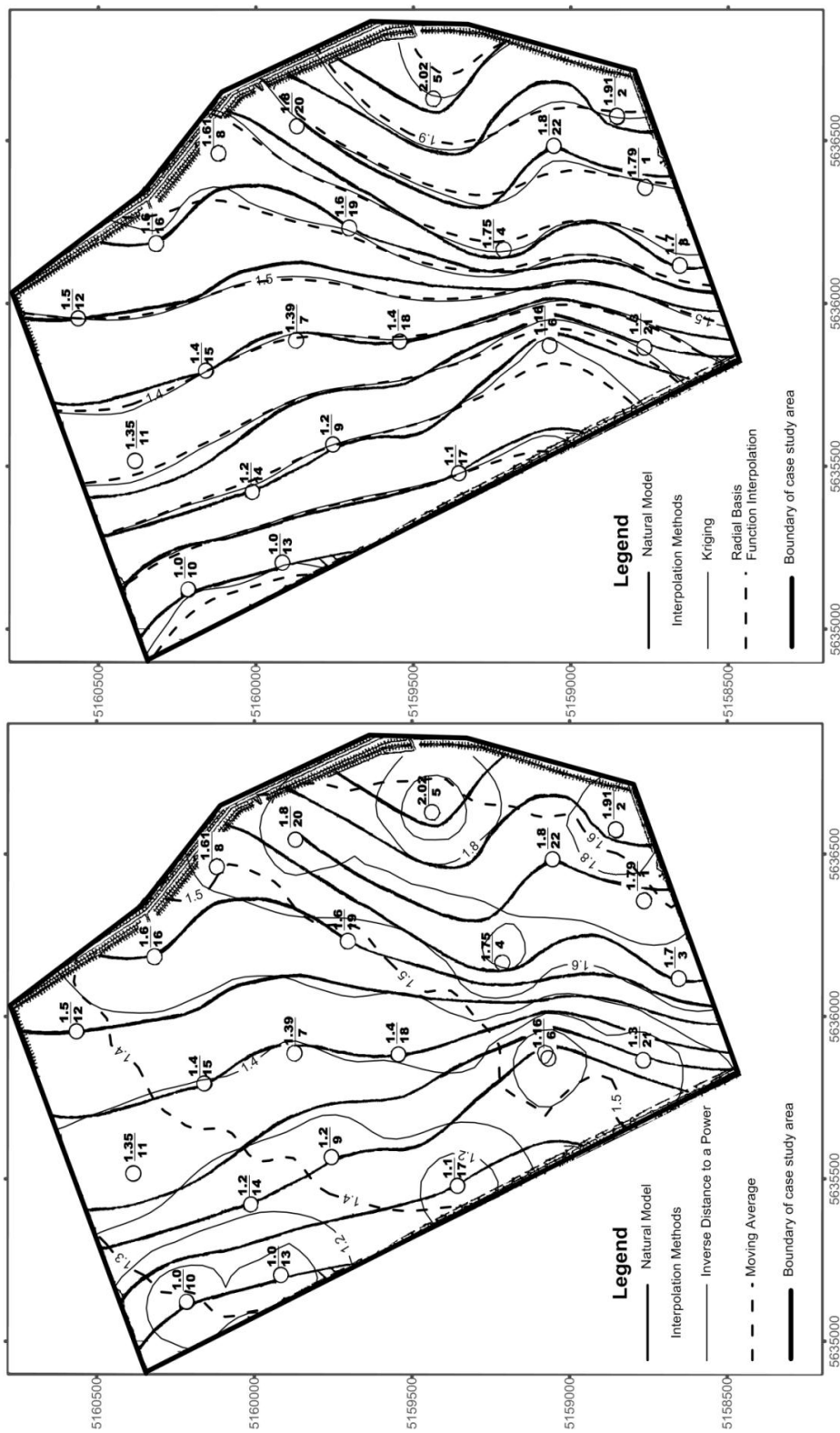


Fig. 3. Groundwater level maps for Inverse Distance to a Power, Moving Average, Kriging and Radial Basis Function methods (full legend is indicated in the fig.1)

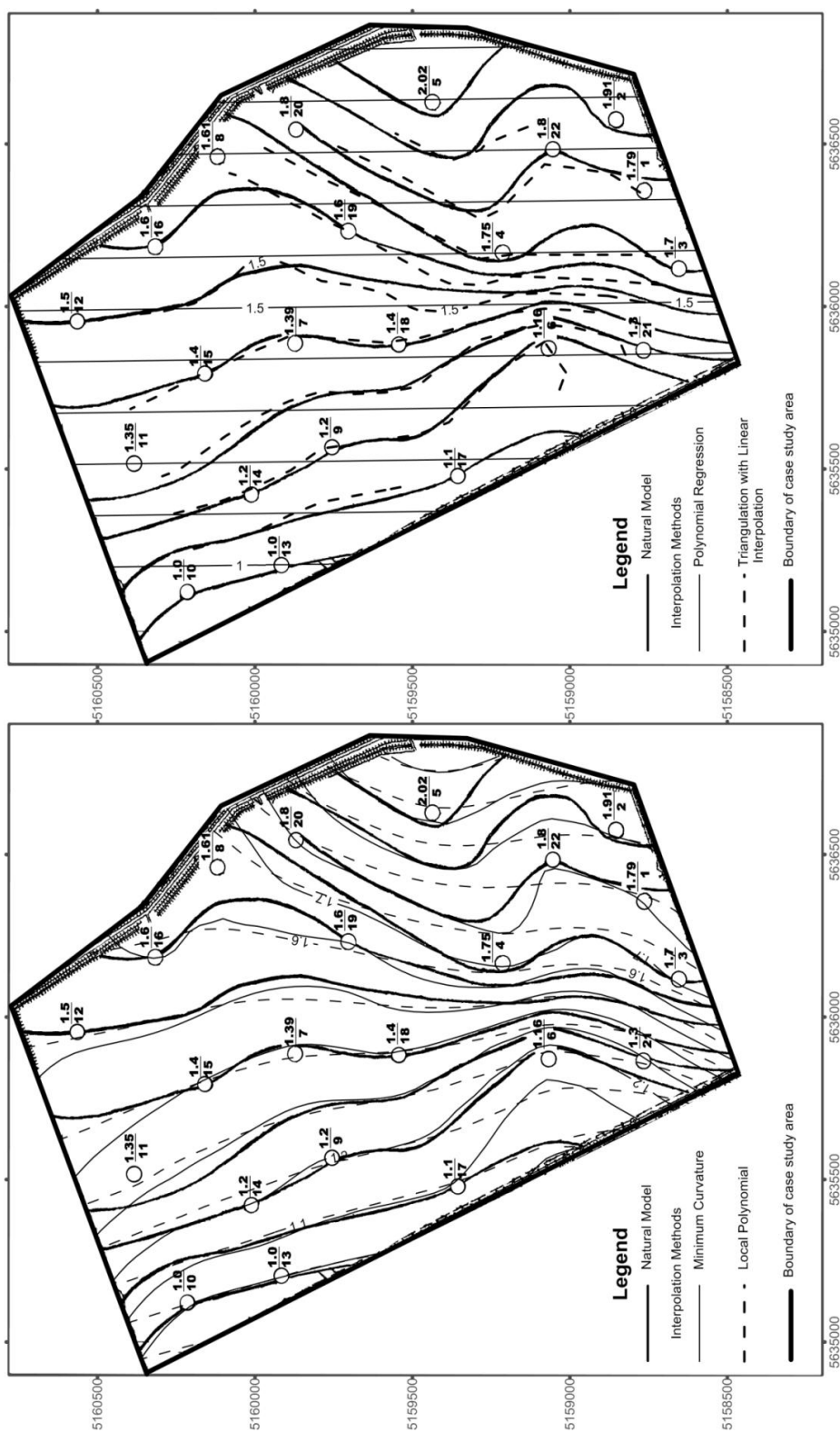


Fig. 4. Groundwater level maps for Minimum Curvature, Local Polynomial, Polynomial Regression and Triangulation with Linear Interpolation methods (full legend is indicated in the fig.1)

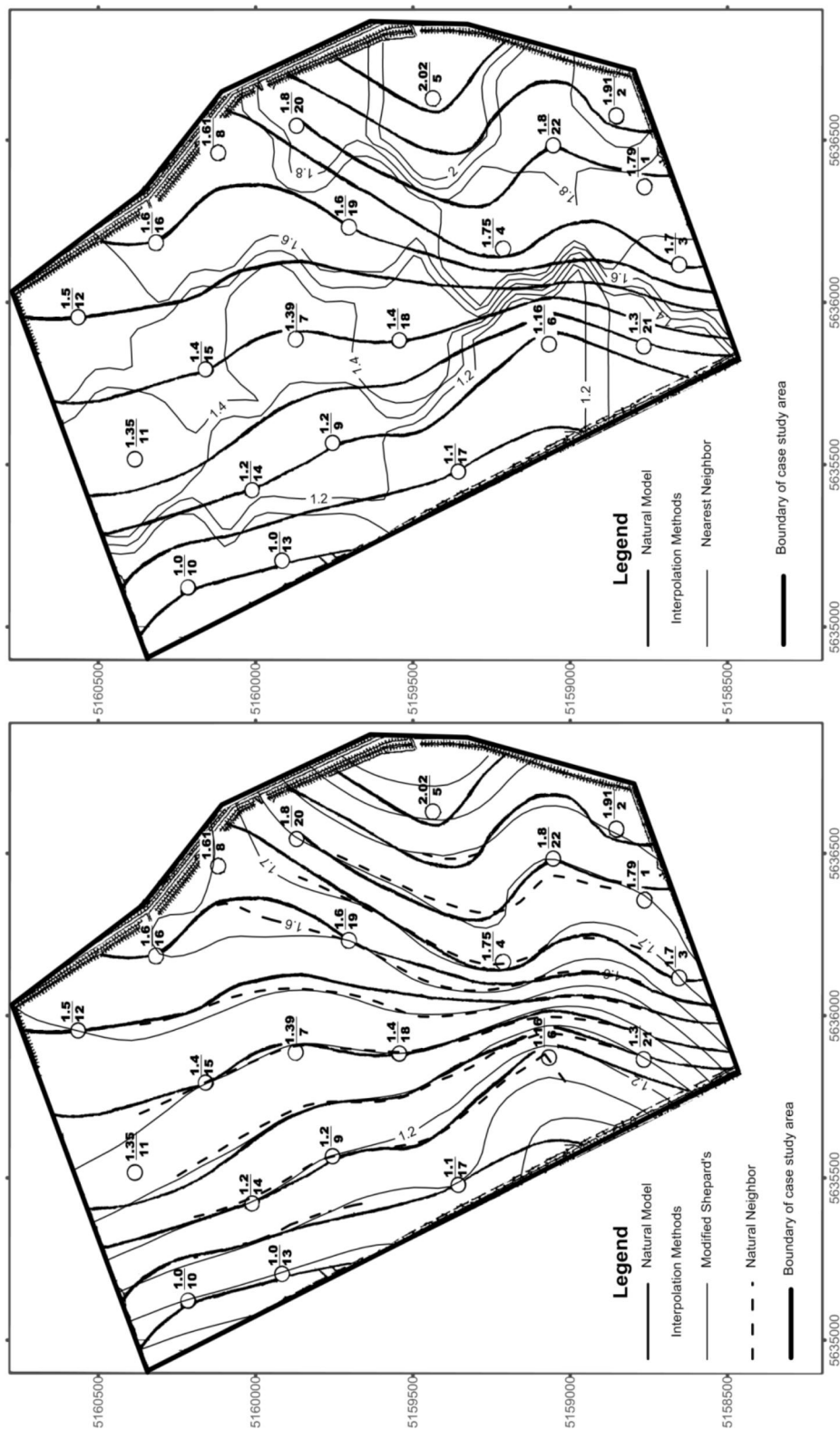


Fig. 5. Groundwater level maps for Modified Shepard's Method, Natural Neighbor and Nearest Neighbor methods (full legend is indicated in the fig.1)

Table 2

Correlation coefficients for modeled area and interpolated methods

Methods	Model	Kriging	Inverse Distance to a Power	Minimum curvature	Modified Shepard's	Nearest Neighbor	Radial Basis Function	Moving Average	Local Polynomial	Polynomial Regression	Natural Neighbor	Triangulation with Linear Interpolation
Model	1											
Kriging	0.980	1										
Inverse Distance to a Power	0.950	0.973	1									
Minimum curvature	0.976	0.993	0.955	1								
Modified Shepard's	0.970	0.987	0.946	0.995	1							
Nearest Neighbor	0.941	0.960	0.957	0.954	0.949	1						
Radial Basis Function	0.979	0.999	0.972	0.991	0.985	0.958	1					
Moving Average	0.770	0.789	0.814	0.762	0.768	0.753	0.795	1				
Local Polynomial	0.975	0.993	0.958	0.992	0.989	0.948	0.995	0.799	1			
Polynomial Regression	0.937	0.960	0.942	0.938	0.935	0.910	0.965	0.851	0.968	1		
Natural Neighbor	0.998	0.999	0.981	0.997	0.995	0.931	0.998	0.701	0.994	0.950	1	
Triangulation with Linear Interpolation	0.995	0.995	0.978	0.994	0.989	0.932	0.994	0.712	0.987	0.937	0.997	1

Table 3

Correlation coefficients for slice lines produced by different methods and natural model

Methods	Model	Kriging	Radial Basis Function	Triangulation with Linear Interpolation	Modified Shepard's	Inverse Distance to a Power	Local Polynomial	Minimum Curvature	Moving Average	Natural Neighbor	Nearest Neighbor	Polynomial Regression
Model	1											
Kriging	0.999	1										
Radial Basis Function	0.999	0.999	1									
Triangulation with Linear Interpolation	0.384	0.559	0.550	1								
Modified Shepard's	0.997	0.996	0.994	0.575	1							
Inverse Distance to a Power	0.994	0.996	0.995	0.555	0.988	1						
Local Polynomial	0.996	0.995	0.996	0.546	0.995	0.988	1					
Minimum curvature	0.999	0.999	0.998	0.554	0.997	0.994	0.995	1				
Moving Average	0.970	0.959	0.958	0.554	0.966	0.955	0.972	0.959	1			
Natural Neighbor	0.451	0.620	0.612	0.966	0.625	0.615	0.602	0.612	0.615	1		
Nearest Neighbor	0.991	0.992	0.990	0.571	0.990	0.993	0.985	0.991	0.952	0.629	1	
Polynomial Regression	0.989	0.986	0.986	0.587	0.990	0.980	0.994	0.985	0.987	0.642	0.978	1



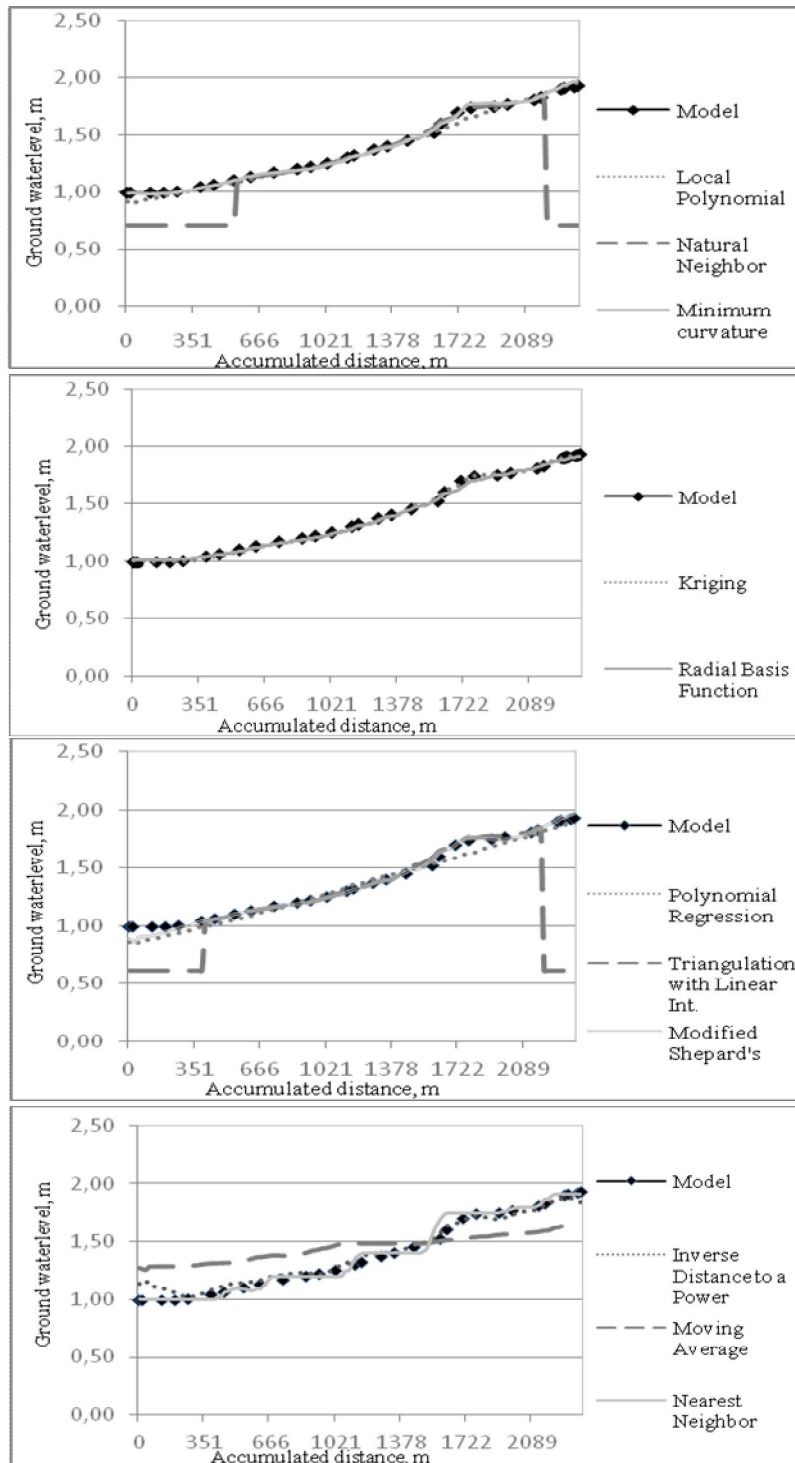


Fig. 6. Slices for compared methods

Data from the fig.6 can be ranked in the following sequence (from maximum to minimum): (Kriging, + Radial Basis Function + Minimum Curvature ), Modified Shepard's Method, Inverse Distance to a Power, Moving Average, Local Polynomial, Nearest Neighbor, Polynomial Regression and Triangulation with Linear Interpolation.

The first three methods tend to be more accurate compared with the rest of interpolators. In some way one slice line is not representative for all used methods and in other one - does it make sense to use more lines, and statistically how many lines will be enough?

The best solution in this case is connected with residual analysis. Generally, the Residuals mean the vertical computing subtraction between the Z value of the initial data and the interpolated  $Z_1$  value of the gridded (generated) surface. It gives a quantitative measure of how well the grid data agrees upon the original data [14]. In our study we compute the difference between data model grid and interpolated values of groundwater level by selected interpolators. Graphical representation of residuals is shown in the fig. 7. Distribution of residuals represents intervals of values compared with the model. Suffice it to say that these graphs express comparative situation which is shown in fig. 3-5. For residuals correlation coefficients cannot be computed because data for model are in real values (e.g. groundwater level). Averaged absolute values of residuals for each method are useful and indicative (tab.4).

The lowest value of averaged absolute residuals indicates the best method fits to the initial model.

Table 4

Averaged absolute values of residuals

Method	AAVR
Inverse Distance to a Power	0.435
Kriging	0.013
Local Polynomial	0.029
Minimum curvature	0.009
Modified Shepard's	0.003
Natural Neighbor	0.138
Nearest Neighbor	0.005
Polynomial Regression	0.077
Radial Basis Function	0.027
Moving Average	0.200
Triangulation with Linear Interpolation	0.013

Remark: AAVR is averaged absolute values of residuals.

Data from tab.4 indicate that 3 methods are more suitable ( $AAVR > 0.2$ ) and namely Inverse Distance to a Power, Natural Neighbor and Moving Average. There is interest how these methods are interrelated between them. Quantitatively the measure of statistical relationship can be expressed by linear correlation (tab.5). According to these data the Modified Shepard's method is highly correlated with Local polynomial ( $r = 0.852$ ), Kriging ( $r = 0.811$ ), Minimum curvature ( $r = 0.728$ ), Natural neighbor ( $r = 0.775$ ) and Triangulation with Linear Interpolation ( $r = 0.738$ ).

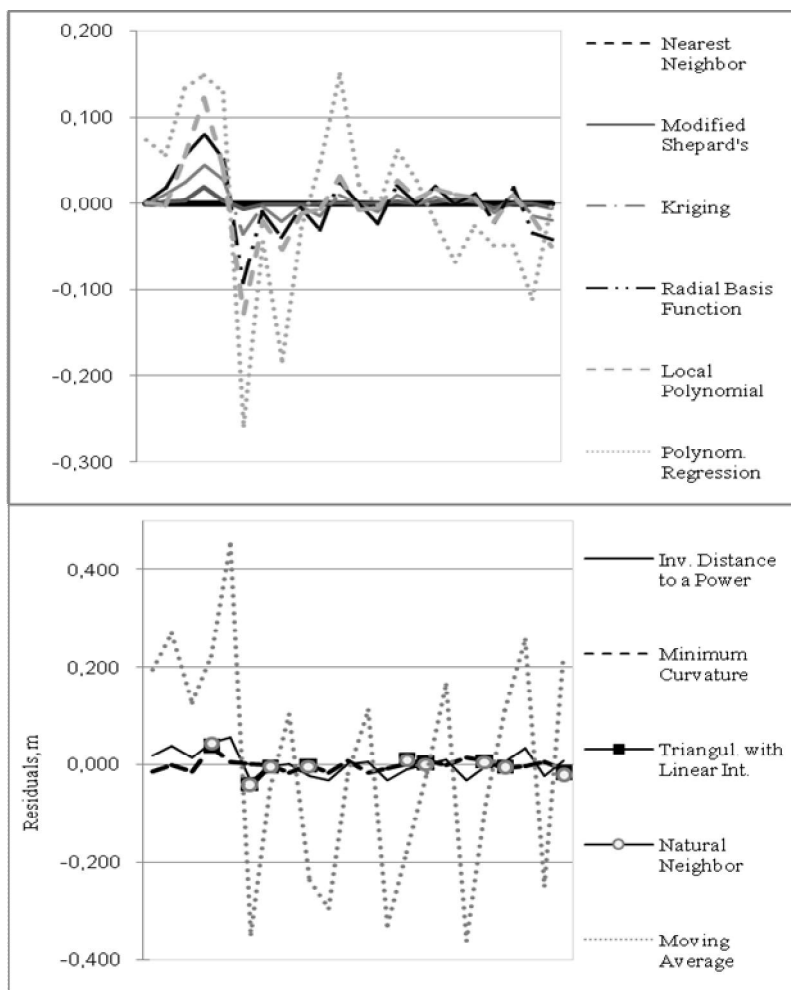


Fig. 7. Residuals for different interpolation methods

Table 5

Correlation coefficients for residuals of different interpolators

Methods	Inverse Distance to a Power	Kriging	Local Polynomial	Minimum Curvature	Modified Shepard's	Natural Neighbor	Nearest Neighbor	Polynomial Regression	Radial Basis Function	Moving Average	Triangulation with Linear Interpolation
Inverse Distance to a Power	1										
Kriging	0.704	1									
Local Polynomial	0.530	0.932	1								
Minimum Curvature	0.175	0.500	0.493	1							
Modified Shepard's	0.407	0.811	0.852	0.728	1						
Natural Neighbor	0.763	0.993	0.995	0.775	0.911	1					
Nearest Neighbor	-0.383	-0.668	-0.821	-0.331	-0.712	-0.981	1				
Polynomial Regression	0.536	0.783	0.821	0.183	0.535	0.892	-0.569	1			
Radial Basis Function	0.691	0.989	0.944	0.426	0.768	0.995	-0.703	0.81	1		
Moving Average	0.955	0.528	0.365	-0.049	0.193	0.460	-0.255	0.44	0.541	1	
Triangulation with Linear Interpolation	0.750	0.983	0.994	0.738	0.882	0.997	-0.990	0.90	0.996	0.463	1

### Summary and Conclusions

At present computer-based mapping is associated with a large spectrum of interpolators which are used to generate different surfaces. In hydrogeological research and practice contour maps are widely applied. Different parameters are mapped and mainly groundwater level, hydraulic properties and hydrogeochemical element compositions. In fact, all interpolators on the basis of real data distribution in plane use transformed regular grids. Also hydrogeological medium is considered homogeneous in all directions from one point to other (for instance lithological properties or hydraulic conductivity). These main assumptions lead to errors in surface modeling and estimation.

Ideal interpolator algorithms do not exist and final results of any computer mapping is an approximation of natural conditions. The main question is how closed are modeled hydrogeological conditions to the natural state. In most software, including family of the GIS, number of proposed method is limited or one from the methods is considering more popular and correct. In such context our study was oriented to compare and estimate results of contour mapping using 11 well recognized methods and namely Kriging, Radial Basis Function, Inverse Distance to a Power, Modified Shepard's Method, Minimum Curvature, Polynomial Regression, Triangulation with Linear Interpolation, Nearest Neighbor, Natural Neighbor, Moving Average and Local Polynomial. As a software platform Surfer 11 was exploited. Modeled territory is representatively selected and hydrogeologically simple. Groundwater level was simulated and compared with its natural state of occurrence. On the basis of these simulations several general statements and conclusions are made:

1) Geostatistical comparison of simulated mapping results was caring out using visual analysis, correlation of grid matrices, slice techniques and correlation, residual data processing. Residual analysis is an useful tool to evaluate statistical differences between interpolation methods. Graphics of residuals permits visualization of results. Matrix of residuals has been used to calculate average value and absolute average value for each method. Minimum average absolute value indicates which method is more effective.

2) According to average absolute value the Modified Shepard's Method is considered the most accurate. Nevertheless this method is statistically very similar with Local Polynomial, Kriging, Minimum Curvature, Natural Neighbor and Triangulation with Linear Interpolation ( $r > 0.70$ ). It is logically to conclude that all these methods reflect the better coincidence of simulated surfaces with natural groundwater model.

3) It is safe to assume that the differences between interpolators and elaborated maps are due to the choice of comparison methodology. Additional data is needed to improve the conceptual principle for statistical estimation of differences between hydrogeological maps which are generated with different methods.

### References

1. Abrahamsen P., and Benth F.E. Kriging with inequality constrains. *Mathematical geology*, vol.33, no.6, 2001, pp. 719 - 725.
2. Bakkali S. and Amrani M. About the use of spatial interpolation methods to denoising Moroccan resistivity data phosphate "Disturbances" map. *Acta Montanistica Slovaca Ročník 13, číslo 2*, 2008, pp. 216-222.
3. Bobach T., Farin G., Hansford D. and oth. Natural neighbor extrapolation using ghost points. *Computer-Aided Design*, 41, 2009, pp. 350 - 365.

4. Briggs D.I. et all. Mapping urban air pollution using GIS: a regression-based approach. Int. J. Geographical science, vol.11, no.7, 1997, pp. 699 - 718.
5. Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. Principles of geographical information system. Oxford University press, New York, 1998.
6. Chaplot V. et all. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. Geomorphology, vol.77, 2006, pp. 126 - 141.
7. Egenhofer M.J. and Franzosa R.D. Point – set topological spatial relations. Int.J. Geographical informational system, vol.5, No.2, 1991, pp. 161 – 174.
8. Haitoat T., Nigel M. Spatial Interpolation. Presentation, pp. 13 – 26.
9. Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. Applied geostatistics. Oxford University press, New York, 1989.
10. Naoum S., Tsanis I.K. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. Global Net the Int. J., vol.6, no.1, 2004, pp. 1-20.
11. Nikolova N, Vasilev S. Mapping Precipitation Variability Using Different Interpolation Methods. Conference on Water Observation System for Decision Support. (BALWOIS) Ohrid, Macedonia (CD version), 2006.
12. Rock N.M.S. Lecture Notes in Earth Sciences. Numerical geology (edited by Bhattacharji S., Friedman G.M., Neugebauer H.J. and Scielacher A.). Springer – Verlag, 1988, 427 p.
13. Seungyong L., Wolber G., and Sung Yong Shin. Scattered data interpolation with multilevel B – Splines. IEEE Transactions on visualization and computer graphics, vol.3, no.3, 1997.
14. Smith, W. H. F., and Wessel, P. Gridding with Continuous Curvature Splines in Tension, Geophysics, v. 55, n. 3, 1990, pp. 293-305.
15. Surfer version 10.7.972 (32 bit) and 11.2.848 (32 bit). Surface mapping system. <http://www.goldensoftware.com>, 2012.
16. Tao T., Chocat B., Liu S., Xin K. Uncertainty analysis of interpolation methods in rainfall spatial distribution - a case study of small catchment in Lyon. J. of Environmental Protection, no.1, 2009, pp. 50-58.
17. Vincent Chaplot, Frederic Darboux, Hocine Bourenane and oth. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. Geomorphology, 77, 2006, pp. 126–141.
18. Weber, D. and Englund, E. Evaluation and Comparison of Spatial Interpolators. Mathematical Geology. 24(4), 1992, pp.381-391.
19. Weber, D. and Englund, E. Evaluation and Comparison of Spatial Interpolators II. Mathematical Geology. 26(5), 1994, pp. 589-603.
20. Yang Ch, Kao S, Lee F, Hung P. Twelve Different Interpolation methods: A Case Study of Surfer 8.0. Geo-Imagery Bridging Continents, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey. <http://www.isprs.org/proceedings/xxxv/congress/comm2/papers/231.pdf>, accessed November 28, 2006.
21. Арнаут Н.А., Морару К.Е., Мельничук О.Н. и др. Комплексное обоснование возможности строительства водохранилищ в широкопойменных долинах малых рек (на примере р.Когыльник, г.Чимишлия). Buletinul Institutului de Geologie si Seismologie al ASM, N 2, 2012, стр.41-62.
22. Атлас Молдавской ССР. М., 1978г.

*Primit la redacție –26 iunie 2013*

УДК 556.3 (478)

Оларь А.П., Матвеева Е.Н., Морару К.Е.

## Некоторые особенности изменения во времени уровня грунтовых вод (на примере Республики Молдова)

### Abstract

*The subject of current case study is the phreatic groundwater regime. For this survey 20 representative wells were selected from the national monitoring network. The methodology of research included a choice of representative wells and the graphic analysis of groundwater level variations of the phreatic aquifer. On completeness and correctness of the presented time series, all chosen wells are subdivided into three types: 1) wells with continuous monitoring over water level during the long period of time; 2) wells with the interrupted and restored period of supervision, and 3) wells with the interrupted terms of supervision and technical mistakes in data recording. As a result of the analysis it is possible to make a conclusion that only data from wells with the continuous period of supervision can be used for statistical processing, and, therefore, for the hydrogeological and geoecological conclusions and forecasts. One of the monitoring characteristics is the lack of wide interval data, their inaccuracy at making measurements because of equipment or well malfunction. For restoration of absent values 4 possible ways of this mistake elimination are considered. The method of linear interpolation appeared the most successful among them.*

*For determination of the main characteristics of groundwater level changes the influence of climatic factors on them was estimated numerically. For this purpose 10 clusters consisting of regime wells and the meteorological stations next to them were defined. Total results allow making a conclusion that the aquifer of phreatic groundwater directly depends on atmospheric precipitation. Direct calculations of correlation coefficients between the amount of precipitation and groundwater levels indicate values from (-0.3) to (+0.07). Linear correlation between water level changes and atmospheric precipitation quantity considering the effect of evaporation shows that functional dependence is obvious ( $r_{\min} = 0.339$ ,  $r_{\max} = 0.734$ ).*

### Rezumat

*Obiectul de studiu al cercetării este regimul apelor freatice. Ca puncte de observație s-au selectat 20 de foraje din cadrul rețelei naționale. Metodele folosite includ selectarea sondelor reprezentative și analiza grafică a variațiilor apei în orizontul acvifer freatic. În dependență de corectitudinea și exactitatea seriilor de date în timp, toate sondele selectate pot fi împărțite în trei grupuri: 1) Sonde cu variația nivelului apei fără întreruperi în timp și schimbări oscilatorii naturale. 2) Sonde cu șiruri de date întrerupte (lipsă de date). 3) Sonde cu șiruri de date întrerupte și greșeli tehnice de înregistrare a nivelului apei. În rezultatul analizei poate fi făcută următoarea concluzie numai sondele cu variații ale nivelului apei fără întreruperi în timp pot fi folosite pentru generalizări hidrogeologice și geoecologice. Una din particularitățile cele mai nedorite ale colectării datelor de monitoring, este lipsa unor șiruri de date sau incorectitudinea altora. Pentru restabilirea (completarea) valorilor lipsă au fost examinate 4 moduri posibile de a rezolva aceste erori. Dintre acestea cea mai reușită a fost metoda interpolării lineare. Pentru evidențierea principalelor caracteristici ale modificărilor nivelului apelor freatice a fost evaluat numeric impactul factorilor climatici asupra acestora. Pentru aceasta au fost stabilite 10 clustere formate din sondele monitoring și cele mai apropiate stații și posturi meteorologice. Rezultatele sumare ne permit să concluzionăm că acviferul freatic este direct dependent de alimentarea cu apă din contul precipitațiilor atmosferice. Calculele directe a coeficienților de corelație între precipitații și nivelul freaticului cuprinde valori de la (-0,3) până la (+0,07). Corelația liniară între variațiile nivelului apei și diferenței (P-E) arată că dependența funcțională este evidentă ( $r_{\min}=0.339$ ,  $r_{\max}=0.734$ ).*

## Резюме

*Предметом настоящего исследования является режим грунтовых вод. Для наблюдения были отобраны 20 репрезентативных скважин из национальной мониторинговой сети. Методика исследований включала выбор репрезентативных скважин и графический анализ вариаций уровней подземных вод грунтового водоносного горизонта. По полноте и правильности представленных временных рядов, все выбранные скважины подразделяются на три типа: 1) скважины с непрерывным наблюдением за уровнем воды в течение длительного периода времени; 2) скважины с прерванным и восстановленным периодом наблюдений и 3) скважины с прерванными сроками наблюдения и техническими ошибками в записях данных. В результате анализа можно сделать вывод, что только данные со скважин с непрерывным периодом наблюдений могут быть использованы для статистической обработки, а, следовательно, гидрогеологических и геоэкологических заключений и прогнозов. Одной из особенностей мониторинга является отсутствие данных большими интервалами, их ошибочность при снятии замеров из-за неисправности оборудования или самих скважин. Для восстановления отсутствующих значений рассмотрено 4 возможных способа устранения этих ошибок. Среди них самым успешным оказался метод линейной интерполяции.*

*Для выделения основных характеристик изменения уровня грунтовых вод численно оценивалось влияние на них климатических факторов. Для этого были определены 10 кластеров, состоящих из режимных скважин и ближайших к ним метеорологических станций. Суммарные результаты позволяют сделать вывод о том, что водоносный горизонт грунтовых вод напрямую зависит от питания за счет атмосферных осадков. Прямые подсчеты коэффициентов корреляции между количеством осадков и уровнем грунтовых вод показывают значения от (-0.3) до (+0.07). Линейная корреляция между изменениями уровня воды и количеством атмосферных осадков с учетом эффекта испарения показывает, что функциональная зависимость очевидна ( $r_{min} = 0.339$ ,  $r_{max} = 0.734$ ).*

## Введение

В настоящее время около 95% сельского населения Республики Молдова [2], используют питьевую воду из первого от поверхности водоносного горизонта, т.е. горизонта, содержащего грунтовые воды. С ростом численности населения, урбанизацией и уровнем индустриализации страны вопрос качества вод и рационального использования водных ресурсов этого горизонта весьма актуален. Ключевым элементом любой программы управления водными ресурсами является мониторинг воды. В этом контексте обработка данных мониторинга состояния грунтовых вод является актуальной и своевременной.

Решение проблемы снижения качества и количества грунтовых вод требует активизации сбора и обработки информации, построения и использования прогнозных моделей, и контроля реализуемости этого прогноза.

## Материал и методики

Система по сбору и обработке информации включает в себя выявление и фиксирование цифровой информации, структурирование нечисловой (качественной) информации, оптимизацию данных и контроль за ними.

Мониторинг подземных вод Республики Молдова проводится Лабораторией Гидрогеологии и инженерной геологии АН РМ на основании собственных материалов, материалов фондов Государственного агентства по геологии

(«AGeoM») [4] и других организаций, обеспечивающих получение информации, достаточной для объективной оценки состояния подземных вод.

В качестве основного объекта наблюдения в изучении режима грунтовых вод выступают скважины национальной режимной сети [3].

Для анализа изменений происходящих с грунтовыми водами в течении года или за более длительное время для каждой скважины проводятся 3 группы наблюдений:

- за гидростатическим уровнем;
- температурой воды;
- за визуальными экологическими изменениями.

Эти наблюдения проводятся через три дня, начиная с 3-го числа и заканчиваются в последний день каждого месяца. Наряду с наблюдениями за режимом грунтовых вод проводятся и измерения температуры воды в скважине. В эту группу включены качественные наблюдения за атмосферными осадками, растительностью, техногенными изменениями и другими факторами, влияющими на режим грунтовых вод в скважине.

Чтобы определить любые изменения, которые произошли в уровне и движении грунтовых вод, необходимо проводить наблюдения с определенной четко установленной частотой, указанной выше. Простым расчетом вычисляется среднемесячное значение уровня грунтовых вод.

На лабораторном этапе вся полученная в поле информация систематизируется. На этом этапе также важна общая гидрогеологическая, геологическая, метеорологическая информация (осадки, температура воздуха и др.), получаемая из других источников.

Фактический материал, полученный в полевых условиях, а также данные гидрологических, геологических и метеорологических исследований обрабатываются на компьютерах с помощью специализированных программ, таких как SPSS16, Microsoft Office Excel, Surfer 10 и др., помогающих систематизировать данные для того, чтобы обосновать выводы об изменениях, происходящих в водоносном горизонте, и создать прогнозные модели предполагаемых изменений.

Предметом настоящего исследования является режим грунтовых вод. Для наблюдения были отобраны 20 репрезентативных скважин из национальной мониторинговой сети. Для каждой скважины были построены литологические колонки, а также подготовлена исходная матрица данных, состоящая из двух компонент: дата замера и среднемесячный уровень воды (м). Другая созданная матрица содержит данные с метеорологических станций, которые входят в национальную сеть Государственной Гидрометеорологической Службы (ГГС) Республики Молдова и включает в себя следующие компоненты: осадки (О), испарение (И) и температуру воздуха.

### **Результаты и обсуждение**

Изменения уровня грунтовых вод во времени показывают графики наблюдений за период 1989 – 2010 г.г., построенные для 20 выбранных репрезентативных скважин (рис. 1), характеризующих исследуемый район.

Все полученные данные были обработаны графически. Графики временного изменения уровня грунтовых вод, как правило, очень различны по амплитуде вариаций.



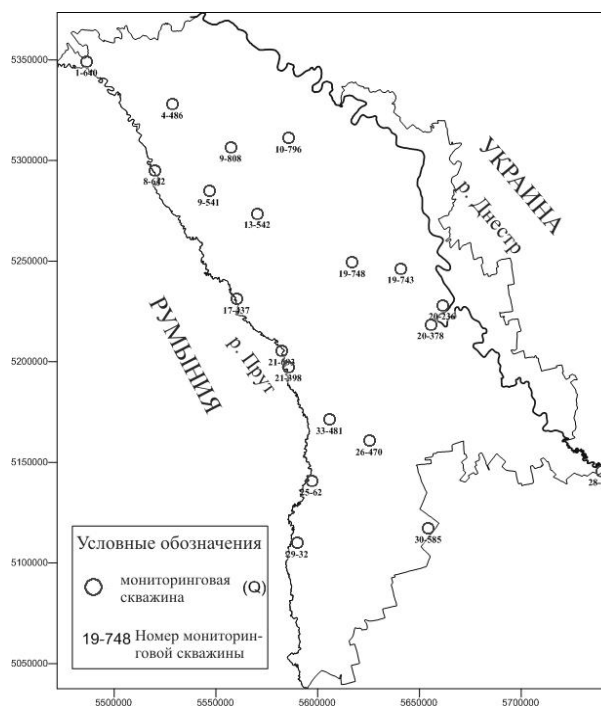


Рис. 1. Географическое положение скважин мониторинга грунтовых вод.

Изучая изменения уровня воды, наблюдаемые в скважинах и приведенные графически, отмечаем следующее:

1) Скважины с непрерывным наблюдением за уровнем воды в течение длительного периода времени (рис. 2);

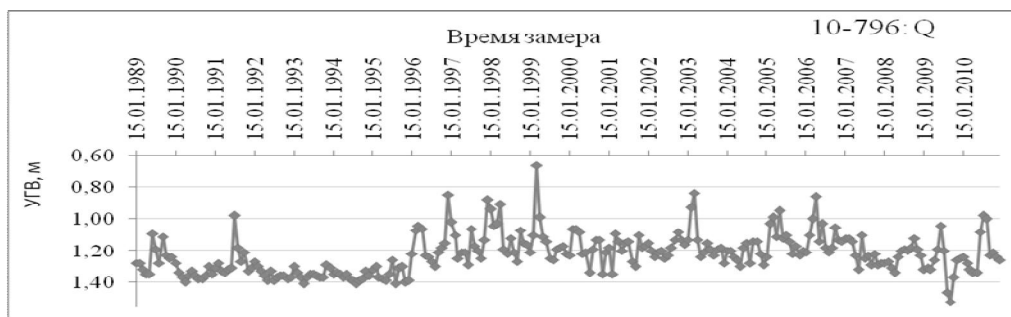


Рис. 2. Изменение уровня четвертичного водоносного горизонта (Q) при непрерывном наблюдении.

Эти графики могут быть обработаны и проанализированы статистически. На них четко прослеживаются колебания уровня грунтовых вод в естественных природных условиях (в дальнейшем такие скважины позиционируются как «нормальные»).

2) Скважины с прерванным и восстановленным периодом наблюдений (отсутствие данных) (рис. 3). В этих случаях фиксируется отсутствие данных за период от одного до 5 лет. Обычно, если замеры после перерыва возобновляются, анализ этих данных требует особого внимания.



Рис. 3. Изменение уровня четвертичного водоносного горизонта (Q) с перерывом в наблюдении.

3) Скважины с перерванными сроками наблюдения и техническими ошибками в записях данных (рис. 4). Эти скважины характеризуются существенной разницей между показаниями уровня грунтовых вод. В этом случае мы можем говорить либо о технической неисправности замеряющих приборов, либо о кардинальном изменении уровня воды в водоносном горизонте, связанном с внешними изменениями природных условий.

Данные для этих категорий скважин фактически непригодны для геостатистического анализа. Только некоторые интервалы вариаций уровня воды можно считать надежными.

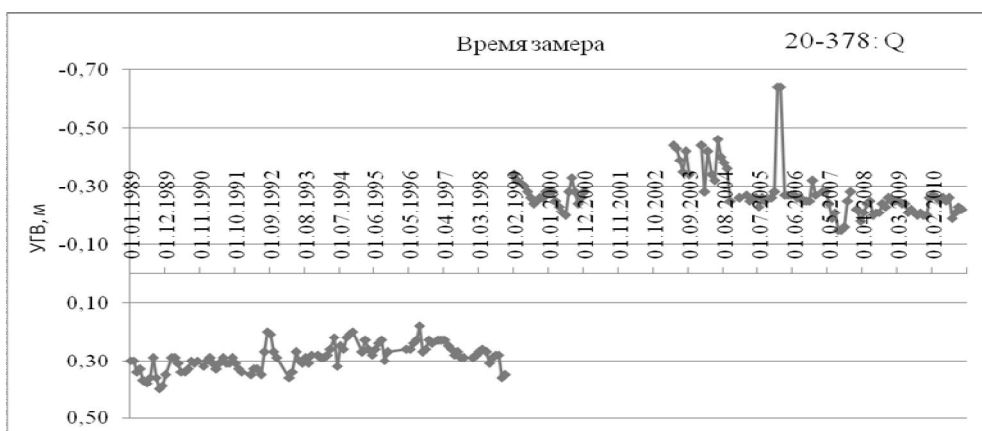


Рис. 4. Изменение уровня четвертичного водоносного горизонта (Q) с перерывами в наблюдении, с техническими ошибками или связанное с изменениями внешних условий.

В результате этого краткого анализа можно заключить:

а) данные режимных наблюдений за грунтовыми водами не всегда являются удовлетворительными и могут быть использованы для дальнейшей обработки;

б) только данные со скважин с непрерывным периодом наблюдений могут быть использованы для статистической обработки, а, следовательно, гидрогеологических и геоэкологических заключений и прогнозов.

Данные с остальных скважин (категории 2 и 3) могут быть использованы в качестве дополнительной информации для формирования общего обзора состояния подземной гидросферы.

Для того чтобы получить количественные значения собранных данных и для разработки индикаторов, характеризующих изучаемый временной ряд, использованы возможности, предоставляемые описательной статистикой Microsoft Office Excel 2007. Использовалась процедура Descriptives statistics из меню Analyze. Она включает в себя сбор данных, представляя их в виде таблиц, графиков, а также устанавливает статистические индикаторы. Эта процедура вычисляет и отображает одномерные статистические индикаторы (одна переменная в определенный момент времени) для различных переменных и может рассчитать стандартизированные значения для каждого случая.

Она также показывает минимальные и максимальные значения, найденные в базе данных, что позволяет сразу выделить наличие недопустимых значений. Для каждой выбранной скважины рассчитывается среднестатистическое значение, стандартное отклонение, дисперсия, асимметрия, эксцесс.

Одним из нежелательных особенностей мониторинга, является отсутствие данных большими интервалами, ошибочность их при снятии замеров из-за неисправности оборудования или самих скважин. Какой бы ни была причина отсутствия «правильных данных», положение можно исправить путем присвоения значения «опущен». Такая ситуация характерна для потока данных при измерении уровня грунтовых вод. Программное обеспечение SPSS 16 дает нам возможность решения этой проблемы. В этом случае необходимо использовать параметр «Заменить пропущенные значения» (Replace Missing Values из меню Transform). Функция Replace Missing Values предусматривает несколько альтернативных ситуаций для определения опущенных значений. В нашем случае имеются пробелы в массиве данных как в начале и конце, так и в середине ряда, отсутствуют либо одно, либо несколько значений подряд.

Для восстановления отсутствующих значений доступно несколько методов:

1) Соседние точки. Заменяются пропущенные значения соответствующими значениями для всей серии.

2) Средние значения соседних точек. Заменяются пропущенные значения по средним значениям ближайших точек. Интервал ближайших точек - число действительных значений выше и ниже отсутствующего значения используется для расчета среднего значения.

3) Линейная интерполяция. Заменяет пропущенные значения с использованием линейной интерполяции. Последнее действительное значение перед пропущенным значением и первое допустимое значение после пропущенного значения используются для интерполяции. Если первое или последнее значение в серии отсутствует, то отсутствующее значение восстановить невозможно.

4) Линейный тренд точек. Заменяет пропущенные значения с линейным трендом для пропущенной точки. Существующая серия регрессирует по индекс-переменной шкале от 1 до n. Отсутствующие значения заменяются их ожидаемыми значениями.

Ниже приведены некоторые примеры использования этого метода (рис. 5 - 8).

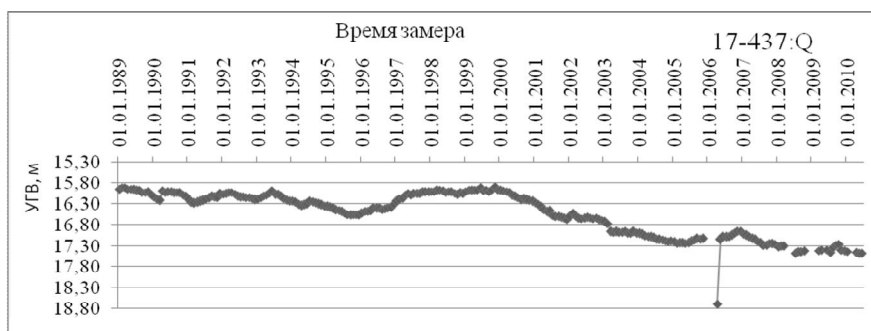


Рис. 5. График с оригинальным данными.



Рис. 6. График с расчетом отсутствующих значений.



Рис. 7. График с оригинальным данными.



Рис. 8. График с расчетом отсутствующих значений.

Среди всех предложенных способов, самым успешным оказался метод линейной интерполяции. Однако этим методом не удалось заполнить недостающие значения в начале или в конце интервала наблюдений.

Чтобы выделить основные характеристики изменения уровня грунтовых вод необходимо численно оценить влияние климатических факторов на грунтовые воды [1]. Для этого были определены 10 кластеров, состоящих из режимных скважин и ближайших к ним метеорологических станций (рис. 9). По каждой метеостанции были собраны данные о температуре, атмосферных осадках, испарении за интересующий нас интервал времени.

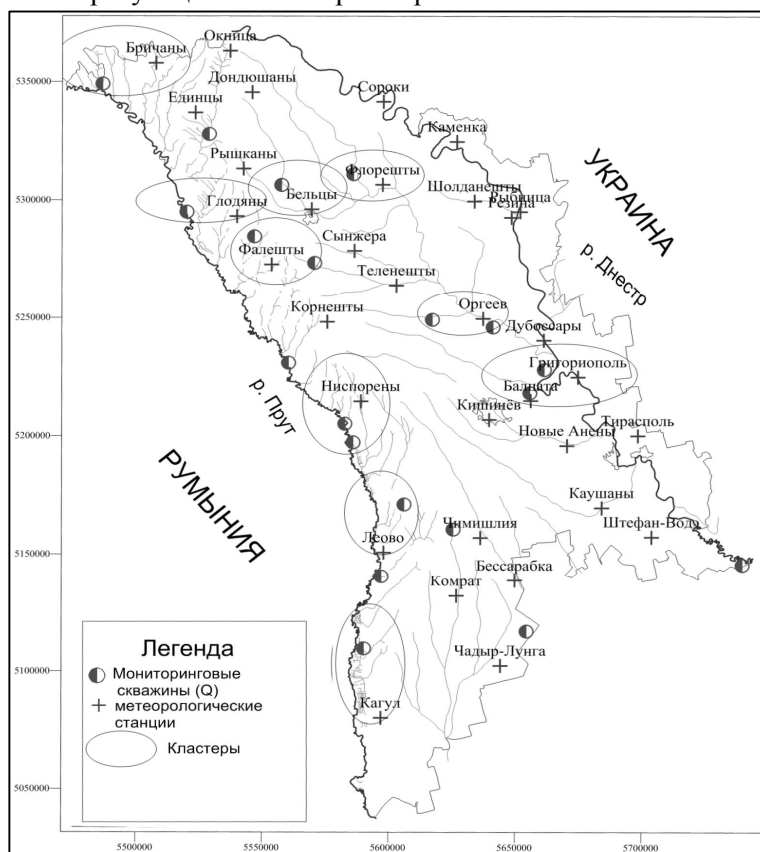


Рис. 9. Расположения кластеров мониторинговых скважин и метеостанций.

По указанным выше причинам из отобранных ранее скважин были использованы только 20, в принципе представляющие северную, центральную и южную часть Молдовы. Данные по испарению были собраны только по трем метеорологическим станциям: Бричень - на севере страны, Кишинев - центральная часть и Кагул - соответственно, для южной части территории.

Эти данные являются репрезентативными для всей республики и приблизительно показывают региональные тенденции вариаций процесса испарения.

Для анализа колебаний уровня грунтовых вод в зависимости от основных элементов влияющих на него (осадки (O), суммарное испарение (И)), изначально исходим из предположения, что основным источником питания горизонта грунтовых вод являются атмосферные осадки. Чтобы увидеть числовую

зависимость между вышеназванными элементами и изменением уровня грунтовых вод, используются расчеты, учитывающие коэффициент корреляции между среднемесячным количеством осадков, испарением и уровнем грунтовых вод. С этой целью использовались среднемесячные данные (рис. 10).

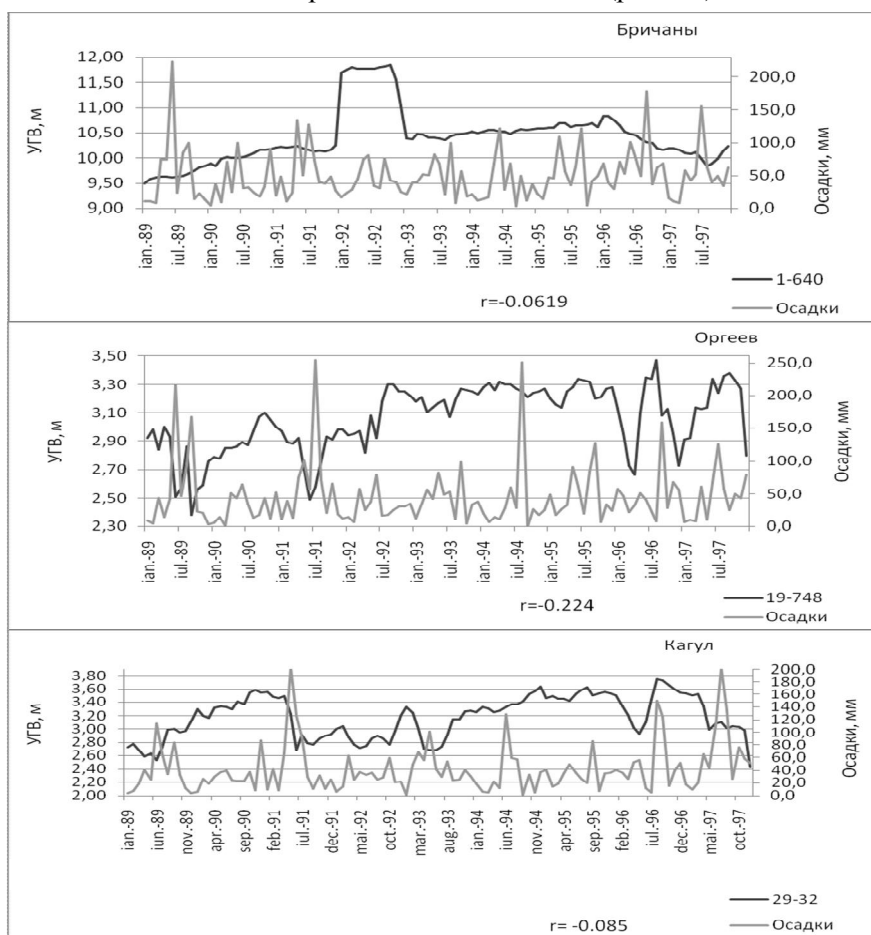


Рис. 10. Корреляция режима уровня грунтовых вод (УГВ) с количеством осадков (О)

Прямой расчет коэффициентов корреляции между количеством осадков и уровнем грунтовых вод показывает значения от (-0.3) до (+0.07) (таб. 1, ряд УГВ – О).

Таблица 1.

Коэффициент корреляции между УГВ и О, УГВ и  $O_1$

№ скв.	1-640	8-642	9-808	10-796	13-542	19-748
УГВ - О	-0.061	-0.075	0.077	-0.31	-0.072	-0.224
УГВ - $O_1$	0.615	0.647	0.663	0.734	0.673	0.56
№ скв.	21-693	21-398	20-236	20-378	29-32	33-481
УГВ - О	-0.236	-0.223	-0.079	-0.129	-0.085	-0.234
УГВ - $O_1$	0.448	0.37	0.339	0.401	0.515	0.508

С точки зрения геостатистики такие значения корреляции не являются значимыми. Это объясняется тем, что в процессе инфильтрации осадков

наблюдается явление задержки атмосферных вод из-за гидродинамических особенностей и литологического состава в каждом отдельном случае.

Грунтовый водоносный горизонт питается по всей площади только частью инфильтрационной воды, т.к. часть осадков уходит на испарение и поверхностный сток. Этот процесс «сдвигает» на оси времени коррелируемые значения и несовпадение между ними приводит непосредственно к снижению коэффициента линейной корреляции. Учитывая вышесказанное, из суммарного количества атмосферных осадков был удален фактор испарения, для того чтобы исследовать зависимость прямого количества осадков на уровне грунтовых вод (рис. 11):

$$O_1 = O - И,$$

где  $O_1$  - количество атмосферных осадков без испарения,  $O$  - атмосферные осадки,  $И$  - испарение.

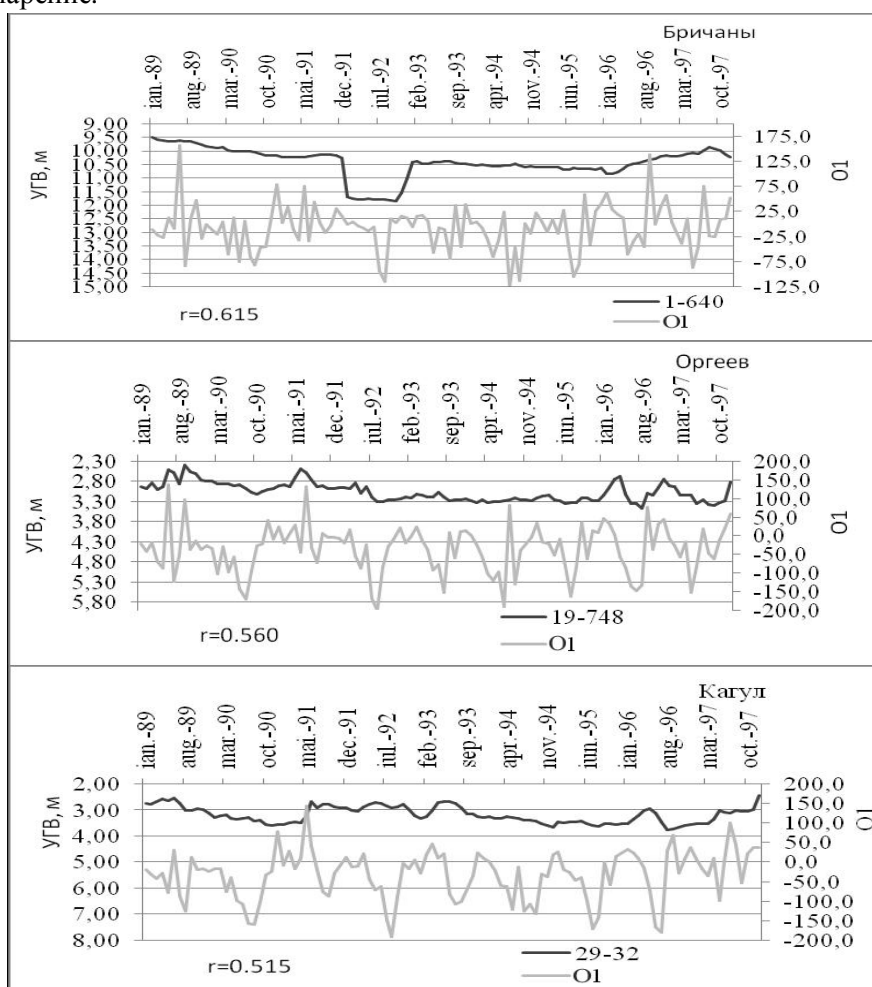


Рис. 11. Сравнение режима уровня грунтовых вод (УГВ) и атмосферных осадков ( $O_1$ ) с учетом испарения (И).

Расчеты коэффициента корреляции ( $r$ ) показывают, что его значения для рассматриваемого периода (1989 – 1997 г.г.) попадают в интервал от  $r = 0.339$  до

$r = 0.734$  (таб. 1, ряд УГВ –  $O_1$ ). Результаты расчетов дают положительную корреляцию высокого уровня, что показывает тесную связь между гидростатическим уровнем грунтовых вод и количеством атмосферных осадков. С увеличением количества осадков функционально повышается и уровень грунтовых вод.

Замеры уровня грунтовых вод за период 1989 - 1997 г.г. показывают положительные и отрицательные колебания, которые коррелируют с количеством атмосферных осадков за тот же период времени. Корреляция между ними статистически низкая и не отражает функциональную зависимость между осадками (О) и УГВ.

Расчет коэффициента корреляции между среднемесячным количеством осадков (с учетом фактора испарения) и уровнем грунтовых вод дает значения гораздо более близкие к прямолинейной зависимости (до  $r = 0.734$ ).

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие общие выводы:

1) Каждая скважина имеет свои собственные особенности режима уровня грунтовых вод за годы наблюдений;

2) Анализ данных изменения уровня грунтовых вод во времени выявил следующее:

а) режим уровня грунтовых вод в природных условиях не отражает прямую тенденцию увеличения или уменьшения запасов воды грунтового горизонта;

б) режим уровня грунтовых вод зависит от ряда факторов, которые обусловлены процессами обмена воды в зоне аэрации, а также природными и искусственными процессами, которые происходят в непосредственной близости к контрольным скважинам;

в) основными факторами, влияющими на грунтовый горизонт, являются метеорологические, а именно: атмосферные осадки и температура воздуха. Прямые подсчеты коэффициентов корреляции между количеством осадков и уровнем грунтовых вод показывают значения от (-0.3) до (+0.07). Линейная корреляция между изменениями уровня воды и разницей (О - И) показывает, что функциональная зависимость очевидна ( $r_{\min} = 0.339$ ,  $r_{\max} = 0.734$ ).

3) Изменение уровней в водоносном горизонте грунтовых вод зависит от питания последнего за счет атмосферных осадков. Величина питания уменьшается одновременно с увеличением глубины залегания уровня грунтовых вод. В таких условиях водоносный горизонт грунтовых вод (особенно в пределах положения уровня до 3 м) является уязвимым к техногенной деятельности, которая, как правило, способствует загрязнению питьевых подземных вод.

### Литература

1. Moraru C. și al. Metodologia monitorizării și exploatării apelor subterane ale Republicii Moldova. - Raport IGS al AȘM, Ch., 2010. - 258 p.
2. Взнуздаев С.Т. Грунтовые воды Нижнего Приднестровья. М., 1959.
3. Зеленин И. В и др. Отчет по теме «Изучить основные закономерности формирования грунтовых вод в связи с мелиорацией земель юга Молдавии и охраной среды при мелиоративном освоении территории». Заключительный отчет, ИГС АНМ, Кишинёв, 1990. - 336 с.
4. Сводные отчеты по изучению режима и баланса подземных вод на территории Молдавской ССР и Республики Молдова. - Фонды АГеоМ, 1982 – 2010.

*Primit la redacție –28 iunie 2013*



CZU 550.34

Sandu I., Ionescu C<sup>\*</sup>., Alcaz V., Mărmureanu Al<sup>\*</sup>.

## **Sistemul de alarmare seismică rapidă (SASR) pentru teritoriul Republicii Moldova: timp de alarmă și aspecte de procesare**

### **Abstract**

*The study is dedicated to Rapid Seismic Alarm System (RSAS) alarm time assessment, for Republic of Moldova (RM) territory (case study - Chisinau city). The seismic wave propagation aspect is reduced to a statistical study of recorded data, provided by ISC bulletin (1965-2012) for Vrancea seismogenic area, and use of regional structure models (HYPO+), for comparative analysis of spatial seismic locations done by ISC (global models ak-135) and those given by seismic records.*

*The geometry and the distributions of the seismogenic areas distinguish ( $2^{\circ} \times 2^{\circ} / 1^{\circ} \times 1^{\circ} / 0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ) sectors, with 5856, 4508, 3259 seismic events, and 15570, 12999, 10325 pairs of P/S phases, respectively recorded at 13 ISC seismic stations (as instrumental record's reference for the investigated area).*

*In case of RSAS, the alarm time estimated for Chisinau-city is about 40 seconds and for Bucharest -city is about 28 seconds, with 12 seconds shorter than Chisinau-city case. Also, it is necessary to be added this fact, for all RM territory the alarm time is higher (or equal - for SE part of the country) than alarm time for Bucharest-city. The actual Bucharest RSAS uses the regional seismic station network data of National Institute of Earth Physics (NIEP).*

### **Rezumat**

*Studiul este dedicat evaluării timpului de alarmă al SASR, pentru teritoriul RM (mun. Chișinău).*

*În lucrare, aspectul propagării undelor seismice se reduce la studiul statistic al datelor de înregistrare seismică, furnizate de buletinul ISC (1965-2012), din arealul seismogen zona Vrancea, și aplicația modelului de structură regională HYPO+ pentru analiza comparativă a rezultatelor localizării spațiale din ISC (modelul global ak-135) și celor din observări.*

*Geometria și amplasamentul ariilor seismogene evidențiază domeniile ( $2^{\circ} \times 2^{\circ} / 1^{\circ} \times 1^{\circ} / 0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ) pentru care buletinul ISC furnizează 5856, 4508, 3259 evenimente seismice, cu respectiv 15570, 12999, și 10325 perechi de faze P/S, înregistrate la 13 stații seismice de reper ale regiunii investigate.*

*Pentru municipiul Chișinău, la aplicarea SASR, timpul de alarmare estimat ca fiind 40 secunde; municipiul București, are timpul de alarmare 28 secunde, e mai mic cu 12 secunde decât pentru Chișinău. Pentru întreg teritoriul RM, timpul alarmării este mai mare (sau egal - pentru partea SE al RM) decât al mun. București, în cazul implementării SASR - ce aplică datele rețelei seismice regionale al Institutului Național de Fizică al Pământului (INFP).*

---

<sup>\*</sup> Institutul Național de Fizică al Pământului (INFP), OP MG-2, Măgurele, Ilfov, România

## Introducere

Teritoriul Republicii Moldova (RM) este influențat de zona seismogenă Vrancea. Impactul generat de undele seismice (asupra infrastructurilor) a fost clasificat prin 8°, 7°, și 6°, în scara intensității MSK, de-a lungul sec.XX, pînă în momentul de față. Acest lucru e considerat în codul “antiseismic” de construcție, ca metodă clasică “*de protejare a vieților omenești*” – asigurare a seismorezistenței necesare clădirilor.

Preîntîmpinarea prăbușirii construcțiilor reprezintă sarcina primară a diminuării riscului seismic. A doua măsură utilizată în regiunile cu risc seismic înalt pe glob, spre diminuarea pierderilor posibile de vieți omenești, reprezintă Sistemul de Alertă Seismică Rapidă [SASR] (Early Warning System “EWS”), ce distribuie alarma sosirii undei S distructive către “utilizatori”.

Furnizarea semnalului de avertizare informează populația din zona respectivă asupra sosirii unor mișcări puternice la sol (unda S), înainte chiar ca unda P (care este mai rapidă decît S, și în mod normal ne informează despre apropierea în timp a mișcărilor puternice la sol) să ajungă în aceeași zonă. Acest semnal de avertizare poate fi apreciat *a priori* ca o soluție optimă și pentru RM, ce ar reduce pierderile de vieți omenești în cazul seismelor puternice. Pentru moment, nu funcționează niciun sistem de alertare rapidă pe teritoriul RM. Acest subiect nu a fost încă investigat și dezvoltat pentru a oferi unele viziuni clare privind eficiența posibilă în diminuarea pierderilor de vieți omenești la implimentarea SASR pentru RM.

În lucrare, se menționează succint (aspectul tehnic) integritatea și funcționalitatea monitorizării seismice regionale, în baza rețelei de stații seismice din România și Moldova (RM), fiind prezentat SASR funcțional pentru municipiul București ca un exemplu și o perspectivă de implimentare a proiectului pentru municipiul Chișinău [1].

Scopul studiului este în a completa lacunele cunoașterii (aspectul propagării semnalului seismic) pentru implimentarea SASR în teritoriul RM.

*Transmisia semnalului de avertizare*, la momentul de față, în cadrul SASR, ar fi posibilă prin căile: terestre (la sol), cît și prin satelit. Funcționalitatea SASR “la sol” se asigură prin metode clasice de retranslare a semnalului de la o arie la alta (internet, radio, telefon). Însă, prin satelit se asigură transferul semnalului direct (și simultan) în fiecare zona avertizată.

Generalizînd caracteristica transmisiei semnalului “alertă seismică” se evidențiază aspectele vulnerabilității, viteza și debitul datelor canalelor de transmisie, costul echipamentului (împreună cu serviciile de întreținere). Implimentarea SASR, pentru teritoriul RM, devine un proiect real din punct de vedere financiar în cazul transmisiei “la sol” al datelor (semnalului de avertizare), prin căi clasice (internet, radio, telefon). Un avantaj este conectarea existentă al Observatorului Seismic (OS) de la Chișinău la rețeaua regională (monitorizare seismică, cu transfer de date în regim real).

*Aspectul procesării datelor* în SASR funcțional (municipiul București) ar include două etape de localizare interdependente: spațio-temporală și energetică, care în regim automat consumă un timp  $\Delta t_P \sim 5.0$  secunde [2]. Aici, localizarea energetică a seismului (estimarea magnitudinii) reprezintă elementul decizional din procedura, ce ar defini acțiunea ulterioară de trimitere a semnalului “alertă” (sau tăcere a sistemului).

În lucrare, se propune un studiu al propagării undelor seismice P/S, cu estimarea intervalului de timp “brut” (de acțiune, în caz de alarmă) pentru teritoriul RM, inclusiv municipiul Chișinău. La realizarea acestui obiectiv, ca abordare integră, se propune valorificarea datelor observaționale (timpul de sosire din buletine seismice) și propagarea semnalului seismic prin medii de structură regională ipotetice (tabelele Jeffrey-Bullen [JB], Preliminary Earth Model [PREM], iasp91, HYPOPLUS [HYPO+]).

*Date observabile*

Primele analize statistice ale datelor observabile (înregistrările timpului de sosire la stații seismice) sunt sistematizate și interpretate în tabelele JB, ca variantă a modelului de structură globală, prin care se propagă diferite forme de perturbații (vibrații, sau unde) elasto-mecanice [3]. Aici, în funcție de adâncime, găsim valorile teoretice pentru principalele faze ( $P$ :  $P_g$ ,  $P_n$ ,  $P^*$  și  $S$ :  $S_g$ ,  $S_n$ ,  $S^*$ ), ce se considera de precizie înaltă (erori sub 0.2%) în raport cu valorile observabile [4].

Unul din aspecte ale studiului de propagare a semnalelor seismice prin medii elasto-mecanice a fost, și este în continuare, determinat de raportul  $V_p/V_s$ , sau  $T_s/T_p$ ; acest indice îl considerăm în lucrare. Studii statistice regionale asupra propagării undelor  $P$  și  $S$  (în baza modelului JB) scot în evidență o variație cu adâncimea a raportului  $V_p/V_s \approx 1.8-1.9$  (pentru hipocentre mai adânci ca 100km) [5], iar pînă la 100km găsim raportul vitezelor  $V_p/V_s \approx 1.7-1.8$ , conform tabelelor JB [3]; aceste valori sunt în concordanță cu cele din structura regiunii, unde  $V_p/V_s \approx 1.67-1.80$ , la adâncimile 0-65km [6, 7].

Studiul propagării undelor seismice regionale (prin structura Scutului Ucrainian) scoate în evidență constanța raportului  $V_p/V_s \approx 1.68$ , pentru stratul de granit, iar pentru crusta Pămîntului (în structura cristalină globală) raportul  $V_p/V_s \approx 1.68-1.70$  ar fi constant [8]. Deasemenea, o serie de investigații tomografice din spațiul Carpaților de Est (care consideră și teritoriul RM) prezintă unele fluctuații cu adâncimea pentru raportul  $V_p/V_s \approx 1.85$  (250km),  $V_p/V_s \approx 1.75$  (150km) [9].

Inversiile seismice 3D, în baza observațiilor actualizate recent, fixează anomalii care nu depășesc 2% pentru valorile  $V_s$  și  $V_p$  din modelele structurilor globale de referință: iasp91, PREM, și ak-135, pînă la 600km adâncime [10, 11].

În baza celor expuse, o primă concluzie este că aspectul propagării relative a unde  $P$  și  $S$  nu a fost vizualizat în dependență directă ca  $T_s$  și  $T_p$  observabil, îndeosebi, în sectorul estic față de arcul Carpaților Orientali. Acest aspect reprezintă unul dintre obiectivele studiului de față, pentru identificarea corelării analitice dintre  $T_p$  și  $T_s$ .

Tot aici, adăugăm cîteva din expresiile analitice pentru timpul parcurs de unda  $P$  și  $S$ , prin structura regională, ce aproximează prin polinom de ordinul 1 și 2 tabelul timpilor de sosire în zona Vrancea:

legea de aproximare pentru unda ( $P_M=P_n$ )  $T_p(x)=9.091+0.1251 \cdot x$ , [12]

legea de aproximare pentru unda ( $S_M=S_n$ )  $T_s(x)=12.545+0.230 \cdot x$ , [12]

aici,  $x$ [km] ( $200 \leq x \leq 400$ km) [12], cu adâncimi  $0 \leq x \leq 40$ km ( $V_p/V_s \approx 1.70-1.71$  [13]).

Pentru adâncimi subcrustale  $50 \leq x \leq 160$ km  $V_p/V_s \approx 1.836$  [14], cu toate că pentru domeniul de platformă estic (în raport cu arcul Carpaților Orientali) se estimează valori  $V_p/V_s \approx 1.74-1.75$  ( $0 \leq x \leq 45$ km) și  $V_p/V_s \approx 1.77$  ( $45 \leq x \leq 100$ km) [15]. În modelele regionale, ulterior, se aplică  $V_p/V_s \approx 1.75$  [16].

Investigația statistică a datelor observabile din buletinul ISC aproximează analitic, prin polinom de ordinul 6, modelul JB regional aplicat în localizările hipocentrale de ISC ( $\Delta \leq 10^\circ$ ) [3]. Localizarea, în mare parte, ar introduce erori și este cauza dispersiei valorilor de la legea generală, însă, aspectul dat se discută mai puțin în studiile anterioare.

*Date teoretice (Modele de structură, sau de viteză)*

Pe parcursul sec.XX s-au elaborat și dezvoltat modele pentru structura internă a Pămîntului, care reprezintă distribuția spațio-cauzală (sau ipotetică) a proprietăților de propagare pentru semnalele seismice, din focar - spre punctul de observare (înregistrare). Aceste modele vizualizează procesul de propagare al undelor seismice în fiecare moment

de timp și spațiu. Cazul complex al problemei directe (propagarea de la sursă spre observator) ține cont de aspectul atenuării și disipării energiei în spațiu, la fel cum problema inversă implică estimarea momentului seismic, sau magnitudinii. Aspectul energetic al modelelor nu va fi considerat în studiul prezent.

Diversitatea modelelor cunoscute la moment se explică prin evoluția cunoașterii structurii interne a Pământului: Jeffrey-Bullen (JB) este aplicabil (de referință) în prima jumătate a sec. XX, ca ulterior, după dezvoltarea rețelei globale de înregistrare și a metodelor analitice de prelucrare, interpretare, a datelor seismice (tomografia), să apară PREM, iasp91, ak-135 [17]. Modelele date sunt ipotetice, însă sunt actualizate continuu cu noi date din observații seismice, și ne prezintă tabloul cel mai probabil al structurii interne al Pământului, împreună cu propagarea undelor seismice prin această structură. Menționăm că structura ak-135 este folosită în localizarea spațio-temporală ale evenimentelor seismice, de către ISC (evenimentele de după anul 2006).

Modelele globale se consideră omogene și cu suprafețele plan-paralele (la nivel local și regional), sau sunt definite, în profil 1D, ca domenii concentrice (nivel global). Aproximarea heterogenității cu un spațiu omogen se regăsește în discuțiile despre precizia localizării seismice drept cauza erorilor și dispersiei poziționării spațiale a focarelor (localizarea seismică spațio-temporală conține erori). Tot aici, în spațiul de studiu (regional,  $\Delta \leq 4.0^\circ$ ), folosim aproximația - "straturi plan-paralele". Modelele regionale reprezintă structura litosferei Pământului, determinată prin tomografie seismică, ce inițial s-a definit prin 4 straturi fundamentale: sedimentar, granitic, bazaltic și *ultrabazaltic* [5]. În timp, geometria și proprietățile de propagare a undei seismice pentru acestea au suferit schimbări, însă aceste patru categorii distincte ale proprietății de propagare a undelor seismice în structură rămân intacte până la momentul de față [16, 19, 20-28]. Diversitatea acestor modele se explică prin varietatea setului de date aplicat (cantitativ) și metoda de analiză aplicată (calitativ) la prelucrarea înregistrărilor seismice. Pentru calculul timpului de parcursie  $T_p = F(\Delta)$  se aplică modelul HYPO+ [26].

### **Analiza statistică a datelor observabile**

Pentru aprecierea distribuției spațial-relative a zonei seismogene și arealul investigat (teritoriul RM) se prezintă datele catalogului regional ROM+ (1978-2008), împreună cu stațiile seismice selectate ale arealului investigat (Figura 1). Aceste stații definesc intervalul de timp observabil, fiind descrise detaliat în Tabelul.1. Intervalul de timp al datelor ISC folosite în studiu este 1965-2012.

Ulterior, s-a folosit datele buletinului ISC, pentru reprezentarea seismicității regionale din intervalul de timp 1965-2012 (Figura 2). Procedura de filtrare *epicentrală* (arealul #1, 2, 3) a scos în evidență un număr de 5856, 4508, 3259, evenimente seismice, cu densitate sporită în areal #3 ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ).

Seturile de evenimente seismice menționate se filtrează după conținutul stațiilor selectate, astfel ca stația să raporteze, simultan, faza *P* și *S*. Prin urmare, numărul perechilor *P/S* (raportate pe stație) se prezintă în Tabelul 2 și Figura 2 (prin culori corespunzătoare); în lucrare se consideră combinațiile de faze ( $P/P_n/S/S_n$ ), raportate în buletin (ISC), iar procesarea datelor aici se axează pe analiza statistică a trei parametri: distanța epicentrală ( $\Delta$ ),  $T_p$  și  $T_S$ .

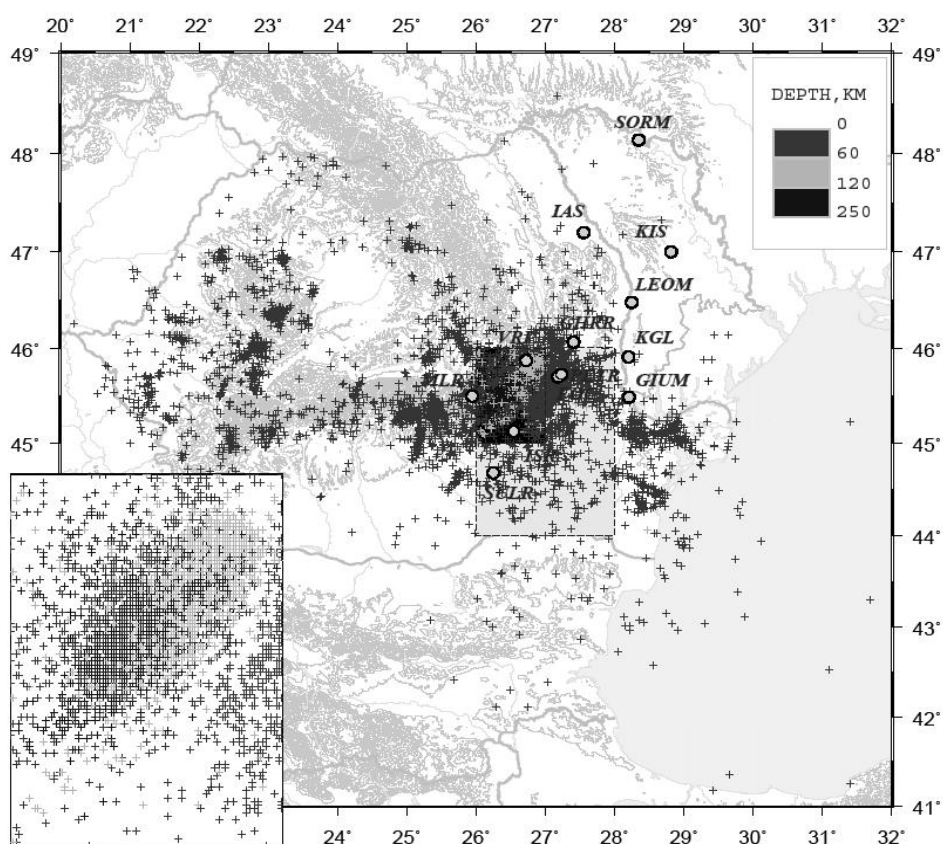


Fig.1. Seismicitatea regiunii investigate; distribuția focarelor seismice, conform ROM+ (1978-2008), este un material expus de autor în lucrarea [29].

În domeniul de culoare gri-deschisă regăsim zona seismogenă investigată (2°x2°); cerculețele sunt stațiile seismice considerate; Imaginea mărită -zona Vrancea; domeniul colorat în negru (1°x1°) pe harta general (variantea color a imaginii GMT se găsește în raportul NERA-T2 [30]).

Tab.1. Stații seismice aplicate

Nr.	Cod-STA	Lat, N	Lon, E	Amplasamentul-Localitatea	Desch., ajustare (ISC)
1	SULR	44.67	26.25	Surlari-Com.Petrăchioaia (RO)	2007 [b]
2	ISR	45.11	26.54	Com.Istrita-de-Jos (RO)	1974 [a]
3	GIUM	45.48	28.20	Com.Giurgiulești (MD)	1988 [c]
4	MLR	45.49	25.94	Mt. Roșu - Com.Cheia (RO)	1974 [a]
5	FOC	45.69	27.18	Or.Focșani (RO)	1942 [a]
6	PETR	45.72	27.23	Petrești-Or.Focșani (RO)	1996 [b]
7	VRI	45.86	26.72	Com.Vrîncioaia (RO)	1967 [a]
8	KGL	45.90	28.20	Or.Cahul (MD)	1978 [c]
9	GHRR	46.06	27.40	Com.Gohor (RO)	2003 [b]
10	LEOM	46.47	28.24	Or.Leova (MD)	1982 [c]
11	KIS	46.99	28.81	Or.Chișinău (MD)	1949 [c]
12	IAS	47.19	27.56	Or.Iași (RO)	1951 [a]
13	SORM	48.13	28.35	Or.Soroca (MD)	1983 [c]

a) ISC (link: <http://www.isc.ac.uk/registries/search>), b) NIEP (C. Ionescu), c) IGS [18]

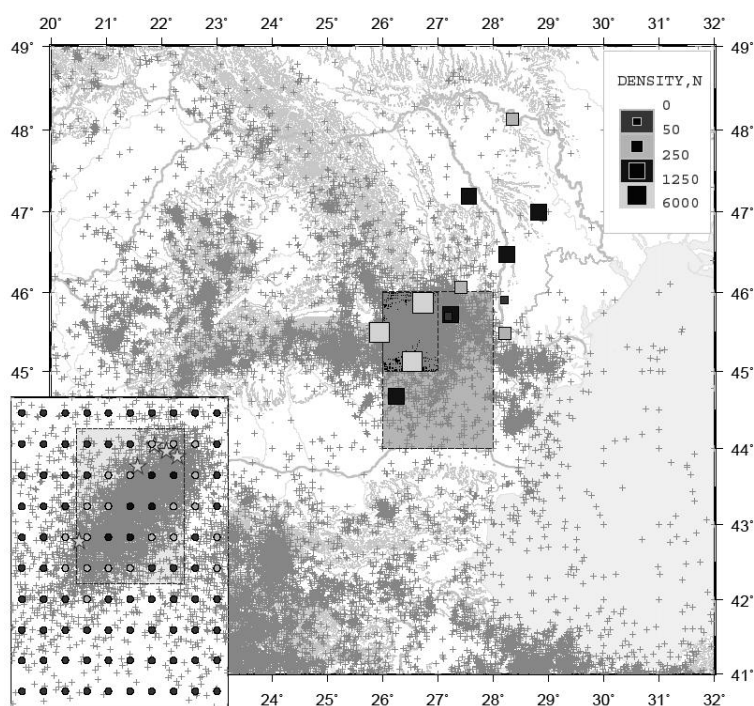


Fig.2. Distribuția epicentrelor seismice (1965-2012) raportate de ISC.

Sectorul *cu negru* – arealul de studiu (zona Vrancea); cu detalii în secțiunea mărită, în care se prezintă “gridul” densității de evenimente (aici, pasul este 0.1°). Stațiile seismice exprimă prin culoare și dimensiune densitatea înregistrărilor timpilor de sosire a perechilor de undă *P* și *S*. (Seismicitatea de fon: 90552 evenimente, iar în *arealul negru* 4508 evenimente). Aici, sectorul cu concentrație maximă a distribuției sesmogene epicentrale conține 5 seisme puternice cu  $M_b > 5.5$  (*steluțele*), ce reprezintă areal #3 (0.5°x0.5°). În imagine, domeniul colorat în *gri* este areal #1 (2°x2°), în *negru* reprezintă areal #2 (1°x1°); (varianta color a imaginii se găsește în raportul [30]).

Tab.2. Regiunea Vrancea (2°x2°/1°x1°/0.5°x0.5°)

Nr.	Cod-STA	Perechi (P/S)	Perechi (P/S)	Perechi (P/S)
1	SULR	564	484	424
2	ISR	1813	1561	1210
3	GIUM	93	82	76
4	MLR	5502	4540	3491
5	FOC	51	48	44
6	PETR	763	592	521
7	VRI	5161	4261	3277
8	KGL	15	15	14
9	GHRR	173	145	130
10	LEOM	428	366	326
11	KIS	510	474	432
12	IAS	407	358	315
13	SORM	90	73	65
○	<b>TOTAL</b>	<b>15570</b>	<b>12999</b>	<b>10325</b>

Vizualizarea grafică a perechilor  $T_P$  și  $T_S$ , pentru cele trei domenii investigate în sectorul de sud-est al arcului carpatic, indică o dependență liniară  $T_S \approx 1.731 \cdot T_P$ , sau  $\sqrt{3} \cdot T_P$  [30], pentru toate evenimentele seismice considerate în buletinul ISC (de adâncime, sau suprafață). Parametrii au valori relative față de timpul de origine al seismului (estimarea cărora ar introduce erori exprimate prin dispersie în distribuția perechilor de semnale  $P/S$ ). Tot aici ([30], în Figura.3a-c), valorile dispersive *majore* sunt puține (numeric, sub 0.1%) și nu influențează aproximația liniară a dependenței  $T_S = F(T_P)$ .

Vizualizarea grafică a distribuției statistice pentru  $\Delta$ , estimat în baza modelului JB și ak-135 (ISC), permite selectarea valorii maxime și definirea intervalului de încredere la fiecare stație seismică. În lipsa de spațiu, se prezintă 1/3 din imagini ale distribuției statistice pentru parametrii analizați la stații; setul complementar fiind prezentat în anexa raportului [30]. Imaginile-“matrice” prezintă distribuția parametrilor seismici pe stații în cele 3 arii (#1, #2, #3).

Tab.3. Analiza statistică a diagramelor: Areal #3 (0.5°x0.5°)

Nr.	Cod-STA	$\Delta$ (deg), <b>med</b>	$T_P$ (sec), <b>med</b>	$T_S$ (sec), <b>med</b>	$T_{S,P}$ (sec), <b>med</b>	$T_S/T_P$
1	SULR	[0.8-1.2], <b>1.0</b>	[21-27], <b>24</b>	[36-46], <b>42</b>	[15-20], <b>17.5</b>	1.70
2	ISR	[0.3-0.7], <b>0.5</b>	[14-24], <b>19</b>	[26-41], <b>33.5</b>	[10-20], <b>15.0</b>	1.76
3	GIUM	[1.1-1.3], <b>1.2</b>	[22-28], <b>25</b>	[38-48], <b>43</b>	[15-20], <b>17.5</b>	1.72
4	MLR	[0.2-0.8], <b>0.5</b>	[14-24], <b>19</b>	[24-40], <b>32</b>	[10-17], <b>13.5</b>	1.68
5	FOC	[0.3-0.6], <b>0.45</b>	[16-24], <b>20</b>	[30-40], <b>35</b>	[12-19], <b>15.5</b>	1.75
6	PETR	[0.3-0.6], <b>0.45</b>	[16-24], <b>20</b>	[30-40], <b>35</b>	[10-20], <b>15.0</b>	1.75
7	VRI	[0.0-0.6], <b>0.3</b>	[10-24], <b>17</b>	[20-40], <b>30</b>	[8-17], <b>12.5</b>	1.76
8	KGL	[1.0-1.2], <b>1.1</b>	[25-30], <b>27.5</b>	[37-46], <b>42.5</b>	[15-20], <b>17.5</b>	1.50*
9	GHRR	[0.5-0.9], <b>0.7</b>	[20-26], <b>23</b>	[36-44], <b>40</b>	[11-19], <b>15.0</b>	1.73
10	LEOM	[1.3-1.5], <b>1.4</b>	[25-32], <b>28.5</b>	[45-55], <b>50</b>	[16-24], <b>20.0</b>	1.75
11	KIS	[1.9-2.3], <b>2.1</b>	[32-40], <b>36</b>	[58-66], <b>62</b>	[22-30], <b>26.0</b>	1.72
12	IAS	[1.5-1.9], <b>1.7</b>	[27-35], <b>31</b>	[46-59], <b>52.5</b>	[18-26], <b>22.0</b>	1.69
13	SORM	[2.6-2.9], <b>2.75</b>	[40-47], <b>43.5</b>	[70-80], <b>75</b>	[30-35], <b>32.5</b>	1.72

Rezultatul final al analizei statistice (distribuția parametrilor în areal #3) se prezintă în Tabelul 3. Aici, se observă că pentru arealul #3 semnalul seismic al undei  $P$  nu sosește mai înainte de 10 secunde la stațiile selectate (și anume, la stația VRI), conform localizării timpului de origine. Tot stația VRI are timpul de sosire minim, exprimat prin valoarea medie statistică  $T_P \approx 17$  secunde, iar stația seismică KIS,  $T_P \approx 36$  secunde; aceasta definește statistic avantajul poziționării în spațiu a stației VRI față de KIS printr-o diferență de timp (avans temporal)  $T_P(KIS) - T_P(VRI) \approx 19$  secunde. Ca argument al acestui fapt (“avans”) se folosesc în studiul SASR date despre evenimentele puternice doar. În Tabelul 3-A, anexa din [30], se aduc câteva detalii asupra parametrilor care confirmă valorile menționate mai sus, prin  $T_P(KIS) - T_P(VRI)$  egale cu: 15, 18, 20, 19 și 19 secunde [30].

De menționat, pentru stația KIS,  $T_S - T_P$  este  $T_{SP}(KIS) \approx 26$  secunde, iar  $T_S(KIS) - T_P(VRI) \approx 45$  secunde. Prin urmare, timpul alarmării  $T_{al}(KIS) \approx 40$  secunde, 5s consumate la procesare și transmiterea semnalului de alarmă.

Din setul stațiilor seismice selectate în Tabelul 3 observăm că ISR, MLR, FOC, PETR, înregistrează unda  $P$  cu 2-3 secunde mai târziu ca stația VRI, fiind destul de utile în localizarea epicentrală a SASR.

Ultima coloană a tabelului prezintă raportul pentru valorile medii statistice ale  $T_S/T_P$ , care variaza în limitele valorilor 1.68-1.76 (cu o valoare singulară 1.50); aceasta

dispersie se întâlnește în studiile anterioare al raportului  $V_P/V_S$  ca o amprentă metodologică, cauzată anume de tehnica statistică, la care se adaugă erori: de localizare a timpului de origine și de citire a fazei la stații.

Ulterior, în baza distribuției statistice pentru perechile de parametri:  $T_P=F(\Delta)$ ;  $T_S=F(\Delta)$ ;  $T_{PS}=F(\Delta)$ , a fost aproximată analitic corelația acestor perechi de parametri (în anexă [30]). Aici, s-a găsit legea parcursiei pentru unda  $P$ ,  $S$  ( $T_P$ ,  $T_S$ ), diferența de timp  $S$ - $P$  ( $T_{PS}$ ), intervalul de erori  $\varepsilon T$ , cu  $T^+$  și  $T^-$ , care reprezintă marginea superioară și inferioară a distribuțiilor statistice:

$$T_P^+ = 11.2 \cdot \Delta + 15$$

$$T_P = 12.6 \cdot \Delta + 9$$

$$T_P^- = 14.0 \cdot \Delta + 3$$

$$\varepsilon T_P = \frac{T_P^+ - T_P^-}{2}; \varepsilon T_P = 6.0 - 1.4 \cdot \Delta \quad (\Delta \in [0.0; 4.0])$$

$$T_S^+ = 18.5 \cdot \Delta + 25$$

$$T_S = 21.4 \cdot \Delta + 15$$

$$T_S^- = 24.2 \cdot \Delta + 5$$

$$\varepsilon T_S = \frac{T_S^+ - T_S^-}{2}; \varepsilon T_S = 10.0 - 2.85 \cdot \Delta \quad (\Delta \in [0.0; 3.5])$$

$$T_{PS}^+ = 8.75 \cdot \Delta + 9$$

$$T_{PS} = 9.25 \cdot \Delta + 6$$

$$T_{PS}^- = 9.75 \cdot \Delta + 3$$

$$\varepsilon T_{PS} = \frac{T_{PS}^+ - T_{PS}^-}{2}; \varepsilon T_{PS} = 3.0 - 0.50 \cdot \Delta \quad (\Delta \in [0.0; 4.0])$$

Observăm, din expresia pentru  $\varepsilon T$ , și din diagrame, că dispersia se micșorează cu îndepărtarea de la epicentrul seismului. Aproximația liniară este mai dificilă pentru intervalul distanței epicentrale cu  $0^\circ \leq \Delta \leq 0.5^\circ$ , aceasta se explică prin aceleași erori ( $\pm 2$  secunde), ce relativ valorilor absolute crează variații considerabile pentru parametrii timpului de sosire. Natura acestor fluctuații se explică și prin faptul că arealul #3 (cel mai mic din setul de spații seismogene studiate) reprezintă un domeniu cu volum în spațiu, în care focarele cunosc o distribuție conform primei localizari ISC; la distanțe mici de epicentru, aceste fluctuații sunt considerabile; la distanțe mai mari, această distribuție este mai mica în comparație cu distanța epicentrală, aici, geometria repartiției în volum poate fi neglijată.

Aceste expresii analitice ale dependenței  $T_P$ ,  $T_S$ ,  $T_{SP}$  de  $\Delta$  se aplică pentru a vizualiza propagarea la suprafață a frontului de undă  $P$  și  $S$ , concentric în areal #3 (Figura 3, și în anexă: Figura 9); aici, în figuri, pasul rețelei este  $0.1^\circ$ . După necesitate, se poate reprezenta histograma localităților [32], cu timpul de sosire a undelor  $P$ ,  $S$ ,  $S$ - $P$ , Figura 3 fiind doar o variantă posibilă a vizualizării.



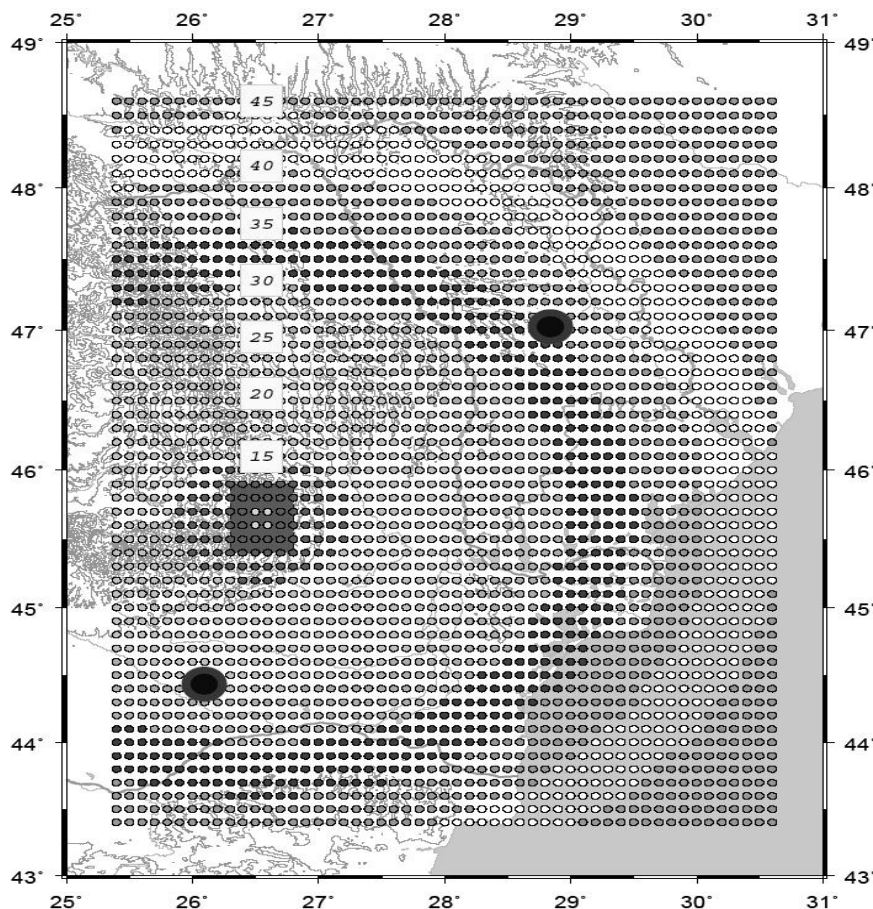


Fig.3. Distribuția în timp și spațiu (la suprafața solului) pentru frontul de unda  $P$  (cu cerc negru-roșu sunt prezentate municipiile București (23-25s) și Chișinău (34-36s) [30]).

Dacă ar fi să comparăm modelul global (JB, ak-135) aplicat de ISC și regional (HYPO+) aplicat de ROM+ în localizări, atunci pentru  $\Delta \geq 1.0^\circ$  concordanța valorilor  $T_P$  este evidentă (vezi Figura.10 în [30]), la fel și cu ceilalți parametri studiați  $T_S$  și  $T_{SP}$  (dispersia după adâncime este acceptabilă). Dacă  $\Delta < 1.0^\circ$ , localizarea spațială a seismelor în baza modelelor globale (ISC) disting evenimentele seismice “de suprafață” și “de adâncime”, și este în concordanță bună cu modelul regional HYPO+. Atenția se focusează pe datele “observabile” (Figura 10 în [30]), contribuția majoră revine seismelor de adâncime ( $h=50-150\text{km}$ , cu precădere pe adâncimile  $h=100-150\text{km}$ ). În acest caz, pentru stațiile din zona epicentrală (VRI, MLR, ISR) timpul de sosire al undei P este  $15.0 \leq T_P \leq 20.0$  secunde [30].

### Analiza rezultatelor

Așa cum prezintă analiza datelor inițiale, ale studiului structurii regionale (modelul de structură) prin care trec undele mecanice (seismice), din zona Vrancea spre teritoriul RM, este cunoscut mai puțin la nivel de structură cristalină decât la nivelul cuverturii sedimentare; informația din foraje a regiunii este fragmentară [31]. Stratigrafia, litologia păturei sedimentare, relatează asupra faptului că omogenitatea proprietății de propagare a undelor crește cu adâncimea (afirmație-ipoteză pe care se axează modelele de

structură regională și globală, permite extrapolarea datelor disponibile). La această ipoteză, studiul statistic al înregistrării observabile aduc argumente prin raportul vitezelor de undă  $P$  și  $S$ , sau timpii de sosire, la stațiile amplasate în teritoriul investigat. Acest raport este stabil  $T_S/T_P=1.73\pm 0.01$  pentru toate ariile investigate #1, 2, 3, cu o pondere a credibilității statistice înaltă, al unui eșantion de  $1.5\times 10^4$ ,  $1.3\times 10^4$ ,  $1.0\times 10^4$  perechi  $P$ - $S$ , înregistrate timp de 48 ani (1965-2012).

Studii similare sunt puține; acestea au un eșantion redus al datelor aplicate ( $1-2\times 10^2$  faze înregistrate), și cu o dispersie largă a stațiilor după azimut (față de zona Vrancea). Originalitatea rezultatului constă în faptul integrării datelor observării instrumentale disponibile (sectorul estic față de Catpații Orientali) și argumentării statistice a relației liniare în propagarea undei  $S$  și  $P$  ( $\Delta < 4.0^\circ$ ). Tot aici, metodologic, originalitatea rezultatului este aplicarea valorilor observabile la estimarea timpului de alarmă ( $T_{al}$ ).

Valorile statistice, prin frecvența lor de apariție, definesc direct seismicitatea regiunii prin parametrii  $T_P$ ,  $T_S$ ,  $T_{PS}$  (și  $\Delta$ ), importanți pentru analiza resurselor de timp al SASR în teritoriile monitorizate. Indiferent de cât timp are nevoie unda  $P$  pentru a ajunge din focar pînă la cea mai apropiată stație (VRI), în raport cu mun.Chișinău (KIS), analiza statistică estimează un avans de 19 secunde, conform Tabel 3, și avans de 9 secunde pentru municipiul București (Figura 3). Diferența de timp al undei  $P$  dintre Chișinău și București (10 secunde) se transformă în 17 secunde, ca rezervă de timp pentru unda destructivă  $S$  (conform relației de interdependență  $\delta T_P=1.73\cdot\delta T_S$ ). Asadar, aplicînd SASR și pentru municipiul Chișinău, plasăm ambele localități în aceleași condiții de informare, cu un avantaj în acțiune pentru mun.Chișinău de 17 secunde față de mun.București (amplasamentul). În această ordine de idei SASR permite realizarea analizei automate, care în timp de 5s estimează epicentrul (și hipocentrul) împreună cu valoarea energetică (magnitudinea) în baza semnalului  $P$ , și alertează cu  $17-5=12$  secunde înainte de confirmarea locală a undei  $P$  (pentru mun.Chișinău). În acest interval de timp, rețeaua seismică primește informații referitor la unda  $S$ , [ $T_S$ ]: VRI; MLR; ISR $\approx$  30; 32; 33s, cu 5; 3; 2s mai devreme față de sosirea undei  $P$  la stația KIS ( $T_S\approx 36s$ ); pericolul "existent" poate fi anunțat "din timp" destul de exact (după a doua corecție în baza semnalului  $S$ ).

Deasemenea, în cazul semnalului SASR (recepționat la Chișinău), dacă unda  $P$  nu este sesizabilă (în starea de repaos al observatorului), atunci "pericolul nu este eminent" ( $M < 6.5$ ). Aspectul dat reprezintă forma locală de alarmă "naturală" a utilizatorilor asupra pericolului seismic.

Pentru o analiză comparativă, folosim Figura 3 în care regăsim municipiul București în raza 23-26 secunde (pentru unda  $P$ ), și conform datelor din Tabel 3, pentru orasele RM cele mai apropiate de sursa Vrancea (areal #3),  $T_P(\text{GIUM})\approx 22-28s$ ,  $T_P(\text{KGL})\approx 25-30s$ ,  $T_P(\text{LEOM})\approx 25-32s$ , constatăm că tot teritoriul RM este amplasat la distanța temporală mai mare (sau egală: GIUM, KGL, LEOM) cu cea a mun.București, pentru care a fost dezvoltat REWS (INFP).

Dacă  $T_{al}(\text{KIS})\approx 40s$ , este cu 12s mai mare comparativ cu cel pentru municipiul București, găsim că valoarea statistică pentru timpul de alarmare este  $T_{al}(\text{BUC})\approx 28$  secunde.

Valorile ( $T_P$ ,  $T_S$ ,  $T_{PS}$ ), obținute în lucrare, sunt în concordanță cu cele prezentate de INFP [32]. Aici, considerăm necesar dezvoltarea subiectului de restricții al SASR (sau REWS în [32]) și pentru RM (anume, municipiul Chișinău): condiția eficientizării SASR ar fi integrarea acestuia în mecanismele funcționabile ce pot fi decuplate automat (foarte rapid). Aceste mecanisme integrate se recomandă pentru diminuarea consecințelor

seismice la deteriorările posibile ale infrastructurii (transportul: avia, rutier, feroviar, informațional, energetic (electric și gaz), și alte servicii de necesitate primară).

Una din problemele serviciului de informare seismică al IGS este rapiditatea transmiterii informației; la acest capitol se sugerează automatizarea procesului diseminării informației, fie și post-seismică, în intervalul de 1-2 minute (la moment, acest proces durează pînă la 5-10min., fiind efectuat de către persoana de serviciu din comandamentul seismic al IGS, și doar prin telefon). Acest algoritm al automatizării și diseminării datelor post-seismice în regim de monitorizare directă este implimentat cu succes de către INFP, și prezintă interes pentru IGS în sporirea eficienței transmiterii datelor către organele de decizie, de protecție civilă în cazul situațiilor excepționale (la seism puternic).

### Concluzii

S-a efectuat o analiză complexă a informației disponibile privind propagarea undelor seismice (din datele observabile, cît și în baza simulării teoretice a propagării undelor prin modelele de structură globale și regionale) în perspectiva implimentării SASR pentru teritoriul RM (municipiul Chișinău).

Deoarece localizarea spațială primară al evenimentului seismic de către SASR, în baza numărului redus de stații (epicentrale) și timp (sub 5 secunde), conține erori; aceasta permite studiul statistic al distribuției epicentrale pe un areal extins. Considerînd domeniile  $2^{\circ} \times 2^{\circ} / 1^{\circ} \times 1^{\circ} / 0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  și datele observabile ISC (1965-2012), au fost identificate 5856, 4508, 3259 evenimente cu respectiv 15570, 12999, 10325 perechi de faze *P/S*, înregistrate la 13 stații seismice *de reper* al regiunii investigate.

Procesarea grafică a datelor confirmă constanța regională a  $V_P/V_S$  ( $T_S/T_P=1.73 \pm 0.01$ ). Aici, se definesc intervalele valorilor maxime pentru  $T_S$ ,  $T_P$ ,  $T_{PS}$ ,  $\Delta$ , împreună cu expresia analitică de corelare, în baza căreia s-a vizualizat propagarea spațială a undelor *S* și *P*, pentru teritoriul RM. S-a aplicat modelul regional de structură HYPO+ pentru analiza comparativă a rezultatelor, identificînd intervalul adîncimilor 50-150km - sursa potențială a seismelor puternice.

Pentru municipiul Chișinău, în cazul aplicării SASR, timpul de alarmare estimat este 40 secunde; în cazul municipiului București, timpul de alarmare este mai mic cu 12 secunde (28 secunde). Pentru tot teritoriul RM, timpul de alarmare este egal, sau mai mare, comparativ cu cel pentru municipiul București. Prin urmare, nu necesită argumentare suplimentară (sub aspectul rezevelor de timp) a avantajelor în aplicarea SASR (pentru zonele cu densitate înalta a populației) la deconectarea automată de utilaje în funcțiune, care fiind afectate de seisme pot amplifica consecințele acestuia, punînd viața oamenilor în pericol. Totodată, se sugerează și accelerarea transmisiei datelor post-seismice în mod automat (e-mail, SMS, sau canal de alertă specializat (telefon, radio, internet)).

### Mulțumiri

Autorii lucrării aduc sincere mulțumiri pentru suport consultativ și colaborare, colegilor de la INFP și IGS (M. Radulian, M. Popa, O. Cioflan, Gh. Marmureanu, și I. Ilies).

Rezultatele din cadrul studiului sunt susținute prin proiectul NERA TA2.

### Bibliografie

1. I. Ilies, Sistem integrat de stații seismice România – Republica Moldova – realizare performantă a monitorizării seismice regionale, Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM, N1, 2011, pp. 63-73.
2. A. Marmureanu, C. Ionescu, C.O. Cioflan, Advanced real-time acquisition of the Vrancea earthquake early warning system, Soil Dynamics and Earthq. Engineering, 31, 2011, pp. 163-169.
3. H. Jeffreys, K.E. Bullen, Seismological Tables, British Association for the Advancement of Science, Gray Milne Trust, London, 1940, 50 p.
4. T. Lay, T. Wallace, Modern Global Seismology, Acad. Press, USA, 1995, pp.1-33.
5. T. Iosif, Asupra existenței stratului de viteză redusă în partea superioară a scoarței pământului din România, Rev. Roum. Geol., Geophys. Geogr. Geophysique, 9(1), Bucurest, 1965, pp. 13-27.
6. D. Enescu și C. Radu, Structura scoarței terestre în regiunea București, Studii și Cercetari de Astronomie și Seismologie, 3 (1), Ed. Academiei Rep. Soc. Populare Romîne, 1958, pp. 129-132.
7. V. Raileanu, A. Bala, F. Hauser, C. Prodehl, W. Fielitz, Crustal properties from S-wave and gravity data along a seismic refraction profile in Romania, Tectonophysics 410, 2005, pp. 251-272.
8. Н.И. Павленкова, Регистрация поперечных волн от границ земной коры. В книге: Геофиз. сб. Института геофизики АН УССР, 12, Наукова думка, Киев, 1968, pp. 63-71.
9. S.A.P.L., Cloeting et al, TOPO-EUROPR: The geoscience of coupled deep Earth-surface process, Glob. and Planet. Chan., 58, 2001, pp. 1-118.
10. C. Piromallo and A. Morelli, P wave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean area, Journal of Geophysical Research, vol.108, No. B2, 2003, pp. 1-23.
11. I. Koulakov, M. Kaban, M. Tesauero, and S. Cloetingh, P and S velocity anomalies in the upper mantle beneath Europe from tomographic inversion of the ISC data, Geophys. J. Int. 179 (1), 2009, pp. 345-366.
12. D. Enescu, A. Pompilian, A. Bala, Distributions of seismic wave velocities in the lithosphere of some regions in Romania, Rev. Roum., Geol., Geophys. et Geogr. -Geophysique, 32, Bucharest, 1988, pp. 3-11.
13. D. Enescu, A. Bala, A. Pompilian, Quasi-continuous distributions of seismic wave velocities in terrestrial crust from Romania, St. Cerc. Geol., Geofiz., Geogr., Geofizica, 26, București, 1988, pp. 43-49.
14. D. Enescu, C. Diaconescu, M. Diaconescu, Lithosphere structure in Romania. III. Results on the deep structure of Vrancea zone, Rev. Roum. Geophysique, 37, Bucharest, 1993, pp. 51-60.
15. D. Enescu, D. Danchiv, A. Bala, Lithosphere structure in Romania. II. Thickness of Earth's crust. Depth-dependent propagation velocity curves for the P and S waves. St. Cerc. Geofizica, 30, București, 1992, pp. 3-19.
16. M. Popa, Contribuții la cunoașterea structurii de adâncime a zonei vrancea, ISBN 978-973-723-205-2, București-Lucman, 2007, 191p. (conducător științific Dumitru Enescu).

17. I. Sandu, Cronologia evoluției conceptuale asupra seismelor, Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM, N1, 2012, pp. 47-62.
18. И. Илиеш, Сейсмическая сеть Республики Молдова: Состояние и Перспективы. Материал Межд. Конф. “Сейсмичность Северной Евразии (28-31 июля, 2008г)”, Инст. Физ. Земли РАН, Обнинск, 2008, с. 87-92.
19. А. Друмя, Т. Устинова, Ю. Шукин, Сейсмические и сеймотектонические особенности Молдавской ССР и сопредельных территорий Украинской ССР и Румынской Народной Республики. Проблемы тектоники и сейсмологии Молдавии. вып.2, Карта Молдовеняскэ, Кишинев, 1964, pp. 18-38.
20. А. В. Чекунов, Некоторые вопросы тектогенеза и эволюции земной коры. В книге: Геофиз. сб. Института геофизики АН УССР, 12, Наукова думка, Киев, 1968, pp. 72-88.
21. Объяснительная записка к тектонической карте УРСС и МССР. (Гл. редактор: М.В. Муратов), Министерство Геологии СССР и УССР, Киев, 1972, с.120
22. Ю.К. Шукин, Т.Д. Добрев, Глубинное геологическое строение, геодинамика и геофизические поля очаговой зоны Вранча. Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия, (под ред. А.В. Друмя), Наука, Москва, 1980, с. 7-40
23. I. Cornea, V. Lazarescu, Geologia și seismotectonica României, Cutremurul de pamînt din România de la 4 martie 1977, Ed. Acad. RSR, București, 1982, pp. 19-35
24. В. Бурьянов, В. Гордиенко, О.В. Завгородняя и др., Геофизическая модель тектоносферы Украины, Наукова Думка, Киев, 1985, с.211
25. Литосфера-Центральной и Восточной Европы. Восточно-Европейская платформа, (Под ред. В. Б. Соллогуб, А.В. Чекунов), ISBN-5120005934, Наукова Думка, Киев, 1989, с.189
26. M. Oncescu, M. Rizescu, and K.P. Bonjer, SAPS – A completely automated and networked seismological acquisition and processing syst., Computer&Geosciences, 22, 1996, pp. 89-97
27. F. Hauser, V. Raileanu, W. Fielitz, A. Bala, C. Prodehl, G. Polonic, and A. Schulze, VRANCEA99-the structure beneath the southeastern Carpathians and the Moesian Platform from a seismic refraction profile in Romania, Tectonophysics. 340, 2001, pp. 233-256
28. R.B. Raykova, G.F. Panza, Surface waves tomography and non-linear inversion in the southeast Carpathians, Phys. of the Earth and Planet. Inter. (PEPI), 157, Elsevier, (2006), pp. 164-180
29. L. Telesca, V. Alcaz, and I. Sandu, Analysis the 1978-2008 crustal and subcrustal earthquake catalog of Vrancea region, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2012, pp. 1321-1325.
30. I. Sandu, V. Alcaz, Early Warning System (EWS) for Republic of Moldova territory: alarm time and data processing aspects. Report on the visit of National Institute for Earth Physic (NIEP), Romania. Bucharest Rapid Early Warning System (BREWS), NERA-T2, March 23, 2013, NIEP-Bucharest, 40 p. (biblioteca INFP și IGS-AȘM).
31. I. Sandu, Modelul geofizic al regiunii orașului Cahul, profilul Cahul-Taraclia, Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM, N2, 2010, pp. 63-73
32. INFP web link (SRAS pentru instalații periculoase): <http://www.infp.ro/timp-real/sras>

*Primit la redacție –3 mai 2013*

УДК 550.343

Буртиев Р.З., Гринвелл Фернанда\*, Гринвелл Джеоффрей†

## О методах анализа сейсмической опасности

### Abstract

*As a measure of seismic hazard the probability  $P_{(\varphi, \lambda)}(t, n, m, I^k)$ , that in a certain location of the Earth's surface with geographical coordinates  $(\varphi, \lambda)$ , during time  $t$ , will occur a certain number of  $n$  shakes and  $m$  of their with intensity (not less)  $I^k$  is proposed. The comparative analysis of existing methods of seismic hazard estimation was carried out. It is shown that the proposed method is the most informative for strategy of aseismic construction. The probability model of a seismic regime is builded. By means of a Monte-Carlo method the synthetic catalogue of earthquakes was elaborated.*

### Rezumat

*In calitate de măsură a hazardului seismic se propune probabilitatea că în punctul geografic  $(\varphi, \lambda)$ , în perioada de timp  $t$ , se întâmplă  $n$  șocuri seismice,  $m$  din care cu intensitatea (nu mai mică)  $I^k$ . A fost efectuată o analiză comparativă a metodelor existente de evaluare a hazardului seismic. Se arată, că metoda propusă este cea mai informativă din punct de vedere al strategiei de construcție seismorezistentă. A fost elaborat modelul probabilistic al regimului seismic, iar cu aplicarea metodei Monte-Carlo - un catalog sintetic de cutremure de pământ.*

### Резюме

В качестве меры сейсмической опасности предлагается вероятность того, что в географической точке  $(\varphi, \lambda)$  за время  $t$ , случится  $n$  сейсмических толчков,  $m$  из них с интенсивностью (не менее)  $I^k$ . Проведен сравнительный анализ существующих методов оценки сейсмической опасности. Показано, что предлагаемый метод является наиболее информативным для стратегии сейсмостойкого строительства. Построена вероятностная модель сейсмического режима. С помощью метода Монте-Карло составлен синтетический каталог землетрясений.

### Введение

Сейсмическую опасность уменьшить невозможно, можно уменьшить сейсмический риск до приемлемого уровня, снабжая инженеров-строителей, проектировщиков и других специалистов, принимающих решения, достаточной для этого информацией. Приемлемый сейсмический риск – это некоторый компромисс между уровнем сейсмической безопасности и способностью общества ее обеспечения в данный момент времени. Первые исследования сейсмической опасности были выполнены еще в XIX веке. Целью этих работ было желание

---

\* Независимый исследователь, “Stattis LLC”. Туксон, Аризона, США.

† Независимый исследователь, “Kimetrica LLC”. Туксон, Аризона, США.

ранжировать, простым способом, территории в разной степени пострадавшие от воздействия землетрясений. На этом этапе не было необходимости в количественных оценках ожидаемых сейсмических воздействий, достаточно было показать сейсмический эффект исторических землетрясений. Следующим шагом стал переход от наблюдательных методов к детерминистским (ДАСО) и вероятностным (ВАСО) методам анализа сейсмической опасности.

Сейсмическое районирование в США, и в некоторых странах, начало производиться инженерами - строителями, при участии сейсмологов и геологов, в целях обеспечения сейсмостойкого строительства. Картирование сейсмической опасности проводилось в параметрах движения грунта [1].

В СССР первая карта сейсмического районирования (СР) была составлена Г.П. Горшковым в 1937. Карты СР регулярно обновлялись каждые примерно 10 лет, с учетом сведений о произошедших землетрясениях и в связи с усовершенствованием методов оценки сейсмической опасности. Необходимость обновления карты сейсмического районирования была связана с тем, что в зонах, полагавшихся слабосейсмичными и асейсмичными, нередко происходили сильные землетрясения. Так как эти землетрясения происходили в районах, где сейсмостойкость в строительстве не учитывалась, разрушения часто оказывались катастрофическими [2-4].

## **1. Обзор методов оценки сейсмической опасности**

Ниже проводится обзор наиболее распространенных методов оценки сейсмической опасности в целях сравнительного анализа с предлагаемым в данной работе подходом к решению проблемы.

### **1.1. Детерминистский метод оценки сейсмической опасности**

При детерминистском анализе сейсмической опасности (ДАСО) неопределенности обычно не рассматриваются, а лишь рассчитывается максимальный сейсмический эффект на конкретной площадке от самых близких к ней очагов землетрясений фиксированных магнитуд. Детерминистские методы основываются на геологических данных, главным является определение ближайшего активного разлома и вычисление максимального возможного для него землетрясения. Затем, по закону затухания, вычисляется наибольшая возможная интенсивность сейсмических толчков. Расчеты ведутся на основе теории распространения сейсмических волн с учетом их затухания с удалением от сейсмического источника и влияния местных грунтов, которые обычно представляются в виде горизонтально слоистой среды. При этом рассматриваются плоские фронты сейсмических волн, распространяющихся вертикально вверх и обуславливающих сейсмический эффект на свободной земной поверхности, не нагруженной каким-либо сооружением [1,4,5].

Детерминистские методы используют имеющиеся данные о сейсмичности для анализа сейсмической опасности. Главной идеей ДАСО является определение наихудшего сценария развития сейсмической ситуации на некоторой площадке при возникновении землетрясения. Метод предполагает выполнение следующих шагов [1, 6]:

1. Выявление и характеристика всех потенциальных очагов землетрясений, способных вызвать значительные смещения грунта в заданной точке. Характеристика источников землетрясений означает определение геометрии очага и вычисление максимально возможного землетрясения.
2. Вычисление наименьшего расстояния между точкой и очагом землетрясений.
3. Выбор землетрясения, способного вызвать наибольшие смещения грунта на исследуемой местности (доминирующее землетрясение). Выбор происходит сравнением значений смещений почвы, вызванных всеми землетрясениями.
4. Определение по закону затухания значения движения грунта на эпицентральной дистанции  $R$ , вызванное землетрясением с магнитудой  $M$ .

Сейсмическая опасность на исследуемой местности определяется наибольшими смещениями почвы. Значение ДАСО и его места в современных подходах к оценке сейсмической опасности обсуждены в статье [6-11 и др.].

Преимуществами данного метода являются:

- Относительная простота и быстрота получения оценок.
- Высокая достоверность результатов.
- Пригодность как тестового критерия адекватности модели сейсмичности.

Недостатки метода:

- Не всегда удается однозначно выявить ближайший сейсмоактивный разлом и определить его геометрию. Не обнаруженные, скрытые разломы не будут рассматриваться как сейсмоактивные, и не будут учтены в оценке опасности.
- Количественное выражение наибольшего возможного сейсмического события связано с большими неопределенностями.

В СССР практически все карты сейсмического районирования, начиная с первой карты 1937 г. и кончая предпоследней картой 1978 г., были детерминистскими. Они не учитывали основные характеристики сейсмического режима сейсмоактивных территорий. В 60-е годы прошлого века Ю.В. Ризниченко разработал алгоритмы и программы расчета сейсмической "сотрясаемости" [12, 13], положив начало количественным методам оценки опасности в СССР.

Из-за недостатков и неопределенностей ДАСО должен применяться тогда, когда косвенные убытки, в случае ошибочной оценки сейсмической опасности, не будут высокими. Детерминистские методы, которые основаны на прошлых сейсмических наблюдениях, обнаруживают большую долю случайности в результатах анализа сейсмической опасности. Детерминистский подход важен при оценке опасности территорий отдельных городов и особо важных объектов. Погрешности в оценке параметров, неопределенности при создании математических моделей геофизических процессов, отсутствие экономической составляющей обеспечения сейсмостойкого строительства и оценки сейсмического риска ограничивает применение детерминистского подхода к сейсмическому районированию. С учетом этих факторов районирование сейсмической опасности следует осуществлять на вероятностной основе [6, 11, 14, 15].

## 1.2. Вероятностный метод оценки сейсмической опасности

В общем случае, метод, который с возникновением некоторого сейсмического события связывает вероятностную меру, называется вероятностным. Вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО) основывается на случайном характере возникновения самих сейсмических событий из-за разброса



параметров. В отличие от детерминистских методов вероятностный подход позволяет исследовать большой объем данных.

Предложенный Корнеллом в 1968 г. вероятностный метод анализа сейсмической опасности на базе сейсмостатистики составляет основу ВАСО. Публикация Корнелла [16] привела к построению карт сейсмического районирования в терминах вероятности превышения интенсивностью сейсмических воздействий некоторого порога в заданные интервалы времени. Эта вероятность являлась более информативной мерой для обоснования проектных и конструктивных решений. В качестве характеристики сейсмических воздействий рассматривается пиковое ускорение грунта (PGA)  $a_g$ .

Годовая интенсивность превышений  $w=w(a_g)$ , выражает число превышений в году порога смещений грунта  $a_g$  на исследуемой площадке. Период средней повторяемости  $T_R$  данного порога смещения грунта в данной точке является величиной обратной к интенсивности  $w$  превышения порога  $a_g$  [1, 4, 6, 17-20]:

$$T_R = \frac{1}{w}$$

Эти величины составляют основу вероятностных методов оценки сейсмической опасности. Если интенсивность превышений за год равна  $w=1/T_R$ , то интенсивность превышений в  $T_L$  лет равна:

$$wT_L = T_L/T_R.$$

Согласно пуассоновской модели можно вычислить вероятности:

$$P [n \text{ событий в } T_L \text{ лет, порог } a_{gR}] \quad P(n) = e^{-wT_L} \frac{e^{-wT_L} (wT_L)^n}{n!} \quad (1)$$

$$P [n=0 \text{ событий в } T_L \text{ лет, порог } a_{gR}] \quad P(n=0) = e^{-wT_L} \quad (2)$$

$$P [\text{хотя бы одно превышение порога } a_{gR} \text{ в } T_L \text{ лет}]$$

$$P_R = 1 - P(n=0) = 1 - e^{-wT_L} = 1 - e^{-\frac{T_L}{T_R}} \quad (3)$$

Связь между вероятностью превышения  $P_R$ , в  $T_L$  лет некоторого уровня сейсмических смещений  $a_{gR}$ , и средним периодом повторения данного уровня сейсмических движений вычисляется из выражения:

$$T_R = -\frac{T_L}{\ln(1 - P_R)} \quad (4)$$

В Европейском стандарте ENV-1988-1-1 [1,4,6,17-20] используется порог максимальных ускорений, который будет превышен с вероятностью  $q=0.1$ , хотя бы один раз в 50 лет. Соответствующий период повторения превышения составляет 475 лет.

В России в 1991-1997 гг. была разработана карта ОСР-97 [2-4], которая положила начало динамическому сейсмическому районированию, учитывающему фактор времени. В картах ОСР-97 оценивается степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности на нескольких уровнях, отражающих расчетную интенсивность сейсмических сотрясений, ожидаемых на данной географической площадке с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени [2, 4].

Общепринятого стандарта представления результатов оценки сейсмической опасности не существует. Многие страны приняли за основу американские стандарты, приспособив их к особенностям сеймотектонических условий и местным нормам строительства.

### **1.3. Статистические методы**

В общем случае, статистика основывается на наблюдаемых данных и моделях. Математическая статистика связывает множество данных с множеством вероятностных моделей. Основная задача математической статистики заключается в получении выводов о массовых явлениях по данным наблюдений над ними и экспериментов. Эти статистические выводы представляют собой утверждения об общих характеристиках этих явлений (вероятностях, законах распределения и их параметрах: математических ожиданиях, дисперсиях и т.д.). Цель математической статистики – оценить характеристики генеральной совокупности по выборочным данным. Свойства генеральной совокупности, обычно, неизвестны и все выводы о генеральной совокупности делаются по выборке [21].

Подход, предложенный некоторыми сейсмологами [1,6,22-28], основан на статистическом анализе данных о возникновении землетрясений для количественного выражения, по статистике Гумбеля, вероятного уровня интенсивности будущих сейсмических толчков. Основная идея состоит в том, что возникновение экстремальных событий соответствует определенному статистическому распределению. Применяя это распределение к крупным историческим землетрясениям можно оценить сейсмическую опасность. Многие сейсмологи скептически относятся к идее, о возможности получения хороших результатов, начиная анализ с выбрасывания 90 % наблюдаемых сейсмических данных. Практическое применение метода не дало хороших результатов, хотя были предприняты попытки улучшить метод. [6,27,28]. Оценки, полученные методами экстремальных значений, имеют тенденцию роста, когда период повторения приближается к длине временного интервала охватываемого каталогом землетрясений. Сложно найти способ учета начальных неопределенностей, особенно случайного характера смещений, свойственный грунтам.

Значения указанных неопределенностей рассматриваются как случайные величины с определенным типом функции распределения и с соответствующими выборочными оценками параметров распределения. Существующие в параметрах неопределенности могут быть учтены и исследованы с применением метода Монте-Карло [29-39]. Период повторения крупных землетрясений составляет десятки, а иногда сотни лет, тогда как каталоги землетрясений охватывают более короткий период наблюдений. Поэтому, невозможно получить надежную количественную оценку из одних только наблюдательных данных. Метод Монте-Карло применяется для имитации сейсмичности и создания синтетических каталогов землетрясений в условиях недостаточности сейсмостатистики.

### **1.4. Монте-Карло моделирование**

Причиной популярности PSHA методов является возможность учета большого объема данных при составлении моделей. Такие модели используются в

оценке сейсмической опасности по методу Монте-Карло, который позволяет численными методами решать математические (аналитические) задачи.

- Монте-Карло моделирование является эмпирическим методом вычисления теоретических ожидаемых значений, и подходит для решения многомерных задач.
- Этот метод, при использовании генератора случайных чисел, позволяет сразу получить приблизительные результаты.
- Реальные процессы моделируются случайными числами.
- Монте-Карло моделирование применяется в задачах, в которых определяются ошибки измерений.

Так как модель сейсмичности является описанием процесса возникновения (генерации) землетрясений в некотором регионе, то возникает вопрос, возможно ли использовать модель для составления искусственного каталога землетрясений? Каждый каталог представляет историю прошлой сейсмичности, и предполагается, что ее характеристики в регионе сохраняются стабильными следующие сотни лет. Из наблюдения сейсмического эффекта большого количества смоделированных землетрясений вычисляются вероятностные оценки параметров. Этот метод позволяет учитывать неопределенности во входных параметрах – заданием их функции распределения с выборочным средним и стандартным отклонением. Значения различных параметров могут быть получены из распределения выборочных значений каждой модели сейсмичности.

Метод Монте-Карло, как один из подходов к оценке сейсмической опасности, применяется во многих странах [32-39]. Термин "Монте-Карло" использован в анализе сейсмической опасности с учетом предположений [1,6]:

1. Монте-Карло моделирование используется для осуществления выборки ветвей большого логического дерева, представляющего различные параметры, выражающие неопределенности.
2. Статистическое перераспределение исторических землетрясений с применением метода Монте-Карло осуществляется в предположении, что и значение магнитуды, и координаты эпицентра землетрясений являются случайными величинами.
3. Для исследования сейсмичности применяются обычные вероятностные методы, а сейсмическая опасность вычисляется необычным способом, то есть генерируется синтетический каталог землетрясений и наблюдаются результаты: смещения, скорости, ускорения.

В отличие от некоторых подходов, этот метод совместим с обычными вероятностными исследованиями сейсмической опасности [36-40]. Идея метода ясна, сейсмическая ситуация моделируется 10000 раз и только раз интенсивность сейсмических воздействий превышает некоторый пороговое значение параметров движения грунта. Метод основан на сейсмических наблюдениях и оценивает сейсмическую опасность в терминах сейсмических смещений, ускорений.

Преимуществами метода является то, что он прозрачен, прост и не требует глубоких математических знаний. Процесс моделирования можно остановить в любой точке для проверки адекватности модели. Это означает, что сейсмическая опасность может быть оценена разными способами, можно показать какие землетрясения вызывают наибольшие движения почвы и, распечатывая результаты,

можно увидеть, как происходят движения согласно модели. Многие методы оценки сейсмической опасности являются чем-то вроде черного ящика, а Монте-Карло моделирование является открытым и контролируемым.

В общем, модель – это простое множество, которое снабжено правилом связывания содержащихся в нем элементов. Целью эмпирических наук является охват абстрактной моделью результатов наблюдений реального мира. В практических применениях лучшей считается модель, которая является самым общим и упрощенным описанием наблюдений и имеет высокий потенциал прогноза. Так как невозможно моделью охватить множество наблюдений, то используются методы теории вероятностей, для того, чтобы выводы об общей, реальной взаимосвязи во множестве наблюдений были сделаны с некоторой (наибольшей) вероятностью. Целью стохастического моделирования является распознавание истинной структуры системы из наблюдаемых данных. Представление картины будущего поведения и определение будущей формы модели имеет основополагающее значение для эмпирических наук. Основная задача моделирования заключается в разработке и выборе математической модели, которая в состоянии максимально точно описать процесс. В зависимости от начальных условий можем иметь несколько «наилучших» моделей. Теория вероятностей располагает мощными статистическими критериями выбора оптимальной модели, например, информационные критерии Акаике и Байеса. Подход к выбору вероятностной модели, в зависимости от целей, можно разбить на 2 класса: структурный подход, где определяется структура данных; теоретический подход, который определяет прогнозный потенциал модели. В методе, который применяется для обоснования теоретической модели, может содержаться информация и о структуре модели. Обратное не всегда имеет место, то есть структурная модель не всегда можно применить для предсказания [41]. Таким образом, говоря на словесном языке, модель это «очки», через которые видим систему.

### 1.5. Системный анализ

Система это множество взаимосвязанных объектов, и означает больше чем объединение отдельных составляющих множество элементов [42-47]. То есть система обладает свойствами не присущими каждому элементу в отдельности [42]. В случаях, когда системы усложняются, становится труднее определить зависимость между элементами и параметры этой зависимости. Для решения этой проблемы применяется системный анализ. Под понятием «системный анализ» подразумевается множество методов и представлений о взаимосвязи элементов. При применении системного анализа определяются ограничения на систему и элементы, расположенные внутри и вне системы. Далее составляется математическая модель системы, определяется реакция системных параметров на соотношения во внешних переменных в статической и динамической моделях, устанавливаются внутренние и внешние взаимосвязи элементов системы. Внутренние взаимосвязи это взаимодействие между элементами в пределах системы. Внешние взаимосвязи определяют влияние элементов вне системы на элементы в пределах системы.

Математические модели системы: образование «черного ящика», определение ограничений системы, определение системных переменных (число параметров модели), установление внутренних и внешних соотношений элементов системы.

Характеристика моделей:

- В дискретной по времени модели значения переменных системы скачкообразно меняются в дискретные моменты времени.
- Непрерывная в пространстве модель та, в которой значения переменных меняются в пространстве и во времени непрерывно. Например, сейсмический режим.
- Стохастическая модель - это модель, в которой изменение значений системной переменной определено не детерминистскими математическими уравнениями, а происходит случайно при различных неопределенностях в элементах и в определениях соотношений.

Например, в сейсмостойком строительстве здание является системой. Здесь внутренними переменными являются: основание сооружения, параметры несущих конструкций, отношение высоты этажей к толщине стен; конструктивные мероприятия по обеспечению сейсмостойкости в плане и по высоте. В качестве внешних переменных рассматриваются: литологический состав и физико-механические свойства грунтов, гидрогеологические условия, рельеф, физико-геологические процессы, наличие тектонических разрывов, амплитудно-частотный состав сейсмических и других колебаний и т.д. В системе грунт-сооружение последнее образует «черный ящик».

Сейсмическая зона также представляет физическую систему в случайные моменты времени меняющую свое состояние. Внутренними переменными системы являются характеристики землетрясений: координаты гипоцентра; время возникновения и магнитуда. Взаимозависимость (для очаговых зон, где она есть) между магнитудой и глубиной очага; интервалами времени между последовательными землетрясениями и магнитудой является статистическими связями внутренних переменных модели. Интенсивность тектонического процесса, размеры блока земной коры, физико-химические характеристики среды на разных глубинах, волны приливных деформаций, скорость вращения Земли являются внешними для системы переменными. Ясно, что внешние переменные влияют на внутренние переменные. Например, обнаружена статистически значимая связь средней силы между помесечным числом землетрясений в Румынии и числом солнечных пятен [48].

## **2. Вероятностный подход к оценке сейсмической опасности на основе стохастических моделей сейсмичности**

### **2.1 Оценка сейсмической опасности на основе стохастических моделей сейсмичности**

В качестве меры сейсмической опасности предлагается вероятность:

$$P_{(\varphi, \lambda)}(t, n, m, I^k), \quad (5)$$

того, что в географической точке  $(\varphi, \lambda)$  за время  $t$ , случится  $n$  сейсмических толчков,  $m$  из них с интенсивностью  $I^k$ . Легко увидеть, что все существующие вероятностные оценки сейсмической опасности являются частными случаями этой меры. Например, связывая с каждым толчком некоторой интенсивности  $I^k$  экономические убытки, получим вероятностную оценку экономического риска. Изменив ход вычислений можно определить порог интенсивности сейсмических

воздействий, который будет превышен с некоторой вероятностью хотя бы один раз в  $t$  лет. Полагая  $t=50$  лет, получим оценку сейсмической опасности в формате “Еврокод 8”. Наибольшее значение интенсивности толчков, смещений почвы - это то значение, при котором вероятность (5) равна нулю.

Вычисление меры сейсмической опасности (5) проводится в 3 этапа [48, 49]:

1. Выделяются сейсмические зоны окружающие географическую точку  $(\varphi, \lambda)$ . Определяется место возникновения и магнитуда будущих землетрясений в сейсмических зонах.
2. Строится вероятностная модель сейсмического режима - потока магнитуды, глубины и координат эпицентров землетрясений.
3. Создается модель затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием.

Землетрясения представляют собой отражение геологических процессов, происходящих в земных недрах, и происходят в совершенно различных по структуре и по характеру геологического развития районах Земли. На современном этапе развития наук о Земле предполагается, что сейсмичность зависит от: интенсивности тектонического процесса; размеров блока земной коры, в котором могут накапливаться упругие напряжения; физико-химических условий на разных глубинах в земной коре; предела прочности и предела текучести горных пород на этих глубинах и от особенностей геологического строения региона. Отсутствие исчерпывающих знаний о процессах, приводящих к возникновению и разрядке тектонических напряжений, наличие неучтенных признаков, неопределенностей и погрешностей в наблюдательной сейсмической базе данных являются достаточным основанием для применения вероятностных методов в исследовании сейсмичности. Под сейсмичностью подразумевается подверженность Земли или какой-то территории воздействию землетрясений. В реальном мире, появление каких-то процессов, в какой-то форме зависимости, может повлиять на появление других процессов. Зависимость может иметь форму [50]:

- Закона, если зависимость установившаяся, неотвратимая, однозначная и появление процессов повторяется каждый раз.
- Статистического закона, когда часть процессов повторяется регулярно, а часть нет.
- Теории или принципа, когда нет определенной закономерности в появлении процессов.
- Гипотезы, когда нет достаточно оснований для теории, то для объяснения явлений выдвигается гипотеза.

В предложенном алгоритме вычисления меры сейсмической опасности (5) на всех этапах применены статистические методы, учитывающие характеристики сейсмичности и неопределенности, существующие как в исходных данных, так и в параметрах модели.

Сейсмичность (сейсмический режим) характеризуется:

- \* частотой возникновения землетрясений;
- \* статистическим распределением силы толчков (магнитуды);
- \* пространственным распределением очагов;
- \* макросейсмическими наблюдениями сильных сейсмических событий (интенсивность сейсмических воздействий, картина нанесенного ущерба).

В вероятностном подходе к оценке сейсмической опасности используются каталоги землетрясений сейсмических зон. На базе каталогов землетрясений определяется пространственно-временное и энергетическое распределение землетрясений, что является достаточным для оценки сейсмической опасности. Каталог землетрясений содержит реализацию некоторого случайного потока (случайного процесса) сейсмических событий, и его нужно определить. Исчерпывающим определением случайного процесса является задание совместной – конечномерной функции распределения. Однако, вычисление конечномерной функции распределения, за исключением некоторых тривиальных случаев, является задачей невыполнимой. Но в классе Марковских процессов конечномерная функция распределения выражается через одно- и двумерные функции распределения. Основополагающим предположением в анализе сейсмической опасности является стационарность сейсмичности во времени и в пространстве, что не всегда имеет место. Определение и характеристика сейсмических зон является ключевым моментом в оценке сейсмической опасности. Сейсмическая зона характеризуется [1, 6, 30]:

- i) Геометрическими особенностями строения среды.
- ii) Распределением сейсмичности, максимальной магнитудой и расположением гипоцентров землетрясений.
- iii) Ожидаемой ориентацией разломов, которая может быть и случайной величиной.
- iv) Преобладанием единого механизма землетрясений, геотектоническим сложением среды. Похожими сеймотектоническими особенностями, физическими свойствами, локальными вариациями поля напряжений.

Обычно, выделение сейсмических зон проводится по результатам специальных сеймотектонических исследований, с учетом вышеуказанных признаков. Но, бывают случаи, когда имеем базу данных сейсмических событий и для оценки опасности приходится географически определить зоны эпицентров землетрясений. Эпицентры землетрясений имеют тенденцию группироваться в пространстве. Это явление используется для географического деления территорий на сейсмические зоны с помощью кластерного анализа, при отсутствии выделенных сейсмических зон. В зависимости от критериев подобия объектов в кластерном анализе, можно добиться размежевания эпицентральных зон.

Если это пространство разбить на непересекающиеся подпространства, то координаты очага каждого землетрясения будут принадлежать одному, и только одному подпространству. Предполагается, что каждое подпространство является элементарной сейсмической зоной. Последовательность землетрясений, с координатами из элементарных сейсмических зон, и с магнитудой из некоторого интервала разбиения диапазона магнитуд, рассматривается как реализация некоторого 4-хмерного случайного процесса. Этот процесс будет иметь скачкообразную траекторию, находясь в некотором состоянии в промежутке между скачками. В дальнейшем, под состояниями системы будем подразумевать 4-х мерные интервалы  $E_r = [F_{ix}L_{ix}H_{ix}M_m]$ :

$$i \in (1, R_\phi), \quad j \in (1, R_\lambda), \quad k \in (1, R_h), \quad m \in (1, R_m), \quad R = R_\phi R_\lambda R_h R_m, \quad (6)$$

используя лексикографический порядок индексов можно писать:

$$r = (i-1)R_\lambda R_h R_m + (j-1)R_h R_m + (k-1)R_m + m \quad (7)$$

Пространством состояний является совокупность всех состояний  $\Omega = \{E_r\}$ ,  $r=1, \dots, R$ ; где  $R$  - число состояний. На основе марковской модели потока землетрясений можно определить распределение параметров землетрясений по состояниям  $E_r$ . Следовательно, случайный поток землетрясений сейсмической зоны будет состоять из суммы  $R$  потоков. Распределение очагов землетрясений в элементарных источниках станет более однородным. Сейсмическая опасность в точке  $(\varphi, \lambda)$  будет интегральной опасностью исходящей от элементарных очагов [49].

Строить карту сейсмической опасности на основе меры (5) не удастся, так как она является непрерывной величиной. Для построения карты сейсмической опасности предлагается следующий подход: пространство состояний разбивается на два подпространства:  $\Omega = \Omega' \cup \Omega''$ , где  $\Omega''$  является объединением состояний параметров землетрясений, способных вызвать в точке  $(\varphi, \lambda)$  толчок с силой не менее  $I^k$  [48].

$$P(\Omega'') = \sum_{r=1}^R p_r I_{E_r} (I^k \geq i) = \beta_k, \quad (8)$$

где  $R$  - число состояний, а  $i=1, \dots, I2$ ;  $p_r$  - вероятность возникновения землетрясения с параметрами из состояния  $E_r$ . Точка может находиться в зоне влияния некоторого числа  $L$  зон очагов землетрясений. Сейсмическая опасность в точке  $(\varphi, \lambda)$ , находящейся в зоне воздействия некоторого числа сейсмических зон вычисляется по формуле [49]:

$$P_{\varphi, \lambda}(t, n, m, I^k) = p(t, n) \frac{n!}{m!(n-m)!} \beta_k^m (1 - \beta_k)^{n-m} \quad (9)$$

Карта сейсмической опасности территории Республики Молдова (рис. 1), находящейся в зоне воздействия 13 сейсмических зон, выделенных кластерным анализом каталога землетрясений ROMPLUS, построена на основе меры сейсмической опасности (8). Для вычисления сейсмической сотрясаемости применяется формула [49]:  $E(m_k) = n\beta_k$ , где  $n$  - среднее число сотрясений в точке  $(\varphi, \lambda)$  в  $t$  лет, определяется интенсивностью наступления сейсмических событий в распределении Пуассона.

## 2.2. Алгоритм Монте-Карло моделирования

Вероятностный анализ сейсмической опасности происходит по схеме:

1. Генерируется синтетический каталог, охватывающий интервал времени длиной в  $T$  лет.
2. Для каждого события из каталога, по закону затухания со случайным распределением, генерируется смещение грунта в точке  $(\varphi, \lambda)$ .
3. Фиксируется наибольшее значение колебания почвы в течение каждого года.
4. Шаги 1-3 повторяются  $R$  раз, так чтобы величина  $R \times T$  было хотя бы в  $10^3$  раз больше чем интересующий нас период повторения. Таким образом, если нас беспокоит сейсмическая опасность с ежегодной вероятностью  $10^{-4}$ , то можно было бы использовать 100000 каталогов в 100 лет или 200000 в 50 лет.

В этом случае, у каждого параметра теперь есть 10000000 значений для ежегодного максимального смещения грунта в точке. Чтобы определить смещение почвы, которое может быть превышено в течение года с вероятностью  $1/10000$ ,



просто нужно сортировать значения в убывающем порядке и выбрать 1001-е значение. Это пороговое значение было превышено 1000 раз из 10000000 случаев, и поэтому вероятность данного события равна 1/10000.

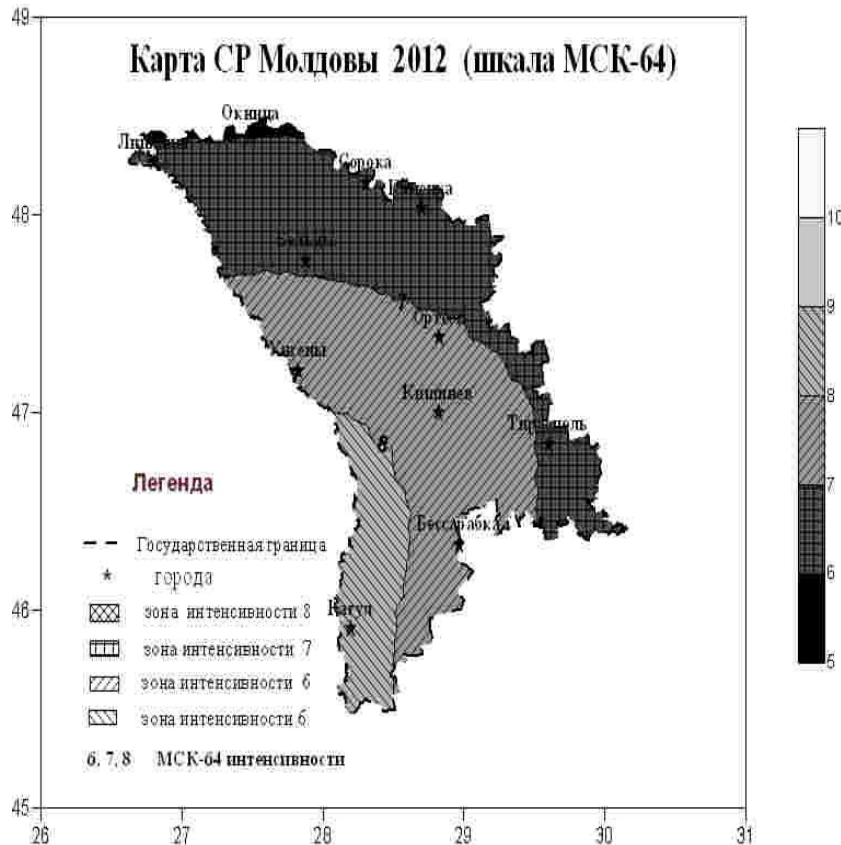


Рис. 1. Карта сейсмической опасности Республики Молдова, построенная на основе меры сейсмической опасности (8).

Часто, для проверки правдоподобия каких-то гипотез не хватает сейсмических данных. Например, если создана модель предсказания землетрясений, то нужно ждать возникновения предсказанного события. Время ожидания, в зависимости от силы землетрясения, может быть продолжительным, тогда как, каталоги инструментальных землетрясений охватывают короткий интервал времени, который может быть значительно короче периода повторения крупных сейсмических событий. В частности, для построения карты сейсмического районирования (СР) территории Молдовы используется каталог землетрясений Вранчи, который полон с минимальной магнитудой комплектности ( $M_k=2.3$ ) с 1978 г. Для составления 4-хмерной Марковской модели сейсмического режима требуется большой объем данных. Иначе матрица переходных вероятностей получается разреженной и невозможно применить матричные методы для исследования Марковской модели сейсмического режима. Поэтому, для увеличения объема каталога землетрясений, для составления искусственного каталога, применено Монте-Карло моделирование. Предполагается, что в течение столетий сейсмичность зоны Вранча остается стационарной.

Для создания искусственного каталога каждое состояние рассматривается как элементарный источник землетрясений, и определяются выборочные характеристики распределений для: времени возникновения; координат гипоцентра; глубины и магнитуды. Далее генерируется показательно распределенные случайные числа с выборочными характеристиками. Так определяется период времени охватываемого каталогом. Затем генерируются нормально распределенные случайные числа для географических широты, долготы и глубины землетрясений. Для магнитуды генерировались нормально и логнормально распределенные числа.

### **Выводы**

Все существующие подходы к оценке сейсмической опасности являются частными случаями предлагаемой вероятностной меры (5). Из этой меры можно получить вероятность превышения некоторого уровня интенсивности сейсмических воздействий: в баллах, в смещениях почвы и т.д. Наибольшее значение интенсивности воздействий в  $t$  лет определится порогом, который не будет превышен в заданном интервале времени. Оценки сейсмической опасности сильно зависят от коэффициентов уравнения макросейсмического поля. Для выделения сейсмических зон, в случаях, когда в каталогах не указаны зоны очагов землетрясений, применяется кластерный анализ. Метод является формальным, может применяться для оперативного сейсмического зонирования. Образование элементарных сейсмических зон, разбиением пространства очагов землетрясений на непересекающиеся подпространства, позволяет применить Монте-Карло моделирование для составления синтетических каталогов землетрясений.

### **Благодарности**

Данная работа появилась в результате дискуссий и бесед с коллегами, замечания, которых корректировали ход работы. Много лет назад основные подходы к количественным методам оценки сейсмической опасности были сформулированы замечательным сейсмологом Николаем Ивановичем Онофрашом. Особую благодарность хочется выразить доктору хаб. физ.-мат. наук В.Г. Алказ, доктору В.П. Чиботару, научному сотруднику П.П. Павлову и инженеру-геофизику В.Ю. Карданец за полезные замечания.

### **Литература**

1. British geological survey, seismology and geomagnetism programme, technical report cr/07/125. Eurocode 8 seismic hazard zoning maps for the UK. Keyworth, Nottingham British Geological Survey, 2007, 62 p.
2. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Отв. ред. В.И. Уломов. Вып. 1, Москва, ИФЗ РАН, 1993, 303 с.
3. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации - ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. Москва, ОИФЗ. 1999. 57 с.

4. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Отв. ред. В.И. Уломов, Москва, ОИФЗ РАН, 1995. Вып. 2-3, с. 289–300.
5. Алказ В.Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова. Кишинев, 2007, 229 с.
6. Christian Golbs, Probabilistische seismische Gefährdungsanalysen auf der Grundlage von Epizentrendichten und ihre ingenieurpraktischen Anwendungsgebiete. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades, Weimar, Deutschland, 2008, 193 s.
7. ROBIN K. MCGUIRE. DETERMINISTIC VS. PROBABILISTIC EARTHQUAKE HAZARDS AND RISKS. Risk Engineering, Colorado, USA, 1999, 7 p.
8. GRÜNTAL, G, BOSSE, C, MUSSON, R M W, GARIEL, J-C, CROOK, T D, VERBEIREN, R, CAMELBEECK, T, MAYER-ROSA, D, and LENHARDT. Joint seismic hazard assessment for the central and western part of GSHAP Region 3 (Central and Northwest Europe). Seismology in Europe. THORKESSON, B (editor). (Reykjavik: Icelandic Met. Office.) W., 1996, pp. 339-342
9. KRINITZSKY, E L. Deterministic versus probabilistic seismic hazard analysis for critical structures, Engineering Geology, Vol. 40, 1995, pp. 1-7.
10. KRINITZSKY, E L. How to combine deterministic and probabilistic methods for assessing earthquake hazards, Engineering Geology, Vol. 70, 2003, pp. 157-163.
11. ABRAHAMSON, N A, and BOMMER, J J. Probability and uncertainty in seismic hazard analysis. Earthquake Spectra, Vol. 21, 2005, pp. 603-608.
12. Ризниченко Ю.В. От активности очагов землетрясений к сотрясаемости земной поверхности. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1965, № II, с. 1-12.
13. Ризниченко Ю.В. Расчет сотрясаемости точек земной поверхности от землетрясений в окружающей области. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1966, № 5, с. 16-32.
14. Онофраш Н.И. Статистические методы картирования сейсмической опасности. Кишинев, Штиинца, 1981, 109с.
15. Reiter, L.: Earthquake Hazard Analysis, Columbia University Press, New York, 1990, 252 p.
16. Cornell, C.A., Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 58, N. 5, 1968, pp. 1583-1606.
17. G. Solomos, A. Pinto, S. Dimova, A Review Of The Seismic Hazard Zonation in National Building Codes in the context of Eurocode 8, European Commission Joint Research Centre, Luxembourg, 2008, 72 p.
18. Algermissen S. and D. Perkins: A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States, U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 76-416, Reston, Va., 1976, 45 p.
19. Karnik, V., Schenkova, Z. and V. Schenk: Seismic hazard estimates for low seismicity region - example of Bohemia, PAGEOPH 119, 1981, pp. 1077–1092.
20. McGuire, R. K.: Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute, EERI Publication No. MNO-10, Oakland CA, 2004.
21. BURTON, P. W. Seismic risk in Southern Europe through India examined using Gumbel's third distribution of extreme values, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. Vol. 59, 1979, pp. 249-280.

22. И.И.Елисеева, М.М.Юзбашев. Общая теория статистики. Москва, Финансы и статистика, 2004. 656 с.
23. Gruppo di Lavoro Scuotibilità. Carte preliminari di scuotibilità del territorio Nazionale, CNR-Progetto finalizzato geodinamica, publ. 361, ESA, Rome. 1979, pp. 34-41.
24. M. Garcia-Fernandez; M. J. Jimenez; A. Kijko. Seismic hazard parameters estimation in Spain from historical and instrumental catalogues. *Tectonophys.*, Warszawa, Inst. Electrical & Electronics Engineers, vol. 167, No. 9, 1989, pp. 245-251.
25. Kagan, Y. and Knopoff, L., Earthquake risk prediction as a stochastic process. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 14, 1977, pp. 97— 108.
26. Rosenhauer W.: Benutzungs-Anleitung für das Programm PSSAEL zur probabilistischen seismischen Standort Analyse, Bericht im Auftrag der Technischen Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber e.V. (VGB), 1999, 126 s.
27. KIJKO, A, AND SELLEVOLL, M A. Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files : Part 1 – Utilisation of extreme and complete catalogues with different threshold magnitudes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 79, 1989, pp. 645-654.
28. KNOPOFF, L, AND KAGAN, Y Y. Analysis of the theory of extreme values as applied to earthquake problems, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 82, 1977, pp. 5647- 5657.
29. WOO, G. Kernel estimation methods for seismic hazard area source modelling. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 86, 1996, pp. 353-362.
30. Shapira, A. Potential earthquake risk estimations by application of a simulation process. *Tectonophysics* 95, 1983, pp. 75-89.
31. LAPAJNE, J K, SKET MOTNIKAR, B, ZABUKOVEC, B AND ZUPANCIC, P. Spatially-smoothed seismicity modeling of seismic hazard in Slovenia, *Journal of Seismology*, Vol. 1, 1997, pp. 73-85.
32. Metropolis, N.; Ulam, S.: The Monte Carlo method. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 44, 1949, pp. 335-341.
33. Perelman, J.I.: *Unterhaltsame Geometrie. Eine Sammlung allgemeinverständlicher geometrischer Aufgaben zur Unterhaltung und Übung.* Verlag Volk und Wissen, Berlin, 1963, 118 s.
34. Siebert, B.R.L.; Sommer, K.-D.: *Grundlagen der Monte-Carlo-Methode für die Unsicherheitsberechnung. VDI/VDE-GMA – Workshop "Neue Entwicklungen in der Messunsicherheitsermittlung"*, Ilmenau, 2006, 98 s.
35. Cox, M.G; Siebert, B.R.L: The use of a Monte Carlo method for evaluating uncertainty and expanded uncertainty. *Metrologia*, Vol. 43, 2006, pp. 178-188.
36. CRAMER, C.H., PETERSEN, M D, AND REICHLE, M S. A Monte Carlo Approach in Estimating Uncertainty for a Seismic Hazard Assessment of Los Angeles, Ventura, and Orange Counties, California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 86, 1996, pp. 1681-1691.
37. EBEL, J E, AND KAFKA, A L. A Monte Carlo approach to seismic hazard analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 89, 1999, pp. 854-866.
38. MUSSON, R M W. On the use of Monte Carlo simulations for seismic hazard assessment, in *Proceedings of the 6th US National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, 1998.

39. LAPAJNE, J. Some features of the spatially smoothed seismicity approach. 27-33 in Seismicity modelling in seismic hazard mapping. LAPAJNE, J, and IDRIH, R (editors). (Ljubljana: Slovenian Geophysical Survey.), 2000.
40. Peter Buhlmann. Von Daten zu Stochastischen Modellen. Elemente der Mathematik. Birkhauser Verlag, Basel, 2000. 18 p.
41. D.M. Imboden, S. Koch. Systemanalyse. Springer-Verlag Heidelberg GmbH & Co.KG 2003, 255 s.
42. Е.Е. Шамис, М.И. Присяжнюк, Н.Г. Цуркану, В.Д. Иванов. Системный анализ проблем как практический метод решения производственных задач промстройматериалов. Buletinul INCERCOM, Nr. 4, 2013, 63-70 с.
43. Nicolas Gruber. Systemanalyse. Environmental Physics, 2012. 43 с.
44. Ulrich, H., Probst, G.J.B.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. Haupt, 1991. 98 с.
45. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ. Москва, Юрайт, 2010, 241 с.
46. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: Учеб. пособие. Москва, Бизнес-пресса, 2000, 137 с.
47. Burtiev R.Z. Seismic Hazard Mapping Based on Multi-dimensional Markov Model of a Seismic Regime // Gerlands Beitrage Geophysik, Leipzig, 95, 1985, s. 499- 508.
48. RASHID BURTIEV. Evaluation of seismic hazards from several seismic zones. Environmental Engineering and Management Journal. N12, 2012. p.32-42.
49. БУРТИЕВ Р.З. О статистическом подходе к картированию сейсмической опасности больших территорий. Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al ASM. 2008, Nr. 2. 57-61.
50. A. Malachow. Geheimnisse des Erdinneren, Leibzig, Fachbuchverlag, 1981, 196 s.

*Primit la redacție –8 iulie 2013*

УДК 550.348.096.64

Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю.

## Карпатские землетрясения за 1821 и 1829 годы. (Макросейсмический каталог)

### Abstract

The article contains the macroseismic data of Carpathian earthquakes historically observed on the Republic of Moldova territory during the XIX century (February 10<sup>th</sup> and November 17<sup>th</sup>, 1821 and November 26<sup>th</sup>, 1829). The data were used to create the macroseismic maps.

### Rezumat

Sunt prezentate datele macroseismice pentru cutremurile puternice carpatiene, care s-au manifestat pe teritoriul Republicii Moldova în secolul XIX: 10 februarie și 17 noiembrie 1821 și 26 noiembrie 1829. Rezultatele sunt prezentate în forma de hărți macroseismice.

### Резюме

Представлены макросейсмические данные для сильных карпатских землетрясений XIX века, проявившихся на территории Молдавии 10 февраля и 17 ноября 1821 г., а также 26 ноября 1829 г. В результате построены карты изосейст.

За исследуемый период наблюдений отмечено три ощутимых в Молдове землетрясений, для которых имеется макросейсмическая информация: 10 февраля и 17 ноября 1821 г. и 26 ноября 1829 г. В таблице 1 приводятся параметры землетрясений по данным основных карпатских каталогов.

Таблица 1

Параметры землетрясений 1821 – 1829 гг.

Дата	Время	Эпицентр	Интенсивность в эпицентре	Глубина очага	Магнитуда	Источник
	ч м с	Ш.шир E долг.	I <sub>0</sub>	H, km	M <sub>s</sub> (M <sub>w</sub> )	
10 02 1821	00 00 ± 6ч	(45,7; 26,6) ± 0,5	(6 – 7) ± 1	(100) 80-150	5,9 ± 0,7	[1]
	00 00	45,7;26,6	6 – 7	i	5,8	[2]
	00 30	45,7;26,6	7	i	6,3	[3]
	00 30	45,70;26,60	7	150	6,6	[4]
17 11 1821	13 30 ± 1ч	(45,7; 26,6) ± 0,5	(7 – 8) ± 1	(150) 75-200	6,7 ± 0,7	[1]
	13 45	45,7;26,6	6 – 7	i	5,8	[2]
	13 45	45,7;26,6	7	i		[3]
	13 45 00	45,70;26,60	7	130	6,5	[4]
26 11 1829	02 40 (Гр.)	45,8;26,6	8	150	6,6	[5]
	01 40 ± 10	(45,7; 26,6) ± 0,5	8 ± 1	(150) 100-170	6,9 ± 0,5	[1]
	01 40	45,7;26,6	7 – 8	i	6,4	[2]
	01 40	45,7;26,6	8 – 9	i		[3]
	01 40 00	45,80;26,60	8 – 9	150	7,3	[4]

Землетрясение 10 февраля охватило Молдавию, Валахию, Трансильванию и юго-запад Российской империи, включая Бессарабию и часть Украины. В Бухаресте ощущалось два сильных толчка. В Дубоссарах самые крепкие каменные

здания поколебались заметным образом. Ощущалось оно и в Киеве, поколебав не только оконные ставни, но и стены.

Землетрясение 17 ноября также ощущалось в Дунайских княжествах, в Бессарабии и на Украине. В Яссах в некоторых домах появились трещины. Со значительной силой проявилось в Дубоссарах, Николаеве, Одессе, Очакове, Ольгополе. В Киеве и Львове ощущалось незначительно. В работе [6] построена карта по 17 пунктам-баллам.

Разрушительное землетрясение 26 ноября 1829 г. описано во многих работах. Данных об эпицентральной области очень мало. Но по Молдове, Украине и России конкретных сведений больше, чем для предыдущего события 1802 г. В Атласе карт изосейст [7] имеется карта, построенная А.В. Друмя и В.М. Поповым по значениям балльности в 22 населенных пунктах. В книге [6] построена карта по 52 пунктам-баллам.

Землетрясению предшествовал ряд толчков 17, 20 и 23 ноября. В Бухаресте было разрушено 130 домов и ранено около 60 человек. В Яссах колебания продолжались 70 секунд, некоторые церкви и здания были повреждены. Землетрясение ощущалось во всей Болгарии и на востоке Польши.

Архиепископ Кишинёвский и Хотинский 15 ноября сообщил Правительственному Синоду, что в ночь на 14 ноября 1829 г. «в исходе четвертого часа по полуночи Господь посетил город Кишинёв столь сильным землетрясением, что подобного сему из многих в прошедшие времена бывших никто из старожилков не запомнит».

В Дубоссарах двери отворялись сами собой, с потолков сыпалась глина, в печах появились заметные скважины. В Бендерах повреждены трубы на зданиях, в казарме крепости образовались трещины, и во многих местах обвалилась штукатурка. В Тирасполе во многих домах образовались трещины и побиты стекла. Повсеместно толчки сопровождались подземным гулом.

К северо-востоку от эпицентра сотрясения была охвачена территория вплоть до Львовского уезда Курской губернии. В Крыму землетрясение проявилось интенсивностью до 4 баллов.

На юго-запад от эпицентра пределом ощущаемости явилась Мондавия близ Урбино на Адриатическом побережье Италии. Интересно отметить, что 4 марта 1977 г. сюда также дошли сотрясения в 2-3 балла.

### **Макросейсмические данные по землетрясениям 1821 г.**

В 1821 г. произошло два ощутимых землетрясения 10 февраля и 17 ноября. В селе *Секуень* уезда Дымбовица церковь Богородицы пострадала от двух землетрясений 1821 г. После второго землетрясения своды совсем ослабели, и от страха, что все рухнет, был сделан ремонт [8].

1821 г., январь 10 (29 декабря), 2 ч. (Вероятно, 10 февраля 1821 г., *авт.*). Большое землетрясение в Валахии, Молдавии, Трансильвании, Бессарабии и на всем юго-западе России. Ощущалось: в *Бухаресте* – два сильных последовательных толчка; в *Яссах* – растрескались стены; в *Киеве* – у некоторых зданий утром дрожали не только оконные ставни, но и стены. Направление ударов – с востока на запад. Продолжалось землетрясение несколько секунд. Жители *Дубоссар* были разбужены этим землетрясением, которое началось легкими колебаниями и глухим гулом, но последовавший затем второй удар был гораздо сильнее, так что самые крепкие каменные здания заметно колебались [9].

10 февраля 1821 г. в 2 часа утра произошло землетрясение, которое ощущалось сильно в *Яссах* (Молдавия). В тот же день (без указания времени), произошло сотрясение в 15 секунд в *Киеве*. Ощущалось аналогично в *Дубоссарах*. Направление обоих было с запада на восток [10].

В 1821 г. 29 января (ст. ст.) в начале 3-го часа утра было землетрясение в *Киеве*, поколебавшее не только оконные ставни, но и самые стены. Удар, по-видимому, простирался с запада на восток и продолжался не более 15 секунд. Жители *Дубоссар* также были пробуждены этим землетрясением, которое началось здесь лёгким колебанием почвы и глухим гулом; но последовавший затем второй удар был гораздо сильнее, так что самые крепкие каменные здания поколебались заметным образом [11].

Монастырь Бэрбой в *Яссах*. Церковь св. Апостолов Петра и Павла была серьезно повреждена в результате землетрясения 10 февраля 1821 г. и особенно землетрясения 26 ноября 1829 г. Старое здание было в плохом состоянии. Из-за риска разрушения место поклонения снесли, и построили новую церковь в 1841-1844 гг. [12].

1821 г., ноябрь, 17 (5), 15 ч. Сильное землетрясение, ощущавшееся в Молдавии, Валахии, на юге России. Со значительной силой оно проявилось в *Яссах*, где были разрушения, в *Киеве*, *Дубоссарах*, *Махновке*, *Николаеве*, *Ольгополе*, *Очакове*, *Умани* и *Виннице*. Из *Винницы* сообщали: «Землетрясение продолжалось пять минут. В комнатах все дрожало, стекла звенели, штукатурка осыпалась с потолков. Испуганные жители покидали кирпичные дома, боясь разрушений. Землетрясению предшествовал подземный гул. Направление землетрясения было с юго-запада к северо-востоку. С такой же силой ощущалось и в г. *Ольгополе*, Подольской губернии». Значительно более слабым оно было в *Львове* [9].

В *Яссах* растрескались стены [13].

В 1821 г. 5(17) ноября в 3 ч 45 м. дня было землетрясение, охватившее почти всю южную часть России, ощущавшееся в *Яссах* и в слабой степени в *Лемберге*. (в 2 ч. 50 м. дня). Со значительной силой проявилось в *Дубоссарах*, *Махновке*, *Николаеве*, *Очакове* и *Умани*. В *Киеве* напряжённость его была незначительна, в *Яссах* же растрескались стены [11].

В том же году 17 (19) ноября землетрясение в *Одессе*, продолжавшееся 40 секунд, море поднялось выше обыкновенного уровня [11].

1821 г. 5 ноября в субботу в 10 ½ часа дня случилось землетрясение, дважды и хорошо ощущал его, так как проснулся от сна, находился тогда в *Тыргул-Окна*.

В 1821 г. 5 ноября в субботу произошло землетрясение, я находился в то время в епископии *Арджеш*, во время песнопений в церкви.

В том же году 1821 5 ноября было землетрясение в субботний день, как пометил даскал Георгие монастыря *Цынцэрень*, 1823, 5 ноября [14].

### Обсуждение

Приведённых данных мало для построения карт изосейст землетрясений 10 февраля. Но, судя по интенсивности проявления вблизи эпицентра и крайним пунктам ощущаемости землетрясений, интенсивность первого из них можно оценить в 6 – 7 баллов, а второго в 7 – 8 баллов. В таблице 2 представлены данные о проявлении землетрясения 17 ноября 1821 г. на земной поверхности. Она послужила основой для составления карты макросейсмического проявления этого события (рис. 1).



Таблица 2.

Пункты-баллы землетрясения 17 ноября 1821 г.

№	Населенный пункт	№	Населенный пункт
	<b>5 – 6 баллов</b>	9	Винница
1	Бухарест	10	Одесса
2	Яссы	11	Ольгополь
	<b>5 баллов</b>	12	Цынцэрень
3	Брашов		<b>3 – 4 балла</b>
4	Сэкуень	13	Махновка (Комсомольское)
5	Тыргу-Окна	14	Николаев
	<b>4 – 5 баллов</b>	15	Очаков
6	Бендеры	16	Умань
7	Дубоссары		<b>3 балла</b>
8	Куртя-де-Арджеш	17	Киев
	<b>4 балла</b>	18	Львов

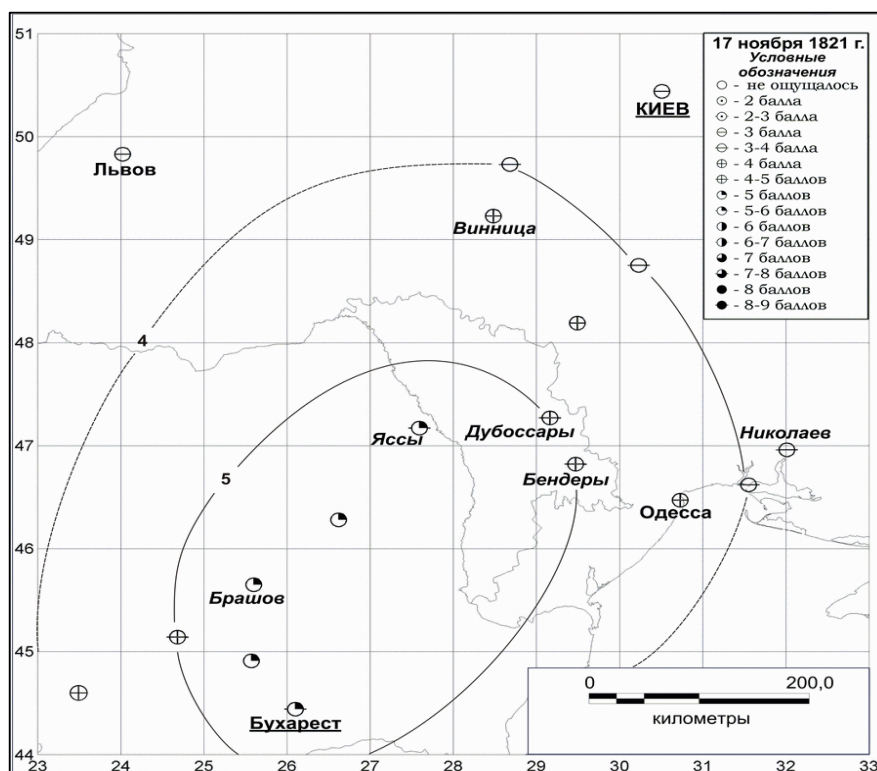


Рис. 1. Карта изосейст землетрясения 17 ноября 1821 г.

### Макросейсмические данные по землетрясению 1829 г.

В 1829 году 14-го (26) ноября около 4 часов утра произошло весьма значительное, как по силе, так и по обширности землетрясение, центр которого находился в Валахии, около Бухареста. Самые сильные удары были ощущаемы в Валахии, Молдавии и Бесарабии; затем оно распространилось также по всему юго-

западу Российской империи, причем продолжительность его была неодинакова, как можно видеть из следующего перечня: В *Яссах* оно длилось 70", *Кишинёве* – 3', *Рени* – 2,5', *Измаиле* – 4,5', *Тирасполе* около 5', *Дубоссарах* более 4', *Очакове* более 3', *Николаеве* от 3' до 4', *Херсоне* 40", *Кременчуге* 2', *Ольвиополе* 1,5', *Ивановке* (Ольвиопольского уезда) около 4', *Екатеринославе* 48", *Крюкове* 5', *Хороле* 10', *Умани* более 5', в *Баре* 8', *Сквири* более 2'. *Махновке* более 1', *Житомире* и *Бердичеве* несколько секунд, в *Киеве* более 2'. Самым северным пределом его был Львовский уезд Курской губернии, где ощущалось два удара, самым западным *Мондавия* близ Урбино в Италии. Включив ещё Галицию, Буковину и Трансильванию, мы получим то обширное пространство, на котором разразилось это землетрясение. Что касается его направления, то оно было также различно, как и продолжительность, например, в *Германиштадте* и *Медьяше* оно шло с СЗ на ЮВ, в *Яссах* с запада на восток, а в *Одессе* с ЮВ на СЗ. Вот более подробные сведения об этом землетрясении в некоторых из городов:

*Бухарест*. До 130 домов сломано, падением труб и стен побито и поранено около 60 человек; убытка причинено на 1 500 000 левов.

В *Кымпине*, что по дороге на Кронштадт, была разрушена церковь, в *Кронштадте* землетрясение было слабее.

*Германиштадт*. Около 3 часов 37 минут утра послышалось под землей глухое завывание, возобновлявшееся три раза, окна дрожали, как от сильного порыва ветра, затем последовало землетрясение, продолжавшееся 12 секунд, причем потрескались стены.

В *Медьяше* (Трансильвания) оно началось в 3 часа 45 мин. утра и возобновлялось четыре раза в течение 8 – 10 сек, колокола звонили сами собою.

В *Яссах* оно было в 4 ч. утра в виде горизонтального волнения, длившегося 70 сек., причем под землею был слышен глухой гул, некоторые церкви и здания были повреждены.

В *Кишинёве* началось в 4 часа утра с такой силой, что подобного ему не запомнят старожилы. Это явление тем замечательное, что продолжалось без перерыва около трёх минут; сперва чувствовалось два удара; оно причинило во всех зданиях более или менее важные повреждения, а во многих домах разрушило трубы и стены; все животные криком выражали ужас.

Особенно сильно оно проявилось в *Дубоссарах*, где началось между 20 и 25 мин. 4 часа утра и сопровождалось подземным гулом в течение более 4 мин.; двери отворялись сами собою, с потолка сыпалась глина, в печах появились заметные скважины. Отсюда оно шло на СВ через Ольвиопольский уезд, в котором была сильно повреждена деревня *Ивановка*.

В *Киеве* землетрясение ощущалось только в Печерской части и продолжалось 4 мин; во многих домах колебались двери и мебель, посуда опрокинулась, особенно заметно качание лампад. Никаких, однако, вредных последствий оно не имело.

В 3 ч. 52 м. утра в *Одессе* почувствовали землетрясение и шум, подобный стуку едущей по мостовой кареты. Двери затряслись и застучали. За первым ударом последовал второй более сильный; третий был слабее двух первых, некоторые полагают, что был еще 4-й удар, почти нечувствительный. Удары следовали быстро друг за другом и прекратились в 3 ч. 56 м. утра. Неожиданность этого явления не позволила сделать точные наблюдения; но большая часть

известий согласуется в том, что сотрясение шло с ЮВ на СЗ и что оно продолжалось 4 мин. Оно не имело никаких последствий, исключая нескольких трещин в штукатурке старых домов и падения в комнатах мелких вещей.

Вот что пишет об одесском землетрясении член С.-Петербургской академии Гаю (Mem. de l'Acad., 6 serie, t.1, p.4). «В 3 часа 58 мин. я проснулся от лёгких потрясений, которые были при начале явления; они почти постоянно усиливались в продолжение 2/3 минуты, а затем следовало довольно сильное сотрясение, продолжавшееся несколько секунд. Колебание уменьшилось, чтобы снова усилиться в течение почти одной минуты, после чего раздался сильный удар; его действие было гораздо продолжительнее, чем первого, затем новое ослабление и вторичное усиление колебаний. Все это продолжалось не более 12 или 15 с., затем третий удар, ещё слабее, чем первый; он продолжался только несколько мгновений, за ним следовал новый промежуток, в который колебания сначала уменьшились, потом начали усиливаться. Это продолжалось около 0,25 минуты. Затем следовало четвёртое и последнее землетрясение, которое по напряженности показалось мне равным третьему; оно длилось не более 3 или 4 сек. После этого колебания постепенно ослабевали и в 4 ч. 2м. и 2 с. все стало совершенно тихо. В течение этих 4 минут землетрясение совершенно не прерывалось. Деревянная перегородка, находившаяся в моей спальне, своим непрерывным треском доставила мне целый ряд отличных друг от друга колебаний, посредством её я насчитал 152 колебания в 30 сек.» Гаю приводит ещё другие доказательства в подтверждение о колебательном движении почвы. Так, вода в графине, имевшем 97 мм, с одной стороны поднялась на 8,25 мм, с другой только на 7.

В *Екатеринославе* землетрясение началось в 4 ч. утра и продолжалось несколько секунд. По общему замечанию, действие его в нагорных частях было сильнее, чем в низменных. Это доказывается тем, что строения, находившиеся в низшей части города, не потерпели ни малейшего повреждения; в каменном же тюремном замке, лежащем на возвышении, видны следы потрясения. При входе в замок, у самого подъезда между арками и в некоторых других местах оказались в штукатурке трещины; в квартире смотрителя обвалились лепные карнизы; несколько печей было повреждено. При этом замечено, что сотрясение действовало только на южную сторону замка, северная же нимало не потерпела.

*Тирасполь.* Землетрясение началось в 4 часа утра и продолжалось 4 мин.; во многих домах образовались трещины и побиты стёкла.

*Херсон.* Сотрясения чувствовались около 4 ч. утра; повреждено, и то в незначительной степени, только здание арсенала.

В *Бериславе* землетрясение происходило около 4 часов утра. Жители деревни *Ивановка* (Ольвиопольского уезда) были разбужены около 4 часов утра подземным шумом и сотрясением земли, продолжавшимся около 4 минут и поколебавшим самые толстые стены каменных строений.

*Аккерман.* Землетрясение с подземным шумом происходило здесь в течение 4 – 5 мин., в конце 4 часа.

*Рени.* В начале 5-го часа утра почувствовали здесь сильное землетрясение, которое сопровождалось подземным гулом и навело страх на жителей; в соборе несколько образов выпало из иконостаса, во многих домах разрушились дымовые трубы.

В *Очакове* землетрясение ощущалось в 3 ч. утра.

В *Николаеве* оно сопровождалось подземным гулом.

Из Варшавы было получено известие, это землетрясение происходило также в *Хадинковце, Орижковце, Потоцке, Дубках, Хороденке* и даже по ту сторону Днестра в *Червонограде*.

Было замечено, что в южных частях потрясённого района после землетрясения пошел сильный снег.

В *Одессе* с 7 ноября стояли морозы, и земля была покрыта снегом. 13-го числа днём началась оттепель; вечером многие чувствовали головную боль. По наблюдениям Гаю, барометр несколько не колебался во время землетрясения.

Перед началом этого явления люди ощущали в голове необыкновенную тягость, а животные казались унылыми; когда же начались удары, то ржанье, мычанье, вой и т.д. слились в один ужасный гул [11].

Этому землетрясению предшествовал ряд толчков 17, 20 и 23 ноября. Землетрясение 26 (14) ноября было весьма сильным и охватило большую территорию. Эпицентр находился в районе Вранча. Сильнее всего землетрясение ощущалось в Валахии, Молдавии и Бесарабии. Кроме того, оно распространилось на остальную юго-западную Россию. Продолжительность в разных городах была различная. Направление толчков также различное: в *Сибии (Германиштадт)* – с северо-запада на юго-восток, в *Яссах* – с запада на восток, в *Одессе* – с юго-востока на северо-запад. Самым северным пределом был Львовский уезд Курской губернии. В *Бухаресте* было разрушено 130 домов и ранено около 60 человек. Убытков причинено на 150 000 леев.

По направлению на северо-восток от *Бухареста* землетрясение было заметно слабее. В *Яссах* повреждено несколько зданий и церквей. Землетрясение сопровождалось подземным гулом. Кроме того, со значительной силой землетрясение ощущалось в гг. *Брашов, Кымпина, Медиаши, Алба-Юлия, Лугож, Сибии*.

На нашей территории землетрясение ощущалось следующим образом. В *Тирасполе*, который был дальше от эпицентра, чем *Яссы* и *Бухарест*, во многих домах образовались трещины и побиты стекла. В *Рени* землетрясение сопровождалось подземным гулом и навело страх на жителей. В соборе несколько образов выпало из иконостаса, во многих домах разрушились дымовые трубы. На левом берегу Днестра, в *Дубоссарах* землетрясение не вызвало никаких повреждений. Оно сопровождалось подземным гулом; двери отворялись сами собою, с потолка сыпалась глина. В районе же *Кишинёва* наблюдалось снова усиление колебаний. Здесь землетрясение длилось непрерывно 3 минуты. Причинён был довольно значительный ущерб. Во многих домах разрушились стены и трубы. В *Одессе* наблюдалось 3 толчка, самым сильным был второй. Землетрясение сопровождал подземный грохот. Двери тряслись, образовались трещины в штукатурке старых домов. В *Херсоне* было повреждено здание арсенала. В *Киеве* землетрясение ощущалось только на Печерске и продолжалось 4 мин. Во многих домах колебались двери и мебель, опрокидывалась посуда, особенно заметно было качание лампад. В *Екатеринославе* (ныне *Днепропетровск*) землетрясение продлилось несколько секунд. В нагорных частях города оно

ощущалось сильнее, чем в низменных. Строения, находившиеся в нижней части города, не потерпели ни малейшего повреждения. В каменном тюремном замке, находившемся на возвышенности, у подъезда между арками и в некоторых других местах образовались трещины, обвалились мелкие украшения, было повреждено несколько печей.

Землетрясение ощущалось также в *Аккермане* (ныне *Белгород-Днестровский*), *Черновцах*, *Бериславе* (Херсонской обл.), *Измаиле*, *Очакове*, *Николаеве*, *Кременчуге*, *Ольвиополе*, *Крюкове*, *Умани*, *Баре*, *Хорале* (Полтавская обл.), *Сквире* (Киевская обл.), *Махновке*, *Бердичеве*, *Червонограде* (Галиция).

14 ноября в среду ночью на четверг на 10 часу ночи, на пение петухов, в день св. апостола Филиппа, начала рождественского поста, было землетрясение, очень сильное, которое в немногo уступило землетрясению 14 октября 1802 г., которое случилось ровно 27 лет и один месяц назад, во время прихода Константина Ипсилантия; то было 14 октября, а это 14 ноября, то во время обеда, а это ночью, и много зданий получили трещины, а другие развалились, и большой ущерб причинён.

В тот же четверг 14 ноября, вечером на 2-м часу ночи, опять уже во второй раз произошло землетрясение, тоже сильное, но не так как первое, когда все люди завтракали, в рождественский пост (Хроника г-жи Тарташеску).

Это землетрясение отмечено и в мемуарах Перрея следующим образом.

1829 года, 26 ноября около 4 часов утра было одно из значительных землетрясений, ощутимое от Трансильвании до *Киева*; оно охватило площадь в 100 миль, с ЮЗ на СВ и 40 миль с севера на юг, охватив область между *Германштадтом*, *Черновцами* и *Бухарестом* к западу, *Киевом*, *Екатеринославом* на востоке. Кажется, оно достигло и *Баната*. Но *Бухарест*, который ощутил и другие трясения, на этот раз, кажется, был центром движения. В городе 115 домов стали аварийными и 15, которым требуется серьёзный ремонт. В *Кымпине*, что на Кронштадском шоссе, одна церковь была полностью разрушена. Колебания в самом *Кронштадте* были слабыми.

В *Германштадте* около 3 часов 37 минут утра послышалось под землёй глухое завывание, возобновлявшееся три раза, окна дрожали, как от сильного порыва ветра, затем последовало землетрясение с СВ на ЮЗ. Подземные сотрясения длились 12, а по счёту других, 72 сек. Во многих зданиях образовались трещины.

*Медиаши* (Трансильвания), колебания ощущены в 3 часа 45 минут и повторились четыре раза с интервалом от 8 до 10 секунд. Волнообразные движения с направлением с СЗ на ЮВ; оно было таким сильным, что от колебания почвы колокола звонили сами.

*Черновцы* (на реке Прут), дул очень сильный ветер, с 12 часов ночи до 3 часов. Почти совсем стих, когда произошло землетрясение, и тогда пошёл в большом количестве снег в большей части Молдавии.

*Яссы*. Трясение ощущено очень сильно в 4 часа с направлением с З на В в сопровождении гула, здания были разрушены, и большое количество их получило серьёзные повреждения [10].

1829, ноябрь 14/26, 3 ч 4 м. Большое землетрясение в Европе и румынских княжествах. Сильно ощущалось на Тисе и Буге (Россия), в долине Муреша и Дуная.

Много ущерба: в *Бухаресте* (115 домов треснули, 15 рухнули), в *Сибиу* (много домов треснуло), в *Медиашие* (4 волны в течение 10 минут, колокола звонили сами). Хорошо ощущалось также в: *Алба Юлии*, *Лугоже*, *Кымтине* (одна церковь рухнула). Во многих городах и селах падали потолки, дымоходы и печки рухнули.

Сильно ощущалось в изгибе Карпат. Направление волн: в *Бухаресте* З-В, *Сибиу* СВ-ЮЗ, *Медиашие* СЗ-ЮВ, *Яссах* З-В. Также много ущерба на юге России между Прутом и Днестром. Эпицентр, вероятно, в регионе Вранча [15].

Большое землетрясение в Восточной Европе. Толчки дошли до Баната, *Германиада*, *Киева*, *Екатеринослава* и *Бухареста*.

В *Бухаресте* 115 домов пришли в аварийное состояние. 15 из них вынуждены были разрушить. В *Кишинёве* и *Дубоссарах* повреждены здания и стали аварийными. Больше пострадал *Ольвиополь* и его окрестности. Село *Ивановка* было полностью разрушено [16].

В *Бухаресте* 150 домов обвалились и 115 в аварийном состоянии. Разрушения в *Кымтине* (к югу от Карпат), в *Яссах*, *Кишинёве* (Бесарабия). В руинах села уезда *Ольвиополь* (севернее Одессы) [17].

Валахия. В ноябре месяце в среду на 13, ночью на четверг. На 11 часу ночи очень сильно трясло землю, даже обвалились стены домов, печки перегородки падали. На второй день в четверг утром в 2 часа снова трясло, но слабее. Тогда на третьем часу ночи в четверг трясло, но легче [14].

26 ноября 1829 г. произошло сильное землетрясение в Галиции, Румынии, Буковине, Трансильвании и России. На север сейсмическая волна проникла до Львовского уезда, а на юг до *Мондавиш* и Италии. Эпицентр его находился в *Бухаресте*, где рушилось около 130 домов, и *Кронитадтом* или *Кемпиной*. В последнем городе развалилась церковь.

Сейсмические волны с направлением СЗ-ЮВ и силой около 7 баллов наблюдались в *Германиада* и *Медиашие*. В *Яссах* они шли с запада на восток с силой 7-8 баллов.

Для этого землетрясения в России удаётся уже наметить несколько путей распространения сейсмических волн. Так, идя по берегу Черного моря, сейсмическая волна прошла через *Рени*, *Измаил*, *Аккерман*, *Одессу*, *Очаков*, *Херсон*; повернув здесь к северу, она шла через *Бериславль*, *Екатеринослав* на *Хороль* и *Льгов*. Интересно, что в *Екатеринославе* в нагорных частях города колебания были сильнее.

В *Кременчуг* сейсмическая волна прошла, вероятно, по Днепру.

Другой путь из Румынии, вероятно, из *Ясс*, был такой: из *Кишинёва* на *Дубоссары* и на *Тирасполь*, отсюда к СВ на *Ольвиополь*, в окрестностях которого сильно пострадала деревня *Ивановка*, и дальше через *Умань*, *Сквиру*, *Махновку*, *Бердичев* на *Житомир*; из *Сквиры* сейсмическая волна проникла в *Киев*.

Наконец, третий прослеженный путь был через *Черновицы*, *Каменец-Подольск* и *Бар*. Осталось невыясненным, каким путём сейсмическая волна прошла в *Червоноград*, *Хадинковец*, *Дубки*, *Потоцк* и *Хороденок*.

В тот же день несколько позже землетрясение повторилось в некоторых городах Румынии и Бесарабии [18].

*Бухарест*. 115 домов стало нежилыми [19].

Об этом землетрясении имеется сообщение Румынского курьера, который публиковался в Бухаресте. В номере от 15/27 ноября он сообщает: «В среду ночью с 13 на 14, между 3 и 4 часами ночи, случилось в нашей столице большое землетрясение, которое пришло с востока и которое состояло из двух сильных толчков в минуту; нет ни одного дома в *Бухаресте*, которое не почувствовало ущерба: все здания повреждены, некоторые разрушены, потолки, дымоходы и печи упали, в переулках кое-где видны разрушения, подвалы наполнились водой» [10].

*Бухарест.* Землетрясением разрушены дома, погибло несколько человек [20].

26 11 1829 при землетрясении были разрушены здания в *Кишинёве* и *Измаиле*, в *Одесском* соборе образовалась трещина в стене; ощущалось оно и в Крыму [20].

С 13 на 14 ноября в 3 часа 35 минут по полуночи в течение двух минут последовало два сильных удара от юго-запада, в *Кишинёве*, *Аккермане*, *Бендерах* повреждены трубы на зданиях. В казарме крепости *Бендер* в это время сделались трещины, и во многих местах обвалилась штукатурка [21].

*Кишинёв.* Ночью против 14 числа настоящего ноября в исход четвёртого часа по полуночи Господь посетил город Кишинёв столь сильным землетрясением, что подобного сему из многих в прошедшие времена бывших никто из старожиллов не запомнит. Явление сие тем значительное, что действие оно продолжалось до трёх минут непрерывно, было предшествовано двумя ударами и, причинив во всех деревянных и других зданиях и строениях в городе более или менее важные повреждения, а во многих домах разрушило трубы и некоторые части каменных зданий. После чего вчерашнего числа в исходе 4-го часа пополудни опять чувствуемо было здесь лёгкое землетрясение, не сопровождавшееся, впрочем, никакими последствиями. (Рапорт Архиепископа Кишинёвского и Хотинского в Правительственный Синод) [22].

В *Кишинёве* ощущалось два удара большой силы. Почти все здания повреждены, во многих обрушились трубы и развалились стены [13].

*Рени.* «Ужасное» землетрясение. Во многих домах разрушились печные трубы.

*Ольвиополь.* Землетрясение продолжалось около 4 мин. Заметно колебались каменные стены, качалась мебель в домах.

*Ивановка.* Колебались каменные стены, в домах мебель сдвигалась с мест [23].

Настоящего месяца 13 против 14 числа в 3 четверти пятого часа с полночи было в *Болграде* необыкновенное в сем крае землетрясение, продолжавшееся, по замечанию многих, более минуты, от потрясения которого показались на стенах в каменных прочных строениях немалые трещины, на крышах сих строений произошёл сильный треск, печи в некоторых домах, трубы на крышах и буравы развалились. После сего 14 в 7 и 8 часу с полдня и 15-го числа в половине 1 часа с полдня было, но не в такой силе и мгновенно проходило (Рапорт Болградского протоиерея) [22].

*Одесса.* Сего ноября с 13 на 14 число в пятом часу пополудни после благовесту к заутрене в монастыре объяснённом было землетрясение, действие которого чувствуемо было и на хуторе монастырском, отстоящим от монастыря в четырёх верстах, живущими на оном служителями. В келье моей на втором этаже, когда начал одеваться к заутрене, увидел, что шкаф с посудой начал трястись, и вся в оном посуда со шкафом приведены были в большое движение так, что я бросился шкаф удерживать от падения, а в окошках и оконницах трещали стекла, но не

разбились, в сие самое время слышал я также подземный гул, довольно сильный, трясение продолжалось полторы минуты. По приходе в церковь узнал, что и сама церковь была в колебании, и пришедшие монашествующие не могли стоять без трясения. Все лампы перед образами и паникадило были в большом движении, а в трапезне церковной одна икона, поставленная на иконостасе, упала с одною штукаю резною, стоящею на том же иконостасе; гул был слышен всеми монашествующими, кои объяснили наподобие подъехавших к церкви летних экипажей, в церкви и стенах никакого вреда не последовало. Только в алтаре в двух окошках видимы расщелины довольно значительные. (Рапорт Одесского Успенского монастыря Архимандрита и Кавалера Палладия).[22]

Сего ноября с 13 на 14 число по полуночи в 3 часа и 3 четверти последовало в *г. Одессе* довольно ощутительное землетрясение, продолжавшееся по замечанию моему около пяти минут, а по уверению других, предшествовали ему еще два легких колебания с первого часа. Направление оно имело, по-видимому, от юго-востока к западу и кончилось без дальнейших несчастных последствий. (Рапорт Одесского протоиерея) [22].

*Одесса*. Отмечено землетрясение, тряслись и стучали двери в домах; было три толчка, наиболее сильный второй. Продолжительность землетрясения – около 4 минут. Повреждений не было [24].

*Одесса*. Сильное землетрясение, продолжавшееся около 4 минут. Возникли трещины в стенах, разбились стекла в окнах. Отмечены случаи обрушения карнизов. Развалился деревянный сарай [25].

В городе *Аккермане* сего ноября 14 числа с полуночи в 4 часа 10 минут довольно чувствуюемо было землетрясение, продолжавшееся более двух минут, причём слышен был гул, проходивший с севера. Хотя колебались многие дома, но повреждения в оных не случилось. (Рапорт Аккерманского протоиерея) [22].

*Рудь* (ныне Дондюшанского р-на). Церковь Рудянского Св. - Троицкого Скита построена 1.5.1777г. Зданием каменная с такой же при ней колокольной от бывшего в 1829 г. землетрясения потрескалась, а потому и не крепка. Скит в 1,5 верстах от Днестра и в двух верстах от с. Рудь. В некоторых местах здание от бывшего землетрясения в 1829 г. дало значительные трещины, прилегавшая к зданию колокольная совершенно разрушилась [26].

Доктор Иоганн Полек отмечает, что в *Черновцах* и во всей Буковине землетрясение было довольно сильным, но разрушений не было; устояло даже здание Черновицкой церкви, имевшее старые трещины. В здании Черновицкой гимназии образовались трещины у четырёх оконных проемов [27].

### Обсуждение

По пересмотренным данным была составлена таблица 3, состоящая из 54 населенных пунктов с указанием балльности, и построена на её основании карта интенсивности землетрясения 26 ноября 1829 г. (Рис. 2)

В эпицентральной области наблюдались семибалльные колебания. Изолиния в 6 баллов охватывает юго-западную часть территории Молдовы, а изолиния в 5 баллов охватывает всю территорию страны. На большей части Украины ощущались колебания силой 4 и 3 балла.



Таблица 3

Пункты-баллы землетрясения 26 ноября 1829 г.

№	Населенный пункт	№	Населенный пункт	№	Населенный пункт
	<u>7 баллов</u>	17	Сороки		<u>3 – 4 балла</u>
1	Бухарест	18	Черновцы	36	Бердичев
2	Джеменеле		<u>4 – 5 баллов</u>	37	Берислав
	<u>6 – 7 баллов</u>	19	Аккерман (Белг.-Дн.)	38	Житомир
3	Кагул	20	Алба-Юлия	39	Екатеринослав (Днепропетровск)
4	Кемпин (Кымпина)	21	Ивановка	40	Киев
5	Комрат	22	Констанца	41	Лугож
6	Яссы	23	Медиаш	42	Львов
	<u>6 баллов</u>	24	Одесса	43	Махновка
7	Болград	25	Ольвиополь (Первомайск)	44	Очаков
8	Кишинёв		<u>4 балла</u>	45	Севастополь
9	Рени	26	Бар	46	Симферополь
	<u>5 – 6 баллов</u>	27	Городенка	47	Сквира
10	Бендеры	28	Дубка		<u>3 балла</u>
11	Дубоссары	29	Каменец-Подольск	48	Кременчуг
12	Измаил	30	Николаев	49	Крюков
13	Тирасполь	31	Орижковец (Оришковцы)	50	Хороль
	<u>5 баллов</u>	32	Поточек	51	Червоноград
14	Германштадт (Сибю)	33	Умань		<u>2 – 3 балла</u>
15	Кронштадт (Брашов)	34	Хадынковец (Гадинковцы)	52	Льгов
16	Рудь	35	Херсон	53	Мондавио (Урбино)
		36	Хотин		

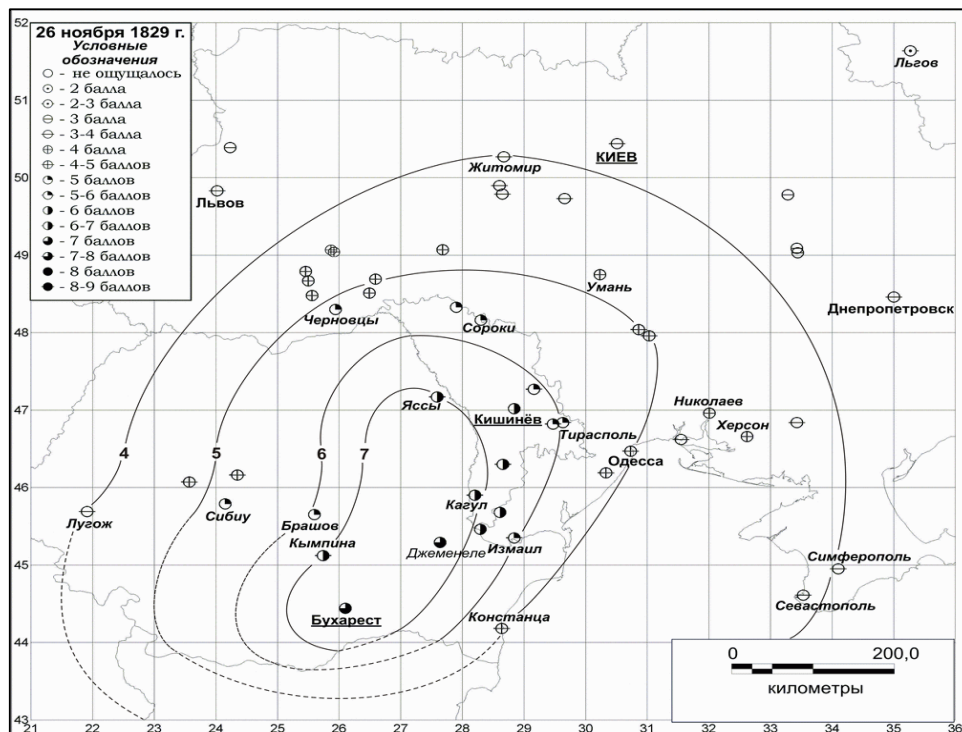


Рис. 2. Карта изосейст землетрясения 26 ноября 1829 г

### Выводы

В результате поиска и обработки приведенных данных о проявлении на земной поверхности землетрясений 1821-1829 гг. были построены карты изосейст событий 17 ноября 1821 г. и 26 ноября 1829 г.

Первичный материал по землетрясению 26 ноября 1829 г. был заново пересмотрен, дополнен новыми данными из архивных молдавских фондов. В итоге вместо 22 пунктов-баллов, приводящихся в Атласе [7], мы построили более надежную карту изосейст по макросейсмическим сведениям в 54 населенных пунктах Румынии, Молдовы и Украины.

Судя по макросейсмическому проявлению землетрясения 26 ноября 1829 г. в северо-западном направлении, сходному с землетрясением 31 августа 1986 г., глубина очага составила порядка 130 – 140 км.

### Литература

1. Новый каталог сильных землетрясений с древнейших времен до 1975 г. // Ред.: Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М., Наука, 1977, 536 с.
2. Radu C. Catalogul cutremurelor puternice produse pe teritoriul României. Partea 1 - înainte de 1901. Partea 11 – 1901-1979. Cercetări seismologice asupra cutremurului din 4 martie 1977. Editori I. Cornea, C. Radu. București, 1979. P. 723 – 752.
3. Constantinescu L., Mirza V. A Computer-Compiled and Computer-Oriented Catalogue of Romania's Earthquakes during a Millennium (984 – 1979). Geophysique, Revue Roumanie de geol., geophys. et geogr. 1980. Vol. 24, p. 193 – 235.
4. Каталог ROMPLUS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infp.ro/catal/catal.html-ROMPLUS> (Romplus catalogue RoNet analog seismograms Нуро/Нуроплюс program).
5. Евсеев С.В. Интенсивность землетрясений Украины. Сейсмичность Украины. Киев, Наукова думка, 1969. С. 32-55.
6. Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Алексеев И.В., Карданец В.Ю. Атлас карт интенсивности землетрясений Молдовы (XVIII-XXI вв.). Кишинёв, 2009. 162 с.
7. Atlas of isoseismal maps. Part. 3. UNESCO. Skopje, 1974. 275 p.
8. Petrescu-Dradol C. Restaurarea picturii bisericii din Secueni – Dâmbovița. Buletinul Comisiunii Monumentelor istorice, 1926. P. 167.
9. Евсеев С.В. Землетрясения Украины. Изд. АН УССР, Киев, 1961. 76 с.
10. Ștefanescu Gr. Cutremurele de pământ în România în timp de 1391 de ani, de la anul 455 până la 1874. Anal. Acad. Rom. // Mem. Secț. Științe (II), Vol. XXIV, București, 1902. p. 1-34.
11. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. Записки Русского географического общества, т. 26. С-Петербург, 1893. 420 с.
12. Biserica Vârboi. [ro.wikipedia.org/wiki/](http://ro.wikipedia.org/wiki/)
13. Попов В.В. Сейсмичность УССР и Бесарабии и связь землетрясений юго-запада СССР с карпатскими очагами. Труды сейсмологического института АН СССР №79 (7), 1938. М.-Л.
14. Pamfile T. Mitologia românească III. Pămîntul după credințele poporului român. București, 1924. P. 55.

15. Florinesco A. Catalogue des tremblements de terre ressentis sur le territoire de la RPR. Bucuresti, 1958. 167 p.
16. F. de Montessus de Ballore. România și Basarabia seismice. Annales Inst. Meteor, t. XVII (II). Buc., 1905.
17. Montandon F. Les tremblement de terre destructeurs en Europe. Genève, 1953. P. 131.
18. Васильев П. Сейсмичность Южной России и прилегающих к ней стран в связи с тектоникой. Записки Новороссийского общества испытателей. Т. 31, 1908. Одесса. С. 166-167.
19. Atanasiu I. Cutremurele de pământ din România. Acad. RPR, București, 1961. 275 p.
20. Одесский вестник. 1829, 27/II (9/XII), №95
21. Землетрясения в СССР. М., 1961. 412 с.
22. Защук А. Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами генерального штаба Бессарабской области, т. III. С.-Петербург, 1862.
23. Архивные материалы Центрального Государственного архива Молдавской ССР. Фонд 205. Опись 1, ед. хр. 6236. С. 3-8.
24. Одесский вестник, 1829, 23/XI (5/XII), №94.
25. Одесский вестник, 1829, 16/XI (28/XI), №92.
26. Одесский вестник, 1829, 20/XI (2/XII), №93.
27. Труды Бессарабского церковного историко-археологического общества. Вып. 9, 1914.
28. Сагалова Е.А. К вопросу о сейсмическом районировании территории Буковины. Сб. Сейсмичность Украины. Киев, Наукова думка. 1969. С. 70 – 80.

*Primit la redacție –10 ianuarie 2013*

УДК 550.348.096.64

Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю.

## **Карпатское землетрясение 23 января 1838 года. (Макросейсмический каталог)**

### **Abstract**

*The article provides research materials of macroseismic effect of the earthquake January 23<sup>rd</sup>, 1838. The results have been used to build up the macroseismical map.*

### **Rezumat**

*Articolul conține materiale de cercetare al efectului macroseismic cauzat de cutremurul din 23 ianuarie 1838. Rezultatele sunt prezentate în formă de harta macroseismică.*

### **Резюме**

*В статье приводятся материалы исследования макросейсмического эффекта землетрясения 23 января 1838 г. Составлена уточнённая карта изосейст.*

Далеко не все известные сильные и умеренные карпатские землетрясения имеют макросейсмическую характеристику, соответствующую современным требованиям. К таким относится, в частности, событие 23 января 1838 г. После этого сильнейшего землетрясения, когда в Кишиневе, согласно архивным документам, не осталось неповреждённых зданий, царское правительство запретило строить дома выше двух этажей. Сохранились данные, что в районе села Копанка течение Днестра отошло на 5 км к востоку и стало омыwać сёла Слободзия и Чобручи.

Основному событию за 12 минут предшествовал слабо ощутимый в Бессарабии толчок. После него наблюдались афтершоки небольшой интенсивности.

В эпицентральной области были жертвы, большие разрушения. По берегам рек образовались многочисленные трещины и провалы с выбросами чёрной воды, оползни. В Бухаресте почти все дома пострадали. Наибольший вред был причинён падением высоких стен монастыря Святого Георгия.

Довольно сильно землетрясение ощущалось и на Украине. В Рени все дома были повреждены. На Дунае весь лёд треснул, и уровень воды значительно упал. Стоявшее на мели судно «Марица» опрокинулось набок. В Киеве довольно сильные колебания сопровождались сильным гулом.

На территории России крайними пунктами наблюдения явились на севере Калуга, Тула и Козельск, на востоке – Таганрог.

В табл. 1 приводятся параметры землетрясения 23 января 1838 г. по данным основных каталогов [1-6].

В работе [7] приводятся изосейсты сильнейших карпатских землетрясений XIX века, в том числе, и землетрясения 1838 г. Предельные пункты, в которых ощущались колебания в России - Калуга и Тула на северо-востоке. На карте, построенной Сагаловой [8], отмечена балльность в 56 населённых пунктах, из

которых 6 находятся на территории нынешней Республики Молдовы. На карте, составленной Друмя, Поповым в [9] показано 42 пункта-балла без указания названий приведённых пунктов.

Таблица 1

## Основные параметры землетрясения 1838 г.

Время	Эпицентр	Интенсивность в эпицентре	Глубина очага	Магнитуда	Источник
<i>ч. м. с.</i>	<i>N шир. E долг.</i>	<i>Io, балл</i>	<i>H, km</i>	<i>Ms</i>	
21:11	45°38'; 27°20'				[1]
19:27 (Гр)	45,8; 26,6	9	150	7,4	[2]
18:36 ± 10	(45,7; 26,6) ± 0,5	8 ± 0,5	150 (100-170)	6,9 ± 0,5	[3]
18:45		9	i	7,3	[4]
18:45	45,7; 26,6	8	i	6,7	[5]
18:45	45,7; 26,6	9	150	7,5	[6]

Для дополнения и уточнения информации мы вновь исследовали имеющиеся макросейсмические данные по землетрясению 23 января 1838 г. из основных румынских, украинских и российских источников.

В материалах Кишинёвского государственного архива мы нашли много рукописных материалов: донесений государственных лиц вышестоящему начальству о последствиях землетрясения 1838 г. на территории Бессарабской губернии [10].

**Макросейсмические данные по землетрясению 23 января 1838 г.**

1838, январь 11 (23 – по старому стилю), 21 ч 11 м. Произошло большое страшное землетрясение, ощутимое на большой территории: России (Ю-З), Галиции, Молдавии, Валахии, Венгрии, Италии (С-В) до *Милана* и на Балканском полуострове до *Константинополя-Стамбула*. Много ущерба в изгибе Карпат, в Валахии и на юге Молдавии. В *Крайове* рухнули дома, церкви. Большинство зданий получили повреждения: рухнули потолки, трубы, треснули стены, дымоходы и др. Также в районе *Вылча* 39 церквей обвалились или получили серьёзные повреждения; в регионе *Романешть* – 53 церкви, в регионе *Мехединць* – 4 церкви, в регионе *Олт* -17 церквей. Также много ущерба потерпели: *Дымбовица*, *Прахова*, *Илфов*, *Сэкуень*, *Яломица*, *Бузэу*, *Рымникул-Сэрат*. Самые большие потери в *Рымникул-Сэрат* и *Путна*. В этих местах возникли трещины в земле большой длины. В нескольких районах такие трещины достигли длины в 40 дюймов и в ширину 2 дюйма. Из некоторых трещин выходила грязная вода. В некоторых селах вода вышла из берегов и затопила дома и подвалы.

«Землетрясение было страшное, ощутимое также в *Бухаресте*, и длилось почти 30 сек. Все дома пострадали в большей или меньшей степени. По найденным данным – 8 мёртвых, 14 раненых и 35 домов полностью разрушены».

В *Бухаресте*, также как в соседних городах в изгибе Карпат, самые большие здания пострадали. Ощущалось также в *Трансильвании*, где причинило много ущерба. В *Брашове* продолжалось 1 минуту 3 секунды. Сначала была тряска, потом пошли волнообразные колебания. Направление восток-запад в сопровождении подземного гула. В *Прежмере* башня обвалилась, в *Вьргшише* – свод греко-католической церкви, в *Сигшиоаре* также рухнул свод церкви. Ощущалось по всей

Трансильвании, в Банате, вследствие чего было много убытков. В *Рышинове* обрушились дымоходные трубы.

Из-за больших разрушений была перекрыта река Биказ. Так в Трансильвании образовалось озеро Гилкош (Красное озеро).

Границы территории этого большого землетрясения города: *Милан, Будапешт, Эгер, Лемберг, Тернополь, Екатеринослав, Новомосковск, Севастополь, Одесса, Константинополь*.

Самые значительные потрясения, вследствие чего и много ущерба произошло в районе сел *Малуриле, Болбоака, Гологану*. Вероятно, что эпицентр находился в этом районе.  $\varphi = 45^{\circ} 38'$ ,  $\lambda = 27^{\circ} 20'$  [1].

Разрушительное землетрясение, охватившее юго-запад России, Валахию, Молдавию, Трансильванию, Венгрию и весь Балканский полуостров. Эпицентр, по-видимому – в изгибе Карпатской дуги (район гор Вранча). Сильнее всего землетрясение проявилось в Румынии. В *Бухаресте* оно продолжалось 3 минуты. Почти все дома пострадали в большей или меньшей степени. Наибольший вред был причинён разрушением монастыря Св. Георгия, стены которого, падая, разрушили много зданий. Всего разрушено полностью 36 зданий, под руинами погибло 42 человека. В *Турде* землетрясение продолжалось 5-6 минут. Направление толчков – с юга на север. Стены каменных домов треснули. Спящие в клетках птицы падали с полочек. В *Брашове* крыши упали с домов. Направление запад-восток. Упало значительное количество дымовых труб. Разрушено много зданий. Среди толчков был и такой, повторение которого превратило бы цветущий город в развалины. В *Сибиу* был слышен страшный грохот, который завершился двумя сильными толчками. Разрушено много зданий, в том числе и католическая церковь. Разрушено много дымовых труб. Направление – восток-запад. В *Рымникуле* почти все дома были повреждены, в некоторых обрушились стены, в других потолки. В *Яссах* землетрясение продолжалось 55 секунд. В домах возникли трещины. Направление – с юго-востока на северо-запад. Ощущалось землетрясение также в следующих местностях Румынии: *Браиле, Крайове, Плоешти, Тимишоаре, Прежмере, Сигишоаре*.

Довольно сильно землетрясение ощущалось и на территории нашей страны. В *Одессе* землетрясение, продолжалось около 2-х минут. Направление – юго-восток - северо-запад. Наблюдались трещины в штукатурке и даже в большей части кирпичных домов. В домах была опрокинута мебель. В *Кишинёве* ощущался довольно сильный удар; в стенах и крышах домов появились трещины. В большей или меньшей мере повреждены были все здания. В *Бельцах* был повреждён купол церкви, колокола звонили сами собой; в некоторых домах были повреждены стены, крыши, трубы. В *Сороках* землетрясение продолжалось около 3 минут. В некоторых домах образовались трещины. Здания с треском колебались, столы, стулья, посуда – подсакивали, птицы падали с насестов. Направление – с востока на запад. В *Баре* землетрясение продолжалось 3 секунды и сопровождалось сильным подземным гулом. В *Рени* землетрясение было настолько сильно, что старожилы подобного не помнили. Длилось оно несколько минут. Все дома были более или менее повреждены. Жители, боясь погибнуть под развалинами, искали спасения под открытым небом. Стоять на ногах было чрезвычайно трудно, многие падали и не могли уже встать до окончания сотрясения. В *Аккермане* (теперь Белгороде-Днестровском) ощущалось два довольно сильных удара, после

которых в стенах появились трещины. В *Тирасполе* во многих домах образовались трещины, в двух местах развалились трубы, разбились также стекла, однако значительных повреждений не было. В *Измаиле* землетрясение продолжалось около 3-х минут. Направление – с северо-запада на юго-восток. Сильнее землетрясение ощущалось в верхних частях города, где не осталось дома без повреждений. Дома же, расположенные на скате, большей частью не пострадали. В значительной степени был поврежден собор, в сводах которого над алтарем появились две большие трещины. В *Перекопе* землетрясение продолжалось около 2-х минут, причём в некоторых домах треснули стены и печи. В *Хотине* землетрясение сопровождалось необыкновенным гулом, все строения были повреждены и жители подвергались большой опасности. В *Оргееве* оно длилось около 3-х минут. Направление – с северо-востока на юго-запад. Стены и двери трещали. В *Киеве* землетрясение ощущалось довольно сильно, сопровождалось гулом, не прекращавшимся 2-3 минуты. Направление – с запада на восток. В *Каменец-Подольске* землетрясение продлилось около 3-х минут. Направление – с севера на юг. Толчки были довольно сильные. Строения тряслись, стены и крыши трещали, черепицы падали, мебель и другие вещи шатались. Землетрясение ощущалось в следующих городах и населённых пунктах: *Екатеринослав* (теп. Днепропетровск), *Курск*, *Суджа*, *Тим*, *Щигры*, *Оболонь*, *Белгород*, *Старый Оскол*, *Рыльск*, *Путивль*, *Хотмыжск*, *Мирополье*, *Богодаровка* около Верхнее-Днепровска (Днепропетровской обл.), *Орёл*, *Калуга*, *Козельск*, *Зеньков* (Полтавская обл.), *Таганрог*, *Мариуполь*, *Херсон*, *Ананьев*, *Никополь*, *Перекоп*, *Симферополь*, *Евпатория*, *Тульчин*, *Бердичев*.

На территории Западной Украины землетрясение ощущалось следующим образом. В *Тернополе* оно длилось около 2-х минут, сопровождалось подземным гулом. Направление – с северо-востока на юго-запад. В *Залещиках* длилось 3 минуты. В комнатах качалась посуда. В постройках не было повреждений. Во *Львове* землетрясение продолжалось 2 минуты. Слабое колебание картин и звон стеклянных предметов известили о его начале. При втором ударе сильно дрожали стены, маятники часов на вторых и третьих этажах остановились. Стаканы и бутылки, стоявшие на столе, клонились к северной стороне и опрокидывались. Третий толчок был самый сильный. В *Черновцах* землетрясение длилось 3 минуты с такой силой, что в некоторых домах разбились оконные стёкла, посуда дрожала.

Землетрясение ощущалось также в *Вене* [11].

В Тернопольской области землетрясение проявилось следующим образом: в *Гусятине* обрушилось несколько печей, некоторые оконные стёкла разбились, кое-где отпала штукатурка; в *Збараже* в нескольких домах разбились оконные стёкла, возникли трещины в старинном крепостном замке; в *Шидловцах* сами звонили колокола; ощущалось также в *Подволочиске* и *Гримайлове* [2].

*Измаил* 7 баллов, *Хотин* 6-7, *Белгород-Днестровский (Аккерман)* 6, *Одесса* 6, *Черновцы* 6, *Гусятин* 5-6, *Очаков* 5-6, *Каменец-Подольский* 5-6, *Перекоп* 5-6, *Залещики* 5, *Збараж* 5, *Шидловцы* 5, *Тернополь* 5, *Львов* 5, *Никополь* 4-5, *Днепропетровск* 4, *Мариуполь* 4, *Киев* 4, *Бердичев* 4, *Евпатория* 4, *Севастополь* 4, *Ананьев*, *Подволочиск*, *Гримайлов* [2].

Одно из сильнейших землетрясений после события 1802 г. произошло 11 января (по ст. ст.) 1838 г. По этому землетрясению имеется уникальный источник – рапорт исследователя Густава Шуллера.

В уезде Бузэу в селе *Гэрдусей* на берегу реки Бузэу, как и в селах *Бейликул* и *Бенетул* земля открылась, и хлынула чёрная вода.

Многие жители говорили о ярком свете со стороны Брэилы, т.е. с северо-запада.

На заставе *Рогозу* земля треснула, и пошла сильно вода, которая поднялась до пояса, отчего пограничники были вынуждены переселиться в село Малуриле.

В *Лэмотештах*, на северном берегу реки Милков, была видна трещина около 2300 шагов в длину (800 м), трещина шла зигзагом, в самых широких местах она была переполнена песком и черноватой грязью.

Между селом *Малуриле* и *Белчугату*, как и между селом *Сада-Тэтарулуй*, протянулась трещина длиной 5000 шагов (1 км 700 м) и в ширину от 8 до 20 пальцев.

На молдавском берегу реки Сирет, или в северной части, трещины были длиннее и шире. Так же и в середине реки виднелась трещина, которая образовалась во льду и тянулась до самого берега, и там была видна вода черноватого цвета, выходящая вверх из этой трещины.

Северо-восточный берег Сирета поднялся до половины сажень вверх, а на юго-западном берегу со стороны Валахии было видно, что лёд был выброшен на сушу.

Во многих местах, например, в *Болбоака* и *Корбу*, трещины пошли под крестьянскими домами, отчего были сильно повреждены. В доме крестьянина Иона Сава из трещин пошла вода с песком и наполнилась комната на три шага водой и в один песок.

Шуллер пишет об опускании земной коры от 70-100 сажень в длину и 10-30 в ширину, по этой причине развалились дома в *Бэбень* и других населенных пунктах.

В заметках Перрея говорится о землетрясении 23 января по новому стилю. Он сообщает, что это землетрясение ощущалось в *Кронштадте* в 8 ч. 31 м. вечера, в 9 ч. 11 м. в *Одессе* очень сильные толчки. В 9 ч. 35 м. в *Константинополе*, где было два толчка, из которых один вертикальный, в *Скутари* и других местах [12].

Ущерб, нанесённый землетрясением в *Бухаресте*, из рапорта шефа Агии таков: 8 убитых, 14 раненых, 36 домов разрушено, одни более, другие менее, среди них господарский дворец. В новой церкви Св. Георгия здание развалилось на три части и повредило вокруг на 2 сажени, и колокольня церкви треснула и наклонилась в сторону.

В доме Ионицы в районе Кэрэмидерь треснула земля в доме и во дворе и пошла вода.

Об этом землетрясении говорится в часослове, изданном в Сибиу. Чтобы знать, что было землетрясение ночью со среды на четверг в 4 часа, когда были повреждены много церквей и зданий, и потрескалась земля. И в *Бухаресте* погибло 600 (!) человек и свыше 600 лишилось рассудка от страха. Это землетрясение было быстротечнее, чем землетрясение 14 октября 1802 г. [12].

От землетрясения 23 января 1838 г. образовались значительные трещины в земле.

В уезде Бузэу, волость Кымпул вблизи деревни *Гэвэнешть*, на берегу реки Бузэу, в земле появились трещины во многих местах, и оттуда хлынула вода чёрно-жёлтого цвета. То же явление было замечено и в сёлах *Бейликул* и *Бейнетул*.

В уезде Слам-Рымник, волость Кымпул недалеко от *Шуцешть*, земля раскрылась в широких трещинах до двух локтей до 40 сажень, и оттуда пошла вода как мазут. В волости Маржиня-де-Жос, недалеко от заставы *Рогосул* земля треснула, и оттуда хлынула вода в высоту до пояса, и даже постовые с заставы



отошли в деревню *Малуриле*. Около деревень: *Лэмотешть*, *Котулунг*, *Чербул* и *Бэдень* образовались трещины, и поднялась вода выше кроватей в крестьянских домах. В волости Рымникул-де-Сус возле *Бэдень* тоже появились трещины, которые в дальнейшем увеличились. Землетрясение ощущалось и в Яломице, Прахове и Дымбовице [13].

В 1838 г. 11-го (23) января обширное и замечательное землетрясение в юго-западной части России, в Валахии, Молдавии, Трансильвании, Венгрии и по всему Балканскому полуострову. Мы здесь приводим все сведения об этом явлении, какие могли найти в русских периодических изданиях того времени, и помещаем их отдельно для каждого города, в котором были сделаны какие-либо наблюдения.

В 9 ч. 11 м. 30 с. жители *Одессы* были встревожены довольно сильным землетрясением, шедшим с ЮВ на СЗ. Три продолжительных удара непрерывно следовали один за другим в вертикальном направлении. При этом явлении, которое, было сильнее, чем замеченное здесь в 1829 г., не произошло никаких несчастных случаев. Но от сильного сотрясения оказались трещины в штукатурке и даже в стенах многих домов; люди, находившиеся на улицах, утверждают, что колебание зданий было ясно заметно. В соборе местами появились трещины, но новая колокольня не потерпела никаких повреждений; с колокольни греческой церкви упал крест, который был отброшен на 45 футов. В домах вся мебель была поколеблена, люстры, закрытые ставни пришли в движение; многие, даже тяжёлые, вещи были сдвинуты с мест, некоторые даже попадали, в нескольких домах остановились часы. В минуту сотрясения был слышен крик домашних птиц и лай собак. В уезде у многих помещичьих каменных домов, а также в новых станционных зданиях по Николаевской и Вознесенской дорогам, особенно на *Чемерлеевской станции*, и в арках нескольких каменных мостов оказались трещины. Землетрясению предшествовал и продолжался во время самого колебания сильный гул, подобно стуку экипажей, едущих по мостовой. Замечательно, что в 1829 г. землетрясение произошло здесь во время зимы почти столь же суровой, как и зима этого года, необыкновенной для здешнего климата.

В 8 ч. 30 м. послышался в *Кишинёве* сильный шум, за которым раздался подземный удар, потом начались колебания земли, стены и крыши трещали, двери, окна, мебель стучали, некоторые вещи падали. Два ещё более сильных удара довершили всеобщий ужас, повредив все здания в большей или меньшей степени. Шум, гул и треск от падающих и ломающихся предметов смешались с криками людей и животных; многие выбежали из домов. К счастью, это явление продолжалось не более минуты, затем всё стихло. В с. *Скуляны* землетрясение с подземным гулом началось в 9 часу вечера и продолжалось более минуты. Почти все жители выбежали на улицы; однако всё кончилось довольно благополучно, только в некоторых зданиях оказались повреждения.

В *Екатеринославе* землетрясение ощущалось в 9 ч. 15 м. вечера в течение приблизительно 20-ти секунд, причем колебались некоторые неплотно стоявшие вещи.

В 8 ч. 45 м. сильное землетрясение в *Бельцах*, продолжавшееся до 4-х минут, от которого в каменном соборе около каждого окна сверху донизу образовались трещины; купол был совсем повреждён, на колокольне самые малые колокола звонили сами собою, в некоторых домах были повреждены стены, крыши и трубы.

В 10-м часу вечера в *Сороках* началось землетрясение, продолжавшееся около 3 мин. и сопровождавшееся двумя подземными ударами, которые

направлялись с востока на запад. Первый удар изумил всех, но постепенно усилившееся колебание объяснило причину его; второй же удар и следовавшее за ним сотрясение почвы были так сильны, что здания с треском заколебались, столы, стулья, посуда запрыгали, двери распахнулись настежь, птицы упали с насестов, раздался вой собак и рёв рогатого скота. Последствия этого явления, однако, незначительны: только в некоторых домах образовались трещины. Тем не менее, никто из жителей не запомнит подобного землетрясения.

Землетрясение ощущалось и в Курской губернии *Курске* (10 ч. вечера), *Судже*, *Тиме* (в начале 10 ч. вечера), *Щиграх*, *Обояни* (9 ч. 43 м. вечера), *Белгороде*, *Старом Осколе*, *Рыльске*, *Путивле*, *Хотмыжске*, *Дмитриеве* и *Мирополье*. В первом из этих городов оно продолжалось более двух минут, и было так сильно, что люстры и лампы качались, кровати тряслись и т. д. В домах, стоявших на краю города, посуда падала из шкафов, и некоторые колокольчики звонили. Направление землетрясения было с запада на восток. В *Судже* двери, окна и печи тряслись от сильного землетрясения, продолжавшегося 2 минуты. В *Тиме* был подземный гул и два удара, за которыми следовало землетрясение, поколебавшее двери, лампы, картины и т. д.; домашние птицы с испуга перелетали в соседние дворы. В остальных поименованных городах было тоже более или менее сильное сотрясение почвы, в *Новом же Осколе*, *Короче* и *Фатеже* оно совсем не ощущалось.

В *Харькове* землетрясение началось в 9 ч. 30 м. вечера и продолжалось около 30-ти секунд; оно состояло из трёх колебаний, из которых только второе ощущалось в значительной степени, остальные же были слабы. Колебания направлялись с СВ на ЮЗ.

В *Волчанске* в 9 ч. 50 м. вечера было заметное землетрясение, продолжавшееся около 10-ти секунд.

В 9 ч. 30 м. вечера в *Богодаровке* (Екатеринославской губернии, близ Верхнеднепровска) при подземном гуле и грохоте в воздухе, помимо начавшейся бури, раздался сильный удар, продолжавшийся от 5-ти до 8-ми секунд, причем ставни сильно стучали об стены, а треск новых бревенчатых строений был слышен почти за полверсты. Лёгкое, постепенно усилившееся колебание ощущалось минут за пять до удара, а через три минуты было заметно дрожание воды в сосудах. Стенные часы остановились за четверть часа до удара, что могло произойти только от движения, противного качанию маятника, т.е. направлявшегося с ЮВ на СЗ. Следовательно, всё землетрясение продолжалось не менее 18-ти минут. Погода была тихая, ясная и морозная. Люди, бывшие в это время во дворе, уверяют, что перед самым ударом на СЗ над горизонтом блеснула молния, за которой в воздухе раздался треск.

В 8 ч. 9 м. было в *Киеве* сильное землетрясение, которое шло с запада на восток и сопровождалось гулом, не прекращавшимся минуты две, если не больше.

В 8 ч. 35 м. сильное землетрясение в *Каменец-Подольске*, продолжавшееся около 3-х минут и направлявшееся с севера на юг. Сначала подземный гул был подобен стуку катящегося экипажа, это продолжалось с минуту, затем он усилился так, что живущие на нижних этажах выбежали из домов. Строения тряслись, стены и крыши трещали, черепицы падали, мебель и другие вещи шатались.

В 8 ч. 30 м. вечера в *Житомире* более 4-х минут ощущалось землетрясение, которому предшествовал несильный гул.

В *Хотине* в 9 ч. вечера было при необыкновенном гуле сильное землетрясение, продолжавшееся более 4 мин. Все строения были повреждены, и жители находились в большой опасности.

В *Оргееве* землетрясение началось в первой половине 9-го часа вечера подземным гулом, затем стали ощущаться колебания, сперва слабые, но постепенно усиливающиеся так, что трескали стены и двери; оно продолжалось около 3-х минут. И шло с СВ на ЮЗ.

В *Баре* землетрясение началось в 8 ч. 30 м. вечера и сопровождалось сильным подземным гулом; оно продолжалось 3 минуты и направлялось с запада на восток.

В *Очакове* землетрясение происходило в 8 ч. 45 м. вечера и продолжалось 4 минуты, причём оно повредило много зданий и до такой степени устало жителей, что многие выбежали из домов и долгое время оставались на открытом воздухе. Оно двигалось в направлении с запада на восток.

В 9 ч. 45 м. было в *Рени* столь сильное землетрясение, что старожилы, неоднократно бывшие свидетелями подобных бедствий, такого ещё не помнили. Сперва был слышен лёгкий подземный шум с севера, потом началось лёгкое колебание земли, которое перешло в сильнейшие сотрясения, всё это продолжалось несколько минут. После прекращения землетрясения опять послышался глухой подземный шум, продолжавшийся минуты полторы. Все дома были более или менее повреждены, так что жители, боясь погибнуть под развалинами, искали спасения во дворах и на улицах. Треск и колебания зданий наводили ужасный страх, который ещё увеличивался от дикого крика животных. Многие лавки очень пострадали, в них было избито большое количество посуды и т. п. товара, одна лавка была засыпана упавшей стеной. Стоять было чрезвычайно трудно, многие падали и не могли уже встать до окончания сотрясений. На Дунае лёд потрескался со страшным шумом, и вода значительно упала. Стоявшее на мели валахское судно «Марица» опрокинулось набок.

В *Аккермане* было замечено два довольно значительных удара (с сильным гулом), вследствие которых образовались в стенах трещины.

В *Тирасполе* многие строения дали трещины; в двух местах развалились трубы, разбилось также несколько стёкол, но особых повреждений не было произведено.

В 9 часов вечера жители *Измаила* были приведены в ужас сильным землетрясением; подземный гул и колебания земли продолжались не более трёх минут и имели направление с СЗ на ЮВ. К счастью, это случилось не во время общего сна: многие выбежали из домов и тем избежали от увечий и ушибов. Надо заметить, что сотрясения были сильнее в верхних частях, где не осталось ни одного дома без повреждений; дома же, расположенные на скате, большей частью не потерпели никакого вреда, точно так же мало ощущалось это землетрясение на льду Дуная. В значительной степени был повреждён собор Покрова Пресвятой Богородицы, у которого в сводах над алтарём оказались две столь большие трещины, что опасались за возможность продолжать в нём богослужение. Кроме этого главного повреждения собор потерпел много незначительных. Все помнившие землетрясение, бывшее в ноябре 1829 г., утверждали, что оно было менее сильное и продолжительное.

В *Орле* землетрясение началось в 9 ч. 45 м. вечера и продолжалось несколько минут, причем рамы и посуда заметно дрожали.

*В Калуге и Козельске* землетрясение продолжалось не более 10-ти секунд.

В 9 ч. 25 м. землетрясение было в *хуторе Лесноковщине*, в 4-х верстах от г. Зенькова. «В моём доме, пишет полтавский помещик Г.А. Бутович, было чувствуемо землетрясение, от которого дрожал весь дом, и люстры, привешенные к потолкам, колыхались подобно часовому маятнику; внутренние двери, свободно висевшие на петлях, также пришли в движение. Предшествующий потрясению удар начался, казалось, в западном углу дома и потом пробежал вдоль его на восток, что отчасти подтверждается тем, что люстры колыхались именно в этом направлении. Впрочем, в доме не случилось никакого видимого вреда. Крестьяне, хотя и не заметили этого землетрясения, но в сених одного дома куры попадали со своего места, метались и подняли крик; когда же встревоженные хозяева открыли дверь избы, то некоторые бросились в избу и долго не могли успокоиться. Я получил известие, что в 8-ми верстах от меня на север, в означенное мною время, также было землетрясение, но несравненно более сильное, от которого в одном шинке повалился стол, потрескались стены дома, и оказались многие другие повреждения».

В *Таганроге* землетрясение было замечено только по лёгкому сотрясению мебели и колыханию люстр.

В *Мариуполе* оно было сильное и продолжалось несколько секунд, причём был слышен тихий гул, подобный отдалённому стуку экипажей.

В *Херсоне, Ананьеве и Никополе* было два удара, продолжавшихся, как полагают, 1.5 минуты и прошедших без всякого вреда.

В *Перекопе* землетрясение продолжалось около 2-х минут, причём в некоторых домах треснули стены и печи.

В *Симферополе* землетрясение ощущалось около 2-х минут, и многие жители слышали подземный гул; повреждений не было.

В *Евпатории, Тульчине и Бердичеве* землетрясение тоже ощущалось.

В *Бухаресте* сотрясения начались в 8 ч. 45 м. вечера и шли с запада на восток. После первого сотрясения разразилось второе, ещё более сильное, состоящее из нескольких ударов, всё землетрясение продолжалось 3 минуты 20 секунд и навело на жителей ужас. Почти все дома были потрясены и более или менее повреждены. Однако наибольший вред был причинён падением знаменитого монастыря Св. Георгия, одного из богатейших и значительных во всей Валахии, находившегося посреди города. Стены его, упавшие по обе стороны, засыпали многие здания, примыкавшие к монастырю. Всего было разрушено 36 зданий, убито 8 человек и ушиблено 16, кроме того, пропал без вести один ребёнок. Господарь, бывший в начале землетрясения в театре, немедленно отправился в ту часть города, которая наиболее пострадала, и приказал приступить к отысканию людей, засыпанных развалинами монастыря. Многие были вытащены живыми. Здание, которое занимал прусский консул, было так сильно повреждено, что верхние комнаты сделались необитаемыми. Все судилища, конторы и другие учреждения закрыты, так как здания, в которых они находятся, требуют исправления. Если бы землетрясение случилось часом или двумя позже, то погибло бы несравненно большее число людей, и, вероятно, сам господарь не избежал бы этой участи: часть стены в его комнате обрушилась и упала на кровать. В последующие ночи, в продолжение почти целой недели, в *Бухаресте* ощущалось перед рассветом, а иногда утром, землетрясения, но настолько лёгкие, что не все жители их замечали.

Между тем известия, получавшиеся из внутренних местностей княжества о последствиях этого землетрясения, сообщают о некоторых замечательных явлениях. Так, в деревне *Бэбень* Слам-Рымникского (Фокшанского) уезда. были замечены на другой день землетрясения две трещины на земле: одна на склоне близ монастыря Бэбень, а другая в самой ограде, причём ширина была не более пальца, но с 13 по 22 число эти щели расширились больше, чем на два локтя, и та часть земли, которая прилегает к р. Рымнику, приподнялась, так что в некоторых местах берег образовал как бы стену, а другая часть опустилась, угрожая разрушением 16-ти домам селения Бэбень, под которыми проходит эта трещина, более двух сажен глубины. Вследствие этого многие жители удалились в соседнюю деревню. Хотя на основании этого известия и нельзя сделать какое-либо заключение, однако следует предположить, что трещина эта произведена водою, прорвавшеюся из реки во время землетрясения. В том же уезде, близ села *Щуцешты* образовалась трещина в два локтя шириною и около 40 саженей длиною, откуда показалась вода чёрного цвета. Близ пикета *Рогоцул* из разсевшейся земли выступила вода в таком количестве, что пикет был вынужден перейти к деревне Малуриле, так как она доходила до пояса; близ селений *Лэмотешть*, *Котул-Лунг*, *Корбу* и *Болбак* земля дала трещину в  $\frac{1}{2}$  аршина ширины и значительной длины, откуда также выступила вода; в некоторых же местах вода была фонтаном толщиною с человека на высоту около сажени, причём, разливаясь, она затопила некоторые дома более чем на локоть. В селе *Петрая*, у подошвы Карпатских гор, образовалась в земле щель длиною до 30-ти сажен, а шириною в сажень, из этой щели извергалась кипящая вода, разлившаяся по полю и затопившая один дом на  $\frac{1}{4}$  аршина. По окончании землетрясения вода опять ушла в почву, оставив после себя только щель и какой-то ил с гарью и песком, не похожим на обыкновенный.

В г. *Рымник* почти все дома были повреждены, в некоторых обрушились стены, в других потолки.

В *Браилове*, *Журжеве*, *Крайове*, *Плоештах* и *Вукове* все дома повреждены, причём некоторые из них совсем разрушены.

В местечке *Окна-Маре* сила разрушения была столь же велика: в одной церкви упали колокола, в другой обрушился вход и один из сводов. Вдова боярина Бродеско, вбежавшая в дом, чтобы спасти своих детей, была задавлена обрушившимся потолком.

В г. *Питештах* обрушилось несколько домов, причём под развалинами были погребены люди. Монастыри Виеришь и Трикола также получили очень серьезные повреждения.

В г. *Слатине* колокола звонили сами собою, церковь Иоанна Шкулуй была приведена в такое состояние, что в ней нельзя было справлять богослужения. Близ реки Ольты в земле образовалась трещина в 2 локтя глубины и в 200 саженей длины, из которой била выбрасываемая вода пепельного цвета, в других трещинах появилась желтоватая пена с серным запахом.

В Дымбовицком уезде были почти совсем разрушены монастырь *Дялу* и скит *Вифорита*. Две меньшие башни монастыря, находящегося на одной из гор, окружающих *Тырговиште*, упали, а в скит обрушилась до половины колокольня, части, упавшие во внутренность церкви, раздробили иконостас и каменные колонны. Епископия Буздо, только после ремонта, получила во многих местах очень значительные повреждения. Епископский дом, семинария, келии, типография

представляли печальную картину разрушения. Двое из жителей были тяжело ранены, 6 семинаристов были ушиблены, хотя и не столь серьезно. На левом берегу Дуная, на границе Австрии и Валахии землетрясение продолжалось около минуты и повредило несколько зданий.

В *Яссах* землетрясение направлялось с ЮВ на СЗ и продолжалось 55 секунд, не причинив никакого несчастья, кроме трещин в зданиях; более других потерпела церковь Св. Спиридона.

В 8 ч. 22,5 мин. вечера началось в *Кронштадте* землетрясение, которое продолжалось 1 минуту 3 секунды, и шло с запада на восток. Многие здания заколебались, стены растрескались, дымовые трубы, фронтоны, крыши развалились с ужасным шумом, так что значительное количество домов сделалось необитаемым. В числе сильно пострадавших строений были: военный госпиталь, запасный магазин и казармы. Жители выбежали на улицы, покрытые обломками камней, кирпичами, штукатуркой и т. п. Некоторые удары были так сильны, что весь город был бы совершенно разрушен, если бы они продолжались ещё несколько времени. Соседняя гора Капелленберг грозила обвалиться. Через 4-5 минут всё утихло, однако большая часть жителей провела ночь без сна. В с. *Тартлау* упала колокольня, самая церковь почти разрушена.

В 8 ч. 30 м. вечера наступило в *Темешваре* сильное волнообразное землетрясение; направление его было с юга на север и обратно, что легко можно было заметить по трещинам, образовавшимся с сильным треском на берегу Багаэрского канала. Замечательно, что почти все жители почувствовали в одно и то же время тошноту и головокружение.

В *Вене* было тоже замечено землетрясение.

В 9 ч. 25 м. вечера в *Скутари* (Албания) раздался с ужасным треском отвесный удар, продолжавшийся 5,5 с., через две минуты второй удар, а в 9 ч. 38 м. наступило волнообразное землетрясение, не прекращавшееся в течение 8 с. По некоторым известиям сотрясения сопровождалось сильным ветром. Направление ударов было с СВ на ЮЗ.

В 9 ч. 35 м. вечера произошло в *Константинополе* два сотрясения: первое вертикальное, второе горизонтальное по направлению меридиана, совпадающего с направлением Босфора близ Терапии (город, где находился тогда адмирал Нуссин, у которого Перрей заимствовал эти сведения). При этом следует заметить, что переставший во время землетрясения сильный ветер, после него поднялся опять [7].

Эпицентр его находился в окрестностях деревни *Бэбень*, в верховьях реки Рымник. Здесь, видимо, произошло довольно значительное перемещение сбросовых участков с возможным разрывом выше лежащих пластов, так как во время землетрясения здесь опустились целые площади земли на глубину 1/2 – 1 туаза (1 туаз = 2 метрам). Горный инженер Шуллер определил, что длинная ось опустившихся участков земли была параллельна горной оси. Сейсмические волны в деревне *Бэбень* шли с СЗ на ЮВ.

По берегам реки Сирет, Рымник и Бузэу также образовались многочисленные трещины и провалы. Между пикетом *Рогоцул* и деревней *Белиуг* трещины имели до 1000 футов длины. Еще большей длины они достигали между деревни *Малурь*, *Сада-Татарулуй* и *Белиуг*, здесь трещины были ветвистые и имели до 5000 футов при 8 – 20 дюймах ширины. Тут же образовались кругловатые дырки, из которых выбрасывались песок и вода. Около деревни *Лэмотешть* трещины были до 2300

футов ширины при 8 – 16 дюймов ширины. В окрестностях деревни *Гологань* трещины при той же ширине в длину имели до 400 футов. Точно такие же трещины образовались около деревни *Корбу*, *Котул-Лунг*, *Шуцеиты*, *Болбоака* и *Петрай*. Интересно, что в округе Градиште трещины были ориентированы параллельно реке Бузэу.

В *Бухаресте*, *Слатине*, *Крайове*, *Плоештах*, *Питеештах* и монастыре *Дялу*, *Окна-Маре* и в *Букове* интенсивность сейсмических волн была VIII баллов [14].

Карпатское землетрясение в регионе *Рымникул-Сэрат*. Много сёл было разрушено до основания. Земля страшно шевелилась, трещины довольно широкие, свидетельствуют очевидцы. В *Бухаресте* многие дома и церкви рухнули.

То же самое землетрясение в Трансильвании: в *Сибиу* землетрясение было очень сильное, похожее на 1802 год. [15].

От землетрясения 1838 г. сильно пострадал Бухарест. Отмечено самое малое 8 погибших и 36 раненых, но по неофициальным данным значится 600 погибших. Землетрясение произошло вечером сильно морозной зимой. Там, где были разрушены дома, люди были завалены упавшими печами. Были разрушены дома, поврежденные предыдущим землетрясением 1829 г. [16].

16 января магистратура города *Джурджу* довела до сведения вышестоящих органов следующее: «От землетрясения, которое произошло ночью 11 числа по божьей милости не произошло особых разрушений в этом городе, кроме как в некоторых домах разрушены дымоходы, а в казарме и комнатах часовой башни на площади трещины внутри комнат небольшие, а башня не пострадала, и осталась, как и прежде» [17].

23.01.1838, 20 ч. 27 м. Эпицентральная область – *Торда*, 23° 47', 46° 34' [18].

*Скит Фуся* (уезд Крайова). Надпись над дверью: «...во время землетрясения, в год 1838, рухнули купола, а также и свод, и поэтому были вынуждены опять застроить». Церковь с. *Дрэгэшиань*. Год 1838, месяц январь 11 дня, ночью в 4 часа без четверти было землетрясение очень сильное [19].

Землетрясение 23.01.1838 г. имело максимальную интенсивность в эпицентре IX баллов, ощущалось до VII баллов в северной придунайской части Болгарии и сильно в остальной территории страны. Письменные свидетельства о нем имеются в хронике Троянского монастыря, из которой явствует, что землетрясение было почувствовано в *Трявне* до VI – VII баллов [20].

1838. Разрушительное. В *Киеве* сильное. В *Рени* все дома повреждены. Многие люди не могли стоять на ногах, падали. В *Тирасполе* многие дома дали трещины. В *Очакове* многие здания повреждены, совершенно разрушено 36 зданий. Образовались трещины [21].

Из разных городов Новороссийского края и Бессарабии сообщается, что наблюдалось землетрясение 11 января.

В *Кишинёве* не осталось ни одного дома без повреждения более или менее значительного. В некоторых обвалились потолки, обрушились трубы. Сильно пострадало здание только что выстроенного собора. Направление с севера на юг (по сдвинутым предметам).

*Аккерман*. Сотрясения довольно сильные и произвели много трещин в стенах. *Тирасполь*. В стенах, печах и трубах трещины, в двух местах развалились трубы. *Херсон*, *Ананьев*, *Николаев*. Повреждений не было. *Перекоп*. В некоторых домах треснули печи.

Почти все здания *Измаила*, находящиеся в верхней части города, получили трещины в стенах внутри дома, многие вещи падали. В Покровском соборе, особенно в сводах под алтарём, оказались столь сильные трещины, что до осмотра повреждения остановили богослужение. В домах на скате к Дунаю потрясение казалось слабее и произвело меньше трещин. Лёд на Дунае растрескался.

В течение трех минут было три подземных удара, от которых во многих местах выпали камни и сделались разные повреждения. В *Бендерах* обрушилась часть порохового склада и одна стена в артиллерийской казарме. В тот же день было другое, слабое землетрясение, продолжавшееся 4 секунды.

*Бендеры*. В крепостных верхах, в церкви Св. Александра Невского и в казённых зданиях произошли частично много новых трещин (а частью повреждения от 1929 г. увеличились). Местами даже выпадали из сводов и перемычек камни, и разваливались печи и трубы. Подобные повреждения произошли и в *Рени* (сотрясения полагают гораздо сильнее 1829 г.). В *Измаиле*, *Бендерах* и *Рени* отмечались повторения (форшоки). Один из форшоков наблюдался и в *Одессе* (после полуночи с 12 на 13 января).

В *Бельцах*, *Сороках* и *Хотине* землетрясение было очень сильное и продолжалось около четырёх минут. В *Бельцком* соборе стены над окнами и дверями везде треснули, и купол значительно повреждён, мелкие колокола зазвонили. В *Сороках* и *Хотине* все вещи сдвинуты в домах с места, двери растворялись, но значительных повреждений, кажется, не было.

*Леова*. Особенно сильное землетрясение, три сильных удара. Во многих домах разрушились трубы и печи, разбились оконные стекла, потрескались стены, в некоторых домах сдвинулись с места балки и стропила. Колокола в церквях звонили сами. Лёд на Пруте толщиной в 49 см изломался на куски.

*Одесса*. Довольно сильное землетрясение, продолжалось около 2-х минут. Было три последовательных удара. Во многих зданиях образовались трещины, раскрытые двери и окна пришли в движение, многие предметы падали на пол.

При землетрясении суда, стоявшие в гавани и окружённые льдом, испытали толчок, как при ударе об отмель.

В *Севастополе* останавливались часы, осыпалась штукатурка [22].

В *Кишинёве* после землетрясения 1838 г., когда согласно архивным данным, в городе не осталось неповреждённых зданий, царское правительство запретило строить дома выше двух этажей.

Сохранились данные, что в районе *Копанка* течение Днестра отошло на 5 км к востоку и стало омывать села Слободзия, Чобручи (левобережные).

Разбирая геоморфологические (гидрологические) данные Бессарабии, нетрудно было установить, что по широким (до 5-6 км) поймам Днестра русла рек смещены. Что касается отхода Днестра, имеются свидетельства, что он совершился после катастрофического землетрясения 1838 года [23].

*Яссы*. Землетрясение случилось в 3 четверти 9 часа пополудни, действие оно было сильное, продолжалось около 2.5 минуты, при ужасном подземном гуле было два удара. Последствий от этого случая в общественных и казённых зданиях в Ясском уезде не случилось.

*Кишинёв*. Во многих домах образовались в стенах трещины, развалены печи и трубы, в наиболее ветхих строениях попадали потолки. Пострадали церкви. В Вознесенском соборе в верхнем куполе лопнули стёкла, и обвалилась в некоторых



местах штукатурка. В церкви Святого Георгия появилось много сквозных трещин от основания вдоль по своду царских врат, в колокольне упала часть карниза. В церкви Рождества Святой Богородицы сквозная трещина и другие повреждения. В Благовещенской церкви купол сильно повреждён и в стенах трещины сверху до основания. В главном куполе Ильинской церкви небольшая трещина колокола, упал карниз.

Бывшее в *Кишинёве* вечером с 11 на 12 января землетрясение чувствовалось в уезде в местах, прилегающих к границе и Леовскому уезду, с большею силою, а в прочих несколько легче. Продолжалось от 2-х до 3-х минут.

В кордонных казармах на реке Прут случились повреждения. В каменной церкви села *Лапушина* выпал из самого купола один камень и пробил деревянный пол.

*Рени*. Землетрясение, продолжавшееся до двух минут с большим подземным гулом и с ужасными колебаниями земли. Шло с юго-западной стороны. Произвело много порчи в строениях и убытки торгующему сословию. Лёд Дуная во многих местах потрескался. Никто не потерпел ушибов и смертельных ран.

Колебания земли были так сильны, что в г. *Рени* во многих домах завалились или поломались стены и попадали печи. На кордонной линии почти все кордоны и конюшни значительно повредились, но несчастных случаев не было. Землетрясение повторилось в 3 часа утра, но гораздо слабее и без последствий.

На пограничной линии кордоны и конюшни значительно повреждены. В лавках разбито посуды на незначительную сумму.

*Измаил*. В 8 ч. 40 м. пополудни произошло в Измаиле сильное землетрясение в направлении от юго-запада к северо-востоку, продолжавшееся 3 минуты. Во всех зданиях стены потрескались, печи и трубы более или менее повреждены, а в некоторых домах, как стены, так и печи вовсе обрушились. Трубы почти ни в одном доме не уцелели. Обрушенными стенами и штукатуркой ушиблено 6 человек. Соборная церковь повреждена столь значительно, что в ней невозможно продолжать богослужение. Город понёс весьма значительные потери от повреждения строений, а откупщик от разбившейся стеклянной посуды с напитками и без оных. Потом с 12 на 13 число в 3 часа пополудни вторично землетрясение в том же направлении, но не столь сильное, и продолжалось только полминуты.

В крепости *Измаил* в Крестовоздвиженской церкви в стенах и сводах оказались трещины, во многих местах многочисленные трещины, во многих местах отстала и местами отвалилась штукатурка, и в окнах разбилось два стекла.

В трёхэтажной казарме и бойничной стене многочисленные трещины. В оконных переплётах на всех трёх этажах разбито 144 стекла. Во всех домах растрескались печи, местами отвалилась штукатурка, повреждены все дымовые трубы, выбиты стёкла.

*Измаил*. В половине 9 часа слышен был начально подземный гул, и за ним последовало сперва малое, потом сильное землетрясение так, что едва можно было держаться на ногах. Трясение продолжалось 5 минут, в это время на Дунае лёд ломало с треском, подобно пушечным выстрелам. Утверждают, что при берегах моря трясение было гораздо сильнее и продолжалось несколько дольше. Землетрясение было по всем селениям градоначальства, причём в оных никаких особенных происшествий не оказалось.

11 числа по полудни в 49 минут девятого в *Килии* было сильное землетрясение, которое продолжалось 3.5 минуты. При сём происшествии особенного ничего не случилось, кроме повреждения многих казённых строений в крепости.

*Килия.* В 8 ч. 49 м. с востока возникло сильное землетрясение и продолжалось 3.5 минуты, от чего в некоторых домах сделаны трещины.

В *Леово* землетрясение было в 8 ч. 45 м. и продолжалось 3 минуты. Повреждения последовали следующие: в доме уездного казначейства разбилось в 32 стекла, по стенам последовали большие трещины. В домах госпиталя разбились стекла, стены потрескались, трубы разрушились, разбились склянки с лекарствами. В строениях острога обрушились трубы, попадала штукатурка, потрескался кулинарный очаг, в стенах образовались трещины. Порча стёкол и разрушение труб последовали по некоторым домам города.

*Леово.* Землетрясение имело начало от востока и юга на запад необыкновенно сильное, так что на ногах было трудно стоять, а бывшая вода в неполных открытых сосудах выплескивалась на пол. Это землетрясение в несколько крат сильнее бывшего в 1829 г. 14 ноября. Строения повредились, печи и трубы поразваливались, двери с крючков соскакивали. 13-го пополудни в 3 ч. 15 м. по тому же направлению весьма слабо продолжавшееся несколько минут землетрясение.

11 числа в 8 ч. 32 м. пополудни землетрясение в *Леово* сопровождалось ужасным гулом и тремя сильными ударами, поколебало многие дома в своём основании, разрушило в большей части из них печи и трубы, побило стёкла и произвело в некоторых сквозные в стенах трещины. Степень его силы означается тем, что в иных домах, довольно крепких, тронуло в замках балки и стропила, и в Пруте лёд 11 вершков толщиной переломив на куски, выперло на поверхность. Оно продолжалось 1 час 56 минут и 13 числа в 2 и 1/4 часа пополудни повторилось кратко и легко.

Землетрясение продолжалось до 3-х минут, но таковое в местечке *Тузлово* никакого вреда не причинило.

Ровно в 9 ч. пополудни было в *Аккермане* сильное землетрясение, оно сопровождалось двумя подземными ударами с гулом, от южной стороны к северо-западу, и продолжалось 2 минуты. К лиману был сильнее и оный чрезвычайно гудел, а лёд во многих местах растрескался, и вода при берегах вышла на поверхность. Последствиями от сего случая никаких повреждений не произошло, а только упала крыша в одном ветхом небольшом доме.

Из собранных от Волостных правлений сведений видно, что от бывшего 11-го числа января месяца сильного землетрясения никаких чрезвычайных последствий не случилось, кроме как в селении *Поркарах* в церкви от сильного трясения в стенах поделались трещины.

*Скулены.* В 9 ч. пополудни случилось землетрясение с северо-восточной стороны и продолжалось около 3 мин. с такою силою, что все строения в основаниях своих поколебались, и казались обрушивающимися, внутренние домовые уборы тронулись со своих мест и с треском домов составили большой шум. Домашние птицы и животные отзывались разными голосами.

В *Бендерах* 11 числа пополудни в 3/4 девятого часа землетрясение с гулом продолжалось более трёх минут. В соборной каменной церкви оказались в одном

своде трещина неопасная, в казённых домах, занимаемых присутственными местами уездного и земского судов, уездным казначейством и почтовой станцією, и городской острог повреждены во многих местах трещинами в стенах и печках значительными, но неопасными. Валькованные казённые строения, занимаемые обозом Волынского полка, довольно повреждены, и вообще обывательские дома каменные и деревянные получили трещины более или менее значительные, а в некоторых обвалились трубы. Особенных несчастий от того происшествия не произошло.

В исходе девятого часа в уезде произошло сильное землетрясение, но повреждений не причинило, только в некоторых домах развалились трубы, и показались в стенах незначительные трещины.

11 числа пополудни в 3/4 девятого часа было в *Бендерской* крепости сильное землетрясение, предшествуемое глухим гулом и продолжавшееся более 4 минут с тремя ударами один за другим и окончившееся колебанием земли. А 12 числа пополудни и в 3 часа было весьма слабое землетрясение, продолжавшееся не более 4 сек. В крепости оказались повреждения. В стенах Эскарпа и Контрэскарпа прежде бывшие трещины значительно увеличились, и местами расщепившиеся камни выпали. Каменная ограда набережного фронта частями осела, и арка Каушанских ворот получила значительные трещины. В прочих строениях произошло расширение трещины, выпадение кирпичей. В церкви Александра Невского на перемычках дверных и оконных и на перемычках колокольни небольшие сквозные трещины. В каменном артиллерийском цейхгаузе часть стены обрушилась. Подавления людей и ушибленных не было.

*Оргеев.* В 8 ч. 40 м. вечера последовало землетрясение; удар был едва приметный и продолжался несколько секунд, затем через 12 минут последовал другой, гораздо сильнее и с большим гулом, и продолжался до 2 1/2 мин. Направление удара происходило от юго-запада.

От землетрясения в 8 ч. 50 м. в *Оргееве* в церкви Святого Дмитрия оказались значительные трещины во всю длину, начиная от восточного окна алтаря с переходом через все купола храма до самого притвора, где от трясений выпало два кирпича. Больше повреждений не случилось.

*Оргеев.* В казённом здании, занятом артиллерийскими снарядами, и по казармам трещины повсюду, которые и без того б по ветхости не были прочны. В городских домах, хотя и случились повреждения, но весьма незначительные, без потери и угрожающей опасности.

В *Оргеевском* уезде от бывшего 11 числа землетрясения никакого повреждения не было, кроме как в местечке *Теленешты* в госпитале разбилось в окнах 30 стёкол, развалилась одна стена, и обрушилась штукатурка в одной комнате, в прочих поделались большие трещины.

В фондах архива имеется обращение в Бессарабскую строительную комиссию с просьбой прислать архитектора для освидетельствования повреждений в церкви в *Гертон-Маре* от землетрясения 11 января 1838 г.

*Сороки.* 11 числа пополудни в 8 ч. 38 м. произошло сильное землетрясение, которое продолжалось до 3 мин. без причинения городским строениям повреждений.

*Сороки.* В 8 ч. 35 м. было сильное землетрясение от востока на юг с громким подземным гулом и продолжалось ровно 5 мин.

*Кайнары, Татаревск, Атаки.* Землетрясение 11 января вреда и порчи в селениях не причинило, кроме как получены трещины в стенах, и отвалилась в некоторых местах штукатурка с потолков и наружных стен во вновь выстроенных почтовых станциях: Кайнаревской, Татаревской и Атакской, в последней станции упавшая часть штукатурки ушибла спящую жену ямщика.

*Хотин.* В 9 часов пополудни замечено было с гулом в умеренной степени землетрясение, продолжавшееся до 3 мин., отчего на верхнем этаже острога треснула стена над железной решёткой и в кухне от верха до основания. Разбито 24 стекла в окошках. В городе никакого повреждения не произошло.

У помещика м. *Новоселица* в четырёх комнатах дома разошлись стены.

От землетрясения 11 января в м. *Липканы* нововыстроенная церковь повредилась в трёх местах незначительными трещинами, равно в с. *Стеленешта* на новопроложенной почтовой дороге на почтовой станции в некоторых местах стены и печки повредились.

В рапорте Протоиерея Хотинского уезда сообщается, что от землетрясения 11 января в каменной церкви с. *Дрепкауцы* оказались опасные в стенах трещины, требующие необходимого архитектурного обозрения.

*Бельцы.* В 9 часов пополудни довольно сильное землетрясение, продолжавшееся до 2,5 мин., отчего стены церкви Св. Николая во многих местах потрескались, а у городского острога в верхнем и нижнем этажах отвалилось от стен несколько камней, осыпалась штукатурка от печек и труб, и потрескалось 35 стёкол. Людям никакого вреда не причинило [10].

*Каменец-Подольский.* 11 января отмечено землетрясение. Довольно сильное в городе (3-4 мин.). Довольно сильное движение домашних вещей [24].

В пять минут десятого вечера в *Черновицах* ощущалось очень сильное землетрясение. Оно длилось непрерывно целых три минуты и с такой сильной тряской, что в некоторых домах разбились в окнах стёкла, а на столах тряслись стаканы и другая посуда. Дома города не понесли никакого ущерба.

Три толчка, из которых второй – самый сильный, продолжительностью 1,5 мин. В домах разбились оконные стёкла, образовались незначительные трещины [8].

23 января 1838 г. в 8 35 вечера землетрясение в Карпатах охватило обширную территорию вплоть до Москвы и Петербурга. Было много разрушений в *Кишинёве, Одессе, Очакове*. Это природное явление широко освещали в российских газетах, причем по каждому городу отдельно. Наш *Вознесенск*, вместе с *Ананьевым, Бобринцем и Ольвиополем* упоминался в связи с этим вскользь, где землетрясение не нанесло ощутимого вреда. Зато в *Одессе* три сильных подземных удара принесли разрушения некоторых домов (напр., с колокольни греческой церкви упал крест). В домах вся мебель была поколеблена, люстры, закрытые ставни и двери пришли в движение. В некоторых домах остановились часы. В Одесском и Ананьевском уездах, у многих помещичьих каменных домов, а также в новых станционных зданиях по Николаевской и Вознесенской дорогам и в арках нескольких мостов оказались трещины [25].

*Озеро Красное* или Убийца (рум. *Lacul Roșu*, венг. *Gyilkos-tó*) — естественное озеро в на северо-востоке Румынии в Восточных Карпатах, рядом с ущельем Биказ. Озеро образовалось в 1838 году в результате сильных ливневых дождей и мощного обвала скал, которые перекрыли горную речку, образовав некое подобие дамбы.

Рассказывают, что раньше на месте озера было пастбище, там пастухи пасли стада овец. Однажды налетела страшная гроза, начался ливень, пастухи попрятались, кто где мог. Гром, молнии, сотрясение земли — спастись не удалось никому. А наутро на месте речной долины оказалось озеро [26].

### Обсуждение

Учитывая всевозможные сдвиги в применении макросейсмических шкал, приведённые макросейсмические данные пересматривались с единых позиций, с тем, чтобы оценки балльности соответствовали градациям шкалы MSK-64 и её модификации EMS-98.

По пересмотренным данным была составлена таблица 2 содержащая пункты-баллы землетрясения 23 января 1838 года, и на её основе построена карта изосейст (рис. 1).

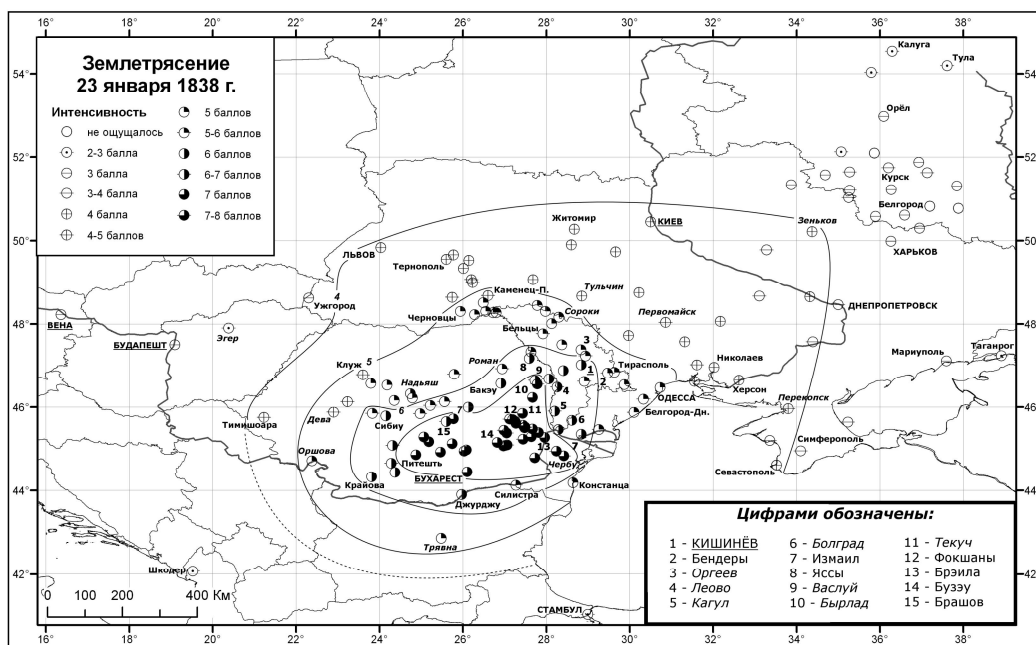


Рис. 1. Карта изосейст землетрясения 23 января 1838 г.

## Пункты-баллы землетрясения 23 января 1838 г.

№	Населенный пункт	№	Населенный пункт	№	Населенный пункт
	<b>7 – 8 баллов</b>	53	Аккерман (Белгород-Днестр.)	107	Верхнеднепровск
1	Бейликул	54	Бельцы	108	Вознесенск
2	Белчугу	55	Бендеры	109	Гримайлов
3	Бенту	56	Выргинь	110	Житомир
4	Булбоака	57	Гилкош	111	Збараж
5	Бэбень	58	Гыртоп-Маре	112	Зеньков
6	Гологану	59	Килия	113	Киев
7	Гэвнешть	60	Нагипольд (Аполду-де-Сус)	114	Львов
8	Джеменеле	61	Пуркары	115	Николаев
9	Корбул (Векь)	62	Роман	116	Подволочиск
10	Коту-Лунг	63	Сатул-Ноу (Новосельское)	117	Севастополь
11	Лэмотешть	64	Силистра	118	Сквира
12	Малуриле	65	Тирасполь	119	Тернополь
13	Мэгуреле	66	Тузлы	120	Тульчин
14	Петря	67	Фэгэраш	121	Умань
15	Рымникул-Сэрат	68	Хюхолом (Кёхалом, Рупя)	122	Херсон
16	Сада-Татарулуй		<b>5 баллов</b>		<b>3 – 4 балла</b>
17	Чербу	69	Атаки	123	Александрия
18	Шуцешть	70	Дрепкауцы	124	Евпатория
	<b>7 баллов</b>	71	Кеменителке (Кимителник)	125	Екатеринослав
19	Браилов (Брэила)	72	Констанца	126	Курск
20	Бузу	73	Липканы	127	Льгов
21	Буков	74	Медиаш	128	Мирополье
22	Бухарест	75	Надяш	129	Никополь
23	Бырлад	76	Новоселица	130	Ново-Московский
24	Дялу	77	Одесса	131	Симферополь
25	Кымпина	78	Оргеев	132	Суджа
26	Кымпулунг	79	Оршова	133	Тим
27	Михай-Браву	80	Сигишоара	134	Хороль
28	Питешть	81	Скуляны		<b>3 балла</b>
29	Плоешть	82	Сороки	135	Белгород
30	Прежмер	83	Сталинешты (Стальновцы)	136	Будапешт
31	Текуч	84	Старая Татаровка	137	Вена
32	Тырговиште	85	Старые Кайнары	138	Волчанск
33	Фокшаны	86	Теленешты	139	Мариуполь
	<b>6 – 7 баллов</b>	87	Трявна	140	Обоянь
34	Брашов	88	Турда	141	Орел
35	Васлуй	89	Хотин	142	Пугивль
36	Дрэгэшань	90	Черновцы	143	Рыльск
37	Кагул		<b>4 – 5 баллов</b>	144	Старый Оскол
38	Леово	91	Гусятин	145	Ужгород
39	Окнеле-Марь	92	Дева	146	Харьков
40	Рени	93	Залатна	147	Хотмыжск
41	Хуши	94	Залещики	148	Щигры
	<b>6 баллов</b>	95	Каменец-Подольский		<b>2 – 3 балла</b>
42	Бакэу	96	Клуж	149	Дмитриев
43	Болград	97	Ольвиополь (Первомайск)	150	Калуга
44	Германштадт (Сибун)	98	Очаков	151	Козельск
45	Журжев (Джурджу)	99	Перекоп	152	Константинополь
46	Измаил	100	Темешвар (Тимишоара)	153	Скутари (Шкодер)
47	Кездывашархей (Тыргу-Сэкуеск)	101	Чемерлеевка	154	Таганрог
48	Кишинев	102	Шидловцы	155	Тула
49	Крайова		<b>4 балла</b>	156	Эгер
50	Лапушна	103	Ананьев		<b>Не ощущалось</b>
51	Слатина	104	Бар	157	Короча
52	Яссы	105	Бердичев	158	Новый Оскол
	<b>5 – 6 баллов</b>	106	Бобринец	159	Фатеж

### Выводы

Полученные более полные и относительно надёжные определения легли в основу карт изосейст землетрясения 1838 г. (159 пунктов-баллов). Для территории Республики Молдовы найдено описание последствий землетрясения в 20 населённых пунктах.

При землетрясении 1838 г. направление максимального макросейсмического эффекта было к юго-востоку от эпицентра. По характеру изолиний карты изосейст землетрясение 23 января 1838 г. можно отнести к сейсмическим событиям северо-восточной части эпицентральной области Вранча с глубиной очага порядка 90 км. Подобные события произошли 4 марта 1977 г. и 30 мая 1990 г. В 1838 г. два землетрясения последовали один за другим через 12-15 минут. Землетрясение 1977 г. было мультиплетным, а в 1990 г. произошёл сейсмический дубль 30 и 31 мая.

### Литература

1. Florinesco A. Catalogue des tremblements de terre ressentis sur le territoire de la RPR. Bucuresti, 1958. 167 p.
2. Евсеев С.В. Интенсивность землетрясений Украины. Сейсмичность Украины. Киев: Наукова думка, 1969. С. 32-55.
3. Новый каталог сильных землетрясений с древнейших времён до 1975 г. Ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977, 536 с.
4. Radu C. Catalogul cutremurelor puternice produse pe teritoriul României. Partea I – înainte de 1901. Partea II – 1901-1979. Cercetări seismologice asupra cutremurului din 4 martie 1977. Editori I. Cornea, C. Radu. București, 1979. P. 723 – 752.
5. Constantinescu L, Mirza V. A Computer-Compiled and Computer-Oriented Catalogue of Romania's Earthquakes during a Millenium (984 – 1979). Geophysique, Revue Roumanie de geol., geophys. et geogr. 1980. Vol. 24, p. 193 – 235.
6. Каталог ROMPLUS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infp.ro/catal/catal.html> – ROMPLUS (Romplus catalogue RoNet analog seismograms Нуро/Нуроплюс програм).
7. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи с картою распространения землетрясений в России, чертежами и рисунками. Записки Импер. Русского географического общества, т. XXVI. С.-Петербург, 1893. С. 250-263.
8. Сагалова Е.А. К вопросу о сейсмическом районировании территории Буковины. Сб. Сейсмичность Украины. Киев: Наукова думка. 1969. С. 70 – 80.
9. Catalogue of earthquakes, part 3. Atlas of isoseismal maps. UNDP-UNESCO. Skopje, 1974. p. 5.
10. Архивные материалы ЦГА МССР. Фонд 205, Опись 1, ед. хр. 2901, 2967.
11. Евсеев С.В. Землетрясения Украины. Киев. Изд-во АН УССР, 1961. 75 с.
12. Ștefanescu Gr. Cutremurele de pământ în România în timp de 1391 de ani, de la 455 pînă la 1874. Anal. Acad. Rom. // Mem. Secț. Științe (II), Vol. XXIV, București, 1902, p. 1-34.
13. Hepites St. Registrul cutremurelor de pământ din România. 1838-1893. Analele Inst. Meteor. al Rom. T. 6, 1893. București. P. 55-68.

14. Васильев П. Сейсмичность Южной России и прилегающих к ней стран в связи с тектоникой. Записки Новороссийского общества естествоиспытателей. 1908, т. 31. Одесса. С. 167-170.
15. Montandon F. Les tremblements de terre destructeurs en Europe. Geneve, 1953. P. 131.
16. Forum: [www.PREMONITII.RO](http://www.PREMONITII.RO) – Despre zonele seismice din România.
17. Web-site: <http://www.optimalmedia.ro/stire-dosare-istorice/dosare-istorice-la-11-ianuarie-1838-romania-a-avut-un-cutremur-de-75-grade-pe-scara-richter/5813>
18. Rethly A. A Karpatmedencek Foldrengescei (455-1918). Budapest, Acad., Kiado. 1952. 152 p.
19. Iorga N. Studii și documente cu privire la istoria românilor, vol. 15, fasc. 2. Înscrisul din bisericile României. 1908.
20. Земетресението Вранча-1977. Последствия в НР България. БАН, София, 1983. 428 с.
21. Попов В.В. Связь сейсмичности УССР и Бессарабии с Карпатскими очагами. Труды Сейсмического института АН СССР №79 (7), 1938.
22. Одесский вестник, 1838 г. 13.01, №5, 19.01, №6, 22.01, №7, 26.01, №8.
23. Сухов И.М. Изучение геологического строения Карпатского региона. Отчет. Фонды Института геологии и полезных ископаемых АН МССР 1964 г. Кишинёв.
24. Подольские губернские новости, №3, 1838 г.
25. Как нас трясло. Вознесенск. Газета «Новый город». Веб-сайт: <http://ngorod.mk.ua/index.php/voznesechina/2028-2012-02-22-07-36-13>
26. Web-site: <http://ceedclub.ru/forums/index.php/topic,37120.0.html>

*Primit la redacție –25 iunie 2013*



УДК: 544.72: 661.184.23 + 661.183.4

Болотин О.А., Филиппов М.П.,\* Петухов О.М.,\* Пушкашу Б.М.\*

## Структурно-минералогические особенности бентонитовых глин месторождения Проданешты

### Abstract

*The structural and mineralogical characteristics of varieties of Prodanesht deposits of bentonite clays using a complex of analytical methods were studied. It was found that the samples differ each from other by morphological characteristics of aggregates, mineral composition and textural characteristics.*

### Rezumat

*Au fost studiate caracteristicile structurale și mineralogice ale depozitelor de argile bentonitice Prodaneshti folosind metode analitice complexe. S-a constatat, că probele diferă între ele prin caracteristicile morfologice ale agregatelor minerale, compoziția și caracteristicile texturale.*

### Резюме

*Изучены структурно-минералогические особенности разновидностей проданештского проданештского месторождения бентонитовых глин с использованием комплекса аналитических методов. Установлено, что образцы отличаются друг от друга по морфологическим особенностям агрегатов, минеральному составу и текстурным характеристикам.*

Бентонитовые глины являются ценным видом минерального сырья, структурные особенности которых открывают широкие возможности для решения прикладных задач технологической минералогии.

Это подтверждается на примере таких минералов как смектиты и палыгорскит, которые широко используются в бурении, литейном производстве, в качестве адсорбентов и др.

Одной из специфических особенностей этих минералов является способность к самопроизвольной диспергации. Конечным результатом этого процесса является образование элементарных частиц, имеющих размеры до 100 нм в длину и ширину и 0,8-2 нм – в толщину [1].

Особенности свойств бентонитов связаны с условиями их образования, определяющими минералогический и химический состав глинистых пород [2].

Поскольку монтмориллонит (ММ) входит в состав бентонитовых глин, то детальное изучение особенностей структуры ММ позволяет выявить показатели, влияющие на технологии переработки глин и определить оптимальные направления использования этих ценных полезных ископаемых [3].

---

\* Institutul de Chimie al AȘM a Moldovei

### Материалы и методы

Месторождение, расположенное в 1 км западнее села Проданешты (Флорештский район) на левом берегу р.Реут, было открыто Сорокской поисково-съёмочной партией в 1970 г. В 1972 г. была проведена предварительная, а в 1974-1976 гг. детальная разведка месторождения [4].

По геологическому строению месторождение представлено отложениями неогенового (сарматский ярус) и четвертичного возраста. Сарматские отложения представлены известняками нижнесарматского подъяруса и перекрывающими их глинами среднего сармата. В толще известняков нижнего сармата на контакте оолитово-детритусовых и песчаных разностей известняков прослеживается прослой бентонитовых глин мощностью от 0,2 м до 0,9 м при среднем значении 0,5 м. Четвертичные глины представлены суглинками. Полезными ископаемыми на месторождении являются бентонитовые глины и попутно перекрывающие их известняки [4, 5].

Были исследованы образцы бентонитов, так называемые буро-желтая (БЖ) и беловато-серая (БС) разновидности.

Средний гранулометрический состав бентонитовых глин\*: фракция 5-2 мм – 0.02%, 2-0.5 мм – 0.03%, 0.5-0.05 мм – 6.51%, 0.05-0.01 мм – 20.37%, 0.01-0.005 мм – 11.89%, 0.005-0.001 мм – 10.8%, менее 0.001 мм – 50.13%. По нашим данным сумма фракций < 0.01 для образца БЖ равна 63.8%, для образца БС – 35.5%.

По гранулометрическому составу глины относятся к тонкодисперсным.

Средний химический состав глин следующий (%): SiO<sub>2</sub> – 50.3-59.14; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 15.2-20.28; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1.72-3.93; TiO<sub>2</sub> – 0.36-0.43; CaO – 1.44-4.14; MgO – 2.79-4.82; K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O – 0.39-1.8.

По составу обменных катионов глины относятся к щелочноземельным и имеют следующие значения: для (БЖ) разновидности содержание (мг/экв): Ca – 68.4; Mg – 1.89; Na – 0.17; K – 1.10; для (БС) разновидности: Ca – 75.3; Mg – 1.89; Na – 6.94; K – 4.91.

Для изучения состава, структуры и полезных свойств ММ был использован комплекс физических и физико-химических методов – рентгенография, электронная микроскопия, термография, ИК-спектроскопия, метод низкотемпературной адсорбции азота.

**Рентгеновская дифракция.** Съёмка производилась на дифрактометре ДРОН-2 с использованием FeK $\alpha$  излучения, интервал сканирования – 3-74<sup>0</sup>2 $\theta$  из расчета 4<sup>0</sup>/мин. Снимались 4 дифрактограммы: общая порошковая диаграмма, ориентированный препарат, ориентированный препарат после насыщения глицерином, ориентированный препарат после прокаливании при 550<sup>0</sup>С.

**Термический анализ.** Для термических исследований использовался Дериватограф-Q1500D (ВНР) с программным обеспечением фирмы National Instruments (USA). Производилась автоматическая запись 4-х кривых: температурной Т, термовесовой кривой ТГ, дифференциальной термовесовой кривой ДТГ, дифференциальной термоаналитической кривой ДТА.

**Инфракрасная спектроскопия.** Спектры регистрировались на ИК-Фурье спектрометре PE-100 Перкин-Элмер в области 4000-400 см<sup>-1</sup>.

---

\* Определения проведены "Inmacomproiect".

Просвечивающая электронная микроскопия. Морфология образцов бентонитов изучалась с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan (Чехия) при ускорении в 25 kv.

Изотермы адсорбции азота. Текстульные характеристики методом низкотемпературной адсорбции азота с использованием автоматического анализатора AKTOSORB-1 (Компания Quantachrome США).

### Результаты и обсуждения

#### Рентгенографическая характеристика

Дифрактограммы изученных образцов приведены на рис. 1, 2.

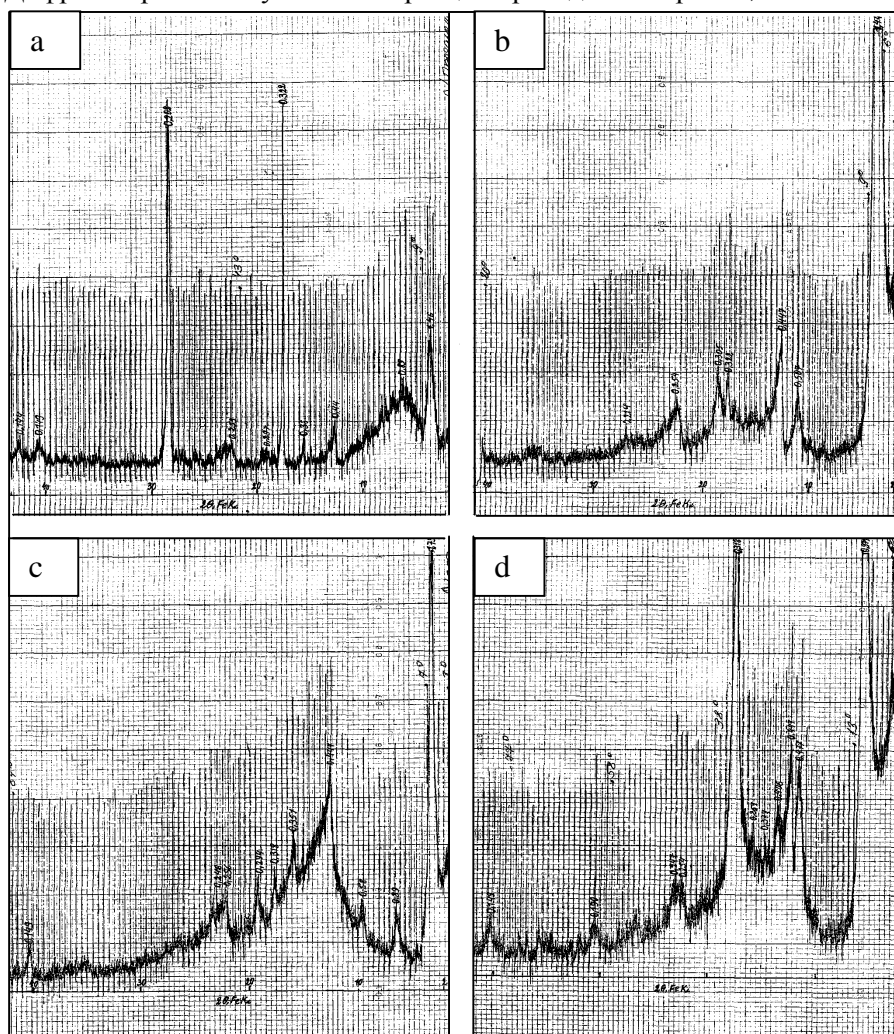


Рис.1. Дифрактограммы бентонитов месторождения Проданешты (буро-желтая разновидность):

- a) порошок
- b) исходный ориентированный препарат
- c) насыщенный глицерином
- d) прокаленный при 600°C (2 часа)

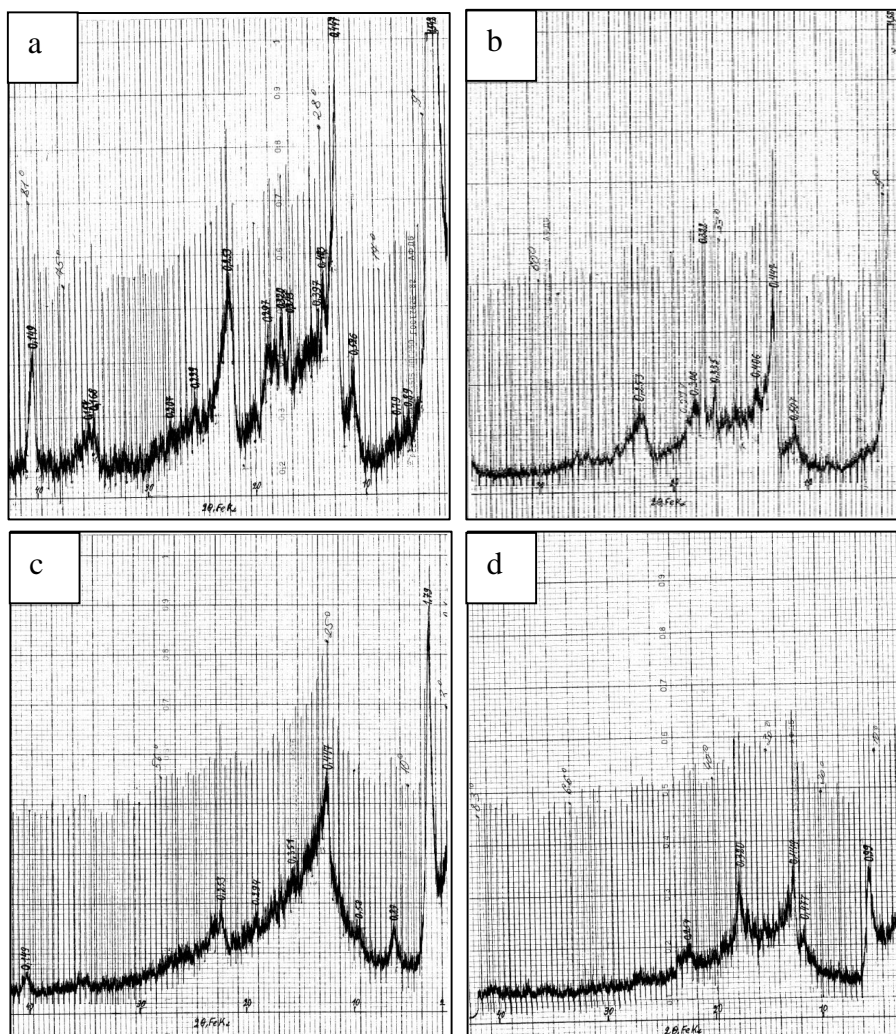


Рис. 2. Дифрактограммы бентонитов месторождения Проданешты (беловато-серая разновидность):

- a) – порошок,
- b) – исходный ориентированный препарат,
- c) – насыщенный глицерином,
- d) – прокаленный при 600<sup>0</sup>С (2 часа)

Анализ дифракционного профиля (порошка) образца БС (Рис. 2а) отличается от дифракционного профиля образца БЖ (Рис. 1а) наличием диффузного гало в области 10-30<sup>0</sup>2θ, что свидетельствует о присутствии аморфного кремнезема в нем. Этот факт подтверждается данными растворимости беловато-серой разновидности бентонита в 5% КОН, составляющей 13,1%.

Для дифрактограммы порошка образца БЖ (Рис. 1а) характерны интенсивные отражения полевых шпатов (0,322 и 0,202 нм), которые на дифрактограммах образца БС проявляются незначительно.

Общим для минерального состава образцов БЖ и БС является наличие в них глинистого минерала монтмориллонита с общим рефлексом 0,441-0,447 нм и базальными отражениями 1,46 и 1,54 нм соответственно. Наряду с ними на дифрактограмме (Рис. 2а) образца БС фиксируется опал – кристобалит – тридимитовая (ОКТ) фаза с основным рефлексом при 0,403 нм, а также определяется цеолит – 0,89 -0,79 – 0,39 – 0,297 нм.

Уточнение состава минералов и количественное соотношение между ними оцениваются по отдельной съемке ориентированных препаратов. На дифрактограммах этих образцов фиксируются интенсивные рефлексы (Рис. 1b) при 1,44 нм для БЖ препарата и 1,58 нм для БС (Рис. 1b), которые принадлежат к щелочноземельному монтмориллониту. После насыщения препаратов глицерином эти отражения (1,44 и 1,58 нм) смещаются в сторону малых углов – до 1,79 нм и следует серия кратных ему отражений – 0,89 нм, 0,58 нм, 0,44 нм, 0,35. Это подтверждает тот факт, что разбухающий глинистый минерал является монтмориллонитом.

На дифрактограмме образца БЖ, прокаленного при 600<sup>0</sup>С (Рис. 1d) в отличие от образца БС прослеживается наличие слабого отражения при 2,4 нм, которое, вероятно, объясняется наличием примеси смешано-слоистого хлорит-вермикулита [6]. Для уточнения следует провести дополнительные исследования.

### Термический анализ

Дериватограммы исследуемых образцов бентонитов (БЖ и БС) (Рис. 3, 4) типичны для моно-минерального монтмориллонита [7, 8]. Первый двойной эндотермический эффект появляется в интервале 100-270<sup>0</sup>С для образцов БЖ и БС, сопровождающийся для образца БЖ потерей массы (17,2%) в результате удаления адсорбционной воды. Потеря массы для образца БС несколько меньше и составляет 13,2%. Этот факт, вероятно, можно объяснить наличием в образце БС аморфной составляющей как уже было отмечено выше.

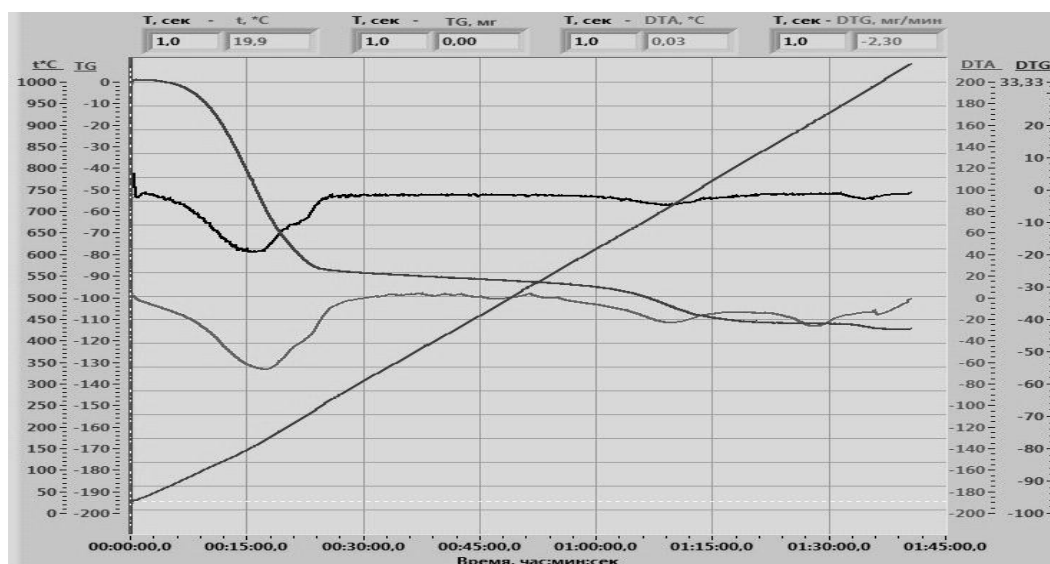


Рис.3. Дериватограмма буро-желтой разновидности (БЖ) бентонита месторождения Проданешты.

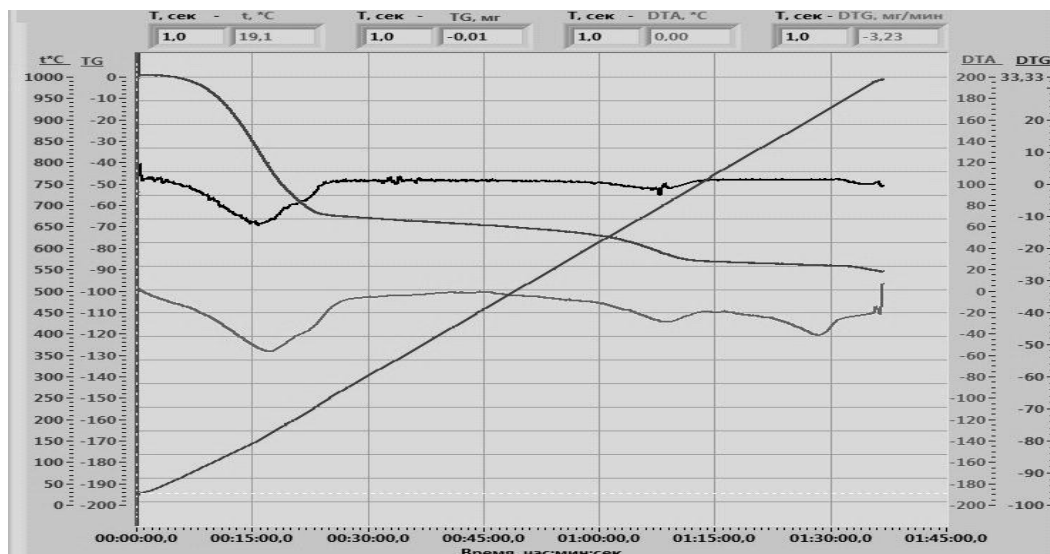


Рис.4. Дериватограмма беловато-серой разновидности (БС) бентонита месторождения Проданешты.

Ступенька на термокривых БЖ и БС в области 220<sup>0</sup>С свидетельствует о преобладании в обменном комплексе бентонитов катионов кальция и магния.

Второй эндотермический эффект для БЖ и БС с максимумом при 720<sup>0</sup>С сопровождается потерей массы вследствие удаления гидроксильной группы из решетки монтмориллонита.

Третий эндотермический эффект на дериватограммах бентонитов в области 890-900<sup>0</sup>С, по мнению некоторых исследователей [9, 10] и нашим данным [8] сопровождается незначительной потерей массы, которая, по-видимому, связана с остатками гидроксидов и с разрушением кристаллической структуры минерала. Имеющиеся в литературе данные [11, 12] подтверждают вывод о том, что на поверхности дисперсных гидрофильных минералов следы молекулярно связанной воды будут присутствовать до температур их окончательной дегидроксилизации, а именно до 800-1000<sup>0</sup>С.

### Инфракрасная спектроскопия

Отнесение частот поглощения в ИК-спектрах бентонитов (Рис. 5, 6) сделано с учетом привлечения литературных данных по ИК-спектроскопии монтмориллонита и других слоистых алюмосиликатов [9, 10, 11, 12].

Для обеих разновидностей бентонитовой глины (БЖ и БС) ИК-спектры поглощения представляют собой ряд диффузных полос поглощения в области 400 - 520 см<sup>-1</sup>, 620-840 см<sup>-1</sup>, 900-1100 см<sup>-1</sup>, 1600-1640 см<sup>-1</sup>, 3420-3620 см<sup>-1</sup>. Исключение составляют небольшие изменения величин частот поглощения, относящихся к колебаниям связей "кремний-кислород" и "кремний-кислород-алюминий" в области 400-900 см<sup>-1</sup>.

Существенным отличием спектра пробы БС от спектра пробы БЖ является возрастание интенсивности полосы поглощения в области 790 см<sup>-1</sup>, - 800 см<sup>-1</sup>, которые относятся к колебаниям связей Al – OH и Si – O – Al. Увеличение

интенсивности этих колебаний, предположительно, говорит об изменении характера связей катионов Al и Si [10, 12].

Интенсивность полосы поглощения  $3620\text{ см}^{-1}$  валентных колебаний структурных OH групп для бентонита БЖ выше, чем для бентонита БС.

Интенсивность полосы поглощения  $3420\text{ см}^{-1}$ , физически адсорбированной воды и полосы поглощения  $3620\text{ см}^{-1}$ , структурных OH групп связи Al – OH для бентонита БС значительно меньше, чем для бентонита БЖ, что коррелирует с данными термографии по содержанию сорбированной структурной воды в указанных выше образцах.

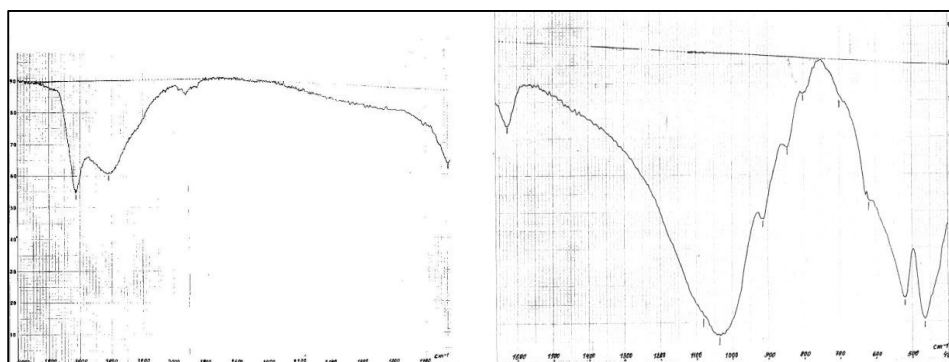


Рис.5. ИК-спектры бентонитовой глины БЖ.

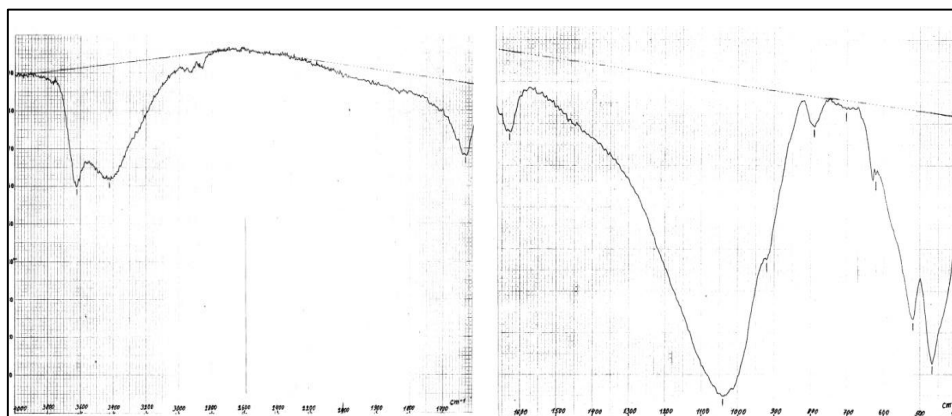


Рис.6. ИК-спектры бентонитовой глины БС.

### Электронно-микроскопический анализ

Отличительной особенностью исследуемых образцов пород является значительное содержание основного породообразующего минерала монтмориллонита.

Фотографии поверхности образцов монтмориллонитов (БЖ) и (БС) достаточно схожи (Рис. 7-9) несмотря на то, что в первом из них содержание ультрадисперсных частиц монтмориллонита размером 3-5 мк значительно больше, чем в образце БС, где прослеживается развитие агрегированных частиц размером 5-15 мк. Данный факт согласуется с результатами гранулометрии. Кроме того в образце БС выявляется наличие призматических кристаллов цеолита на фоне глобул кристобалит-тридимита (Рис. 9).

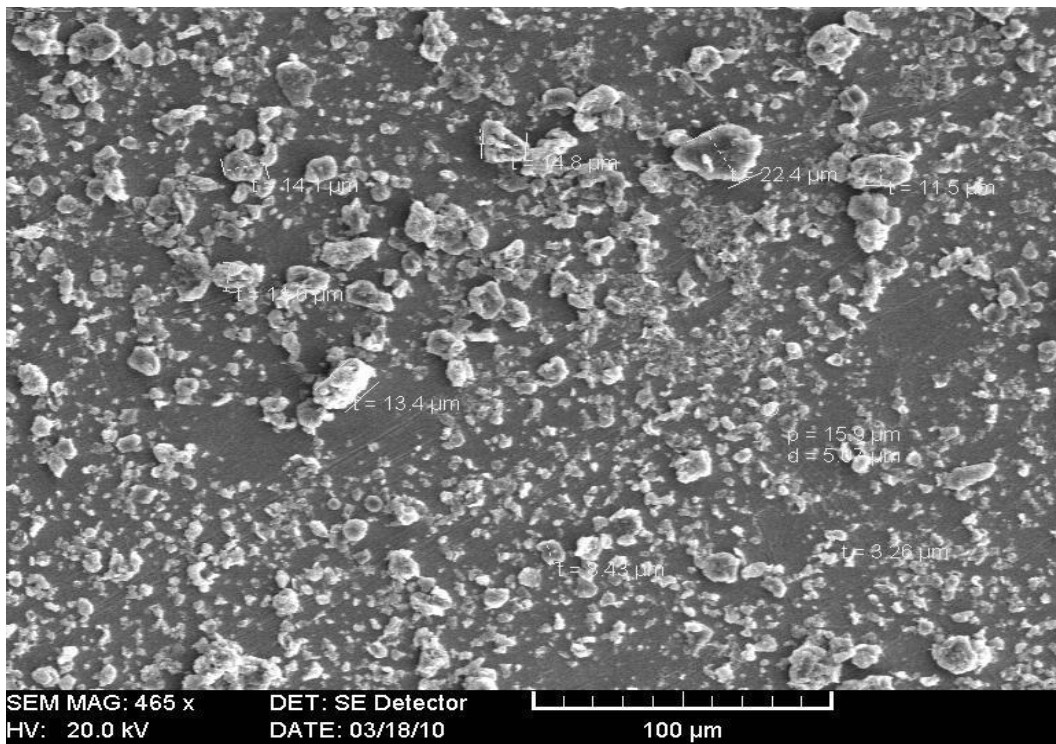


Рис. 7. Снимок бентонитовой глины буро-желтой разновидности (БЖ).

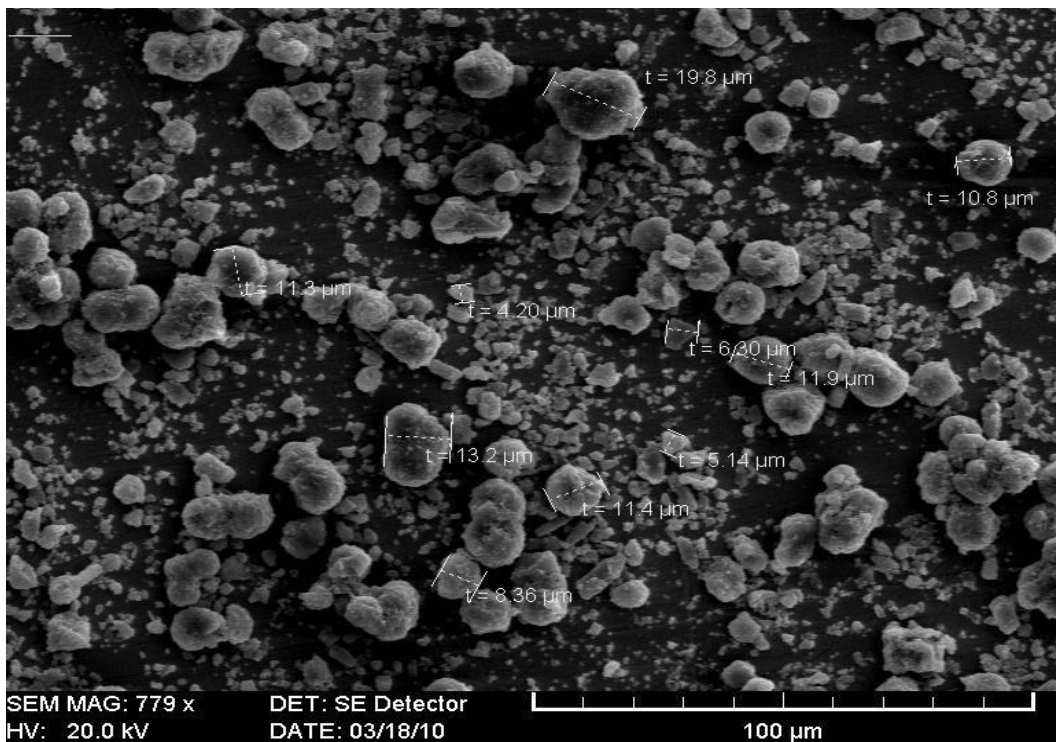


Рис. 8. Снимок бентонитовой глины беловато-серой разновидности (БС).



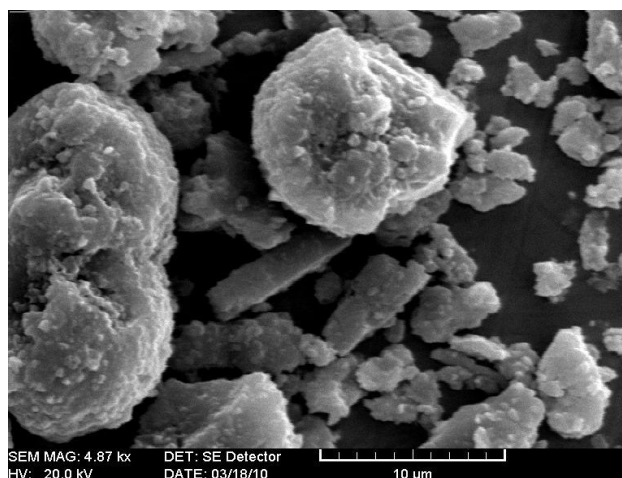


Рис.9. Снимок бентонита беловато-серой разновидности (БС) с наличием цеолита и кристобалит-тридимита.

#### Адсорбция азота

Текстурные характеристики определяли методом низкотемпературной адсорбции азота. Изотермы адсорбции азота (Рис. 10, 11) на образцах природных монтмориллонитов (БЖ) и (БС) относятся к IV типу по классификации Брунаура, Деминга, Теллера, которые характеризуются наличием петли капиллярно-конденсационного гистерезиса и являются типичными для мезопористых сорбентов.

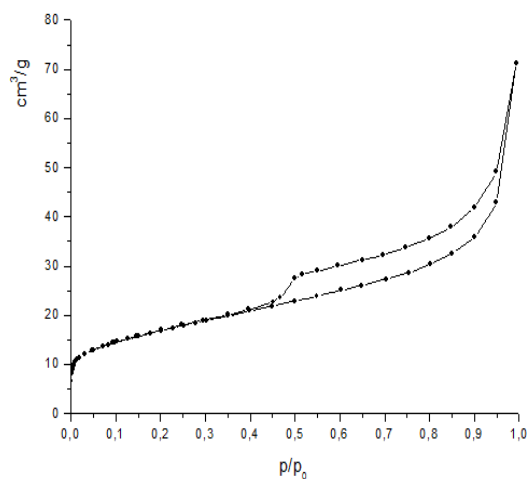


Рис. 10. Изотерма адсорбции азота (77 К) для бентонита (БЖ)

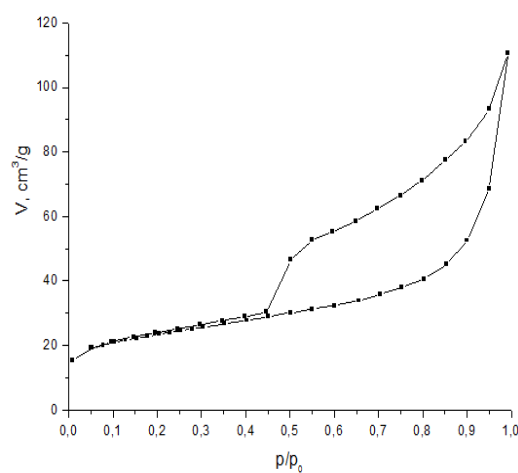


Рис. 11. Изотерма адсорбции азота (77 К) для бентонита (БС)

Форма петли гистерезиса относится к типу В по классификации де Бура, что свидетельствует о наличии щелевидных пор.

На изотерме бентонита БС (Рис. 10, 11) прослеживается наличие дополнительного количества мезопор, что отражается на изотерме в виде дополнительной ступени, имеющей место в области относительных давлений  $0,10 < P/P_0 < 0,45$ .

Резкий подъем изотермы адсорбции для бентонита БС при малых P/P<sub>0</sub> указывает [13, 14] на большое количество микропор.

Увеличение объема микропор приводит к увеличению удельной поверхности, как это имеет место и в случае с бентонитом БС, и доступности активных центров, находящихся на внутренней поверхности ММ, что играет важную роль при адсорбции и катализе [13, 14].

Сравнительный анализ текстурных свойств материалов (Таб.1) позволяет заключить, что образцы монтмориллонита типа БС обладают большей удельной поверхностью, значительным содержанием микропор и большим значением  $d_{001}$ , по сравнению с образцом БЖ.

Таблица 1

Текстурные свойства исследуемых материалов

	S, m <sup>2</sup> /g	V, cm <sup>3</sup> /g	$\Gamma_{ef}$ , А
БЖ	59.17	0.110	26.42
БС	82.50	0.171	26.42

### Выводы

Таким образом исходя из данных физических и физико-химических методов исследования общим для минерального состава проданештских бентонитов беловато-серой (БС) и буро-желтой разновидностей (БЖ) является наличие в них породообразующего мономинерального монтмориллонита. Наряду с ним в образце БС фиксируется примесь опал-кристобалита с включениями цеолита, а в образце БЖ полевых шпатов и, вероятно, присутствие смешано-слоистого хлорит-вермикулита.

Анализ текстурных свойств исследованных материалов позволяет заключить, что образцы монтмориллонита БС обладают большей удельной поверхностью, значительным содержанием микропор и большим значением  $d_{001}$  по сравнению с образцом БЖ.

Использование комплекса аналитических методов исследования позволяет прогнозировать возможности обогащения нерудного сырья и разрабатывать эффективные пути его переработки. По отдельным структурно-минералогическим показателям (обменная емкость, объем пор, пористость, удельная поверхность и др.) глинистого сырья можно прогнозировать его свойства и качество готовой продукции (сорбентов, буровых растворов, фильтров, наполнителей и т.д.).

### Литература

1. Наседкин В.В., Васильев А.Л., Боева Н.М. Результаты исследования некоторых разновидностей слоистых и ленточных силикатов на нано-уровне, возможности применения полученных результатов для решения технологических проблем. // Новые методы технологической минералогии при оценке руд, металлов и промышленных минералов. Сб. научных статей / Под ред. д.г.-м.н. В.В.Щипцова. Петрозаводск. 2009.
2. Исследование минералогического состава и физико-химических свойств бентонитов Тарасовского месторождения. Журнал прикладной химии. 1996, т. 69. Вып. 11, стр. 1848-1851.

3. Пермяков Е.Н. Влияние структуры и кристаллохимических особенностей монтмориллонита на технологические свойства бентонитовых и полиминеральных глин. Автореферат канд.дис. Казань, 2005.
4. Попович В. Отчет: "О детальной разведке Проданештского месторождения бентонитовых глин" МГТУ. № 1992. Кишинев. 1976.
5. Саянов В.С., Перес Ф.С. Пепловые туфы из миоценовых отложений Молдавской ССР. Известия МФ АН СССР, 1960, № 9 (75), стр. 45-60.
6. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов. Под редакцией Г.Брауна: Изд. "Мир", Москва, 1965.
7. Жеру М.И. Глинистые образования Молдавии. Изд-во "Штиинца". Кишинев. 1978.
8. Bolotin O., Romanov L., Neaga V., Samohvalov N. Particularitățile bentonitelor modificate din nordul Republicii Moldova și posibilitățile lor de utilizare în economia națională // Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM // Chișinău, 2011, № 2, с. 87-95.
9. Уорел У. Глины и керамическое сырье. М.: Мир, 1978. – 198 с.
10. Лазарев А.Н. Колебательные спектры и строение силикатов. Л.: Наука. 1968. – 123с.
11. Тарасевич Ю.И. Строение и химия поверхности слоистых силикатов. Киев: Наукова думка, 1988. – 248 с.
12. Корнилов Ю.И., Лыгина Т.З., Наумкина Н.И., Пермяков Е.Н., Хийдилов Ш.Х. Физико-химические процессы, протекающие в глинистом сырье при электрокинетическом воздействии / Сб.ст. 2-го Российского семинара. Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья. Петрозаводск, 2007.
13. Королькова С.В. Коллоидно-химические свойства монтмориллонит-иллитовых глин, активированных солевыми растворами. Белгород-2012.
14. Ханхасаева С.И. Синтез и физико-химические свойства интерполированных систем на основе полиионсоединений металлов и монтмориллонита. Автореферат докт.дисс. Улан-Удэ. 2010.

*Primit la redacție –11 iunie 2013*

УДК: 478.9; 563.12; 551.182.13

Бобринская О.Г.

**Фораминиферы семейств Nonionidae Schultze (1854) и Elphidiidae Galloway (1933) в отложениях сармата Молдовы**

**Abstract**

*Foraminifera of the families Nonionidae (Schultze, 1854) and Elphidiidae (Galloway, 1933) in the Sarmatian deposits of Republic of Moldova are described in this article.*

**Rezumat**

*Foraminiferele familiilor Nonionidae (Schultze, 1854) și Elphidiidae (Galloway, 1933) din depozitele sedimentare sarmațiene din Republica Moldova sunt descrise în acest articol.*

**Резюме**

*В статье приводятся систематические описания некоторых видов фораминифер семейств Nonionidae (Schultze, 1854), Elphidiidae (Galloway, 1933), широко распространенных в отложениях сармата Молдовы.*

*Keywords: Nonionidae, Elphidiidae, Sarmatian, Republic of Moldova*

Фауна фораминифер широко представлена в отложениях сармата Молдовы. Здесь присутствуют разнообразные эндемичные формы семейств: Miliolidae (Бобринская, 2012), Nonionidae, Elphidiidae (Таблица), Rotaliidae и др. Они характеризуются приспособляемостью к особым условиям существования в более или менее замкнутых бассейнах при определенных глубинах, температуре и солености. Используются в стратиграфии, фациальном анализе, палеогеографических построениях, являясь показателями возраста пород.

**Систематическая часть**

Класс Sarcodina  
Подкласс Foraminifera  
Надсемейство Nonionidae Schultze, 1854  
Семейство Nonionidae  
Подсемейство Nonioninae, Schultze, 1854  
Род *Porosonion* Putrja, 1958  
*Porosonion subgranosus subgranosus* (Egger, 1857)  
Табл. I, рис. 1, 2. (с.Распоены, скв.19, х 55 )

Таблица 1

## Распределение видов семейств Nonionidae и Elphidiidae в сармате Молдовы

Виды	Нижний сармат	Средний сармат
<i>Pullenia bulloides</i> d'Orbigny	+	
<i>Pullenia</i> sp.	+	
<i>Nonion serenus</i> Venglinsky	+	+
<i>N.tumidulus</i> Pishvanova	+	+
<i>N.bogdanowiczi</i> Voloshinova	+	+
<i>N.inexavatum</i> (Cushman et Applin)	+	+
<i>N.hantkeni</i> (Cushman)		+
<i>N.rotundum</i> Pishvanova	+	+
<i>N.biporus</i> Krasheninnikov	+	+
<i>N.punctatus</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>N.tumidulus</i> Pishvanova	+	+
<i>Porosonion subgranosus subgranosus</i> (Egger)	+	+
<i>P.subgranosus hyalinus</i> Bogdanowicz		+
<i>P.marikobi</i> Bogdanowicz	+	+
<i>Florilus boueanus</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>Nonionella karaganica</i> Krasheninnikov	+	+
<i>Nonionella incurvata</i> (Venglinsky)		+
<i>Elphidium crispum</i> (Linne)	+	+
<i>E.antoninum</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>Elphidium macellum macellum</i> (Fichtell et Moll)	+	+
<i>E.macellum converia</i> (Venglinsky)	+	+
<i>E.macellum tumidocamerale</i> Bogdanowicz	+	+
<i>E.aff.advenum</i> Cushman	+	+
<i>E.listeri</i> (d'Orbigny)		
<i>Elphidium inflatum</i> Reuss		+
<i>E.reginum</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>E.aculeatum</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>E.rugosum</i> (d'Orbigny)		+
<i>E.aff.lidoense</i> Cushman		+
<i>E.joukovi</i> Serovae	+	+
<i>E.microelegans</i> Serova	+	+
<i>E.aff.chipolense</i> (Cushman)		+
<i>E.poeyanum</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>E.puscharovski</i> Serova		+
<i>E.notabilis</i> Pishvanova	+	+
<i>E.aff.glabrum</i> Bystricka	+	+
<i>E.hauerinum</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>E.fichtellianum</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>E.angulatum</i> Egger		+
<i>E.aff.josephina</i> (d'Orbigny)	+	+
<i>E.perscitum</i> Serova		+
<i>E.aff.mirandum</i> Krascheninnikov	+	
<i>E.lavoviensis</i> Venglinsky	+	
<i>E.echinus</i> Serova	+	
<i>E.salebrosum</i> Serova	+	
<i>E.subum bilicatum</i> (Crjzek)	+	+

1857. *Nonionina subgranosa*, Egger, s.4, taf.10, fig.16-18.  
1947. *Nonion subgranosus*, Богданович, стр.29-30, табл.IV, рис.1 а, б; 2.  
1955. *Nonion subgranosus*, Богданович, стр.335, табл.XV, фиг.8, 9.  
1960. *Porosonion subgranosus subgranosus*, Богданович, стр.254, т.1, ф.1 а, б.  
1970. *Porosonion subgranosus subgranosus*, Дидковский, стр.100, табл.63, ф.9 а, б.  
1999. *Porosonionium subgranosus*, Darakchieva, стр.83, табл.1, 2, 3.

Нижний и средний сармат Причерноморской впадины, Вольно-Подольской плиты, Крыма, Кавказа, Молдовы. Миоцен Западной Европы.

*Porosonion subgranosus hyalinus* Bogdanowicz, 1960

Табл. I, рис. 3 (с.Бужоры, скв.22, х 55)

1960. *Porosonion subgranosus* (Egger) var.*hyalinus*, Богданович, стр.256, т.V, ф.2 а, б.  
1970. *Porosonion subgranosus hyalinus*, Дидковский, стр.100, ф.8 а, б.

Миоцен. Нижний и средний сармат Причерноморской впадины, средний сармат Молдовы.

Семейство Elphidiidae Galloway, 1933

Род *Elphidium* Montfort, 1808

*Elphidium antoninum* d'Orbigny, 1846

Табл. I, рис. 4 (с. Бужоры, скв.22, х 80)

1846. *Polystomella antonina*, d'Orbigny, стр.128, т.VI, ф.17, 18.  
1939. *Elphidium antoninum*, Cushman, стр.43, т.II, ф.14.  
1958. *Elphidium aff.antoninum*, Венглинский, стр.114, т.XXV, ф.3 а, б.  
1959. *Elphidium antonina*, Крашенинников, стр.46, т.IX, ф.1 а, б.  
1960. *Elphidium antonina*, Крашенинников, стр.46, т.6, ф.1 а, б.  
1970. *Elphidium antonina*, Дидковский, стр.116, табл.70, ф.1, 2.

Миоцен. Миоцен Вольно-Подольской плиты, конкский горизонт Крыма, нижний сармат Закарпатья. Миоцен Польши, Болгарии, Венского бассейна, нижний и средний сармат Молдавии.

Семейство Nonionidae

Род *Nonion* Montfort, 1808

*Nonion bogdanowiczi* Voloshinova

Табл. I, рис.5-6 (с. Мерешены, скв.23, х 120)

1952. *Nonion bogdanowiczi*, Волошинова, стр.19, т.1, ф.7 а, б; 8 а, б.  
1958. *Nonion bogdanowiczi*, Венглинский, стр.108, т.XXI, ф.4 а, б.  
1970. *Nonion bogdanowiczi*, Волошинова, стр.96, табл.62, ф.4 а, б.  
1998. *Nonion bogdanowiczi*, Bobrinskaya, Gruzman, Krashennnikov, Serova, Venglinskyi, стр.113, pl.66, fig.6.  
1999. *Nonion bogdanowiczi*, Darakchieva, p.74, fig.1, 2.

Род *Porosonion* Putrja, 1958  
*Porosonion aragviensis* Djanelidze  
Табл. II, рис. 1 (с. Бурсук, обр. 47, х 100)

1953. *Nonion aragviensis*, Джанелидзе, стр. 156, pl. 1, fig. 3.  
1998. *Porosonion aragviensis*, J. Cicha, F. Rogl, C. Rupp, J. Ctyroka, стр. 119, pl. 74, fig. 8-9.  
1999. *Porosonion aragviensis*, Даракчиева, стр. 83, ф. 1-4.  
Неоген, верхний миоцен, сармат; Грузия, Румыния, Болгария, Молдова.

Род *Elphidium* Montfort, 1808  
*Elphidium crispum* (Linne), 1758  
Табл. II, рис. 2 (с. Бурсук, обр. 47, х 130)

1758. *Nautilus crispum*, Linnaeus, S. Fog, 10 ed., no 236.  
1822. *Polystomella crispa*, Lamarck, s. 625, № 1  
1927. *Elphidium crispum*, Cushman and Grand, s. 73, т. VII, ф. 2-3.  
1939. *Elphidium crispum*, Cushman, s. 50, taf. 13, fig. 17-21.  
1958. *Elphidium crispum*, Венглинский, стр. 115, т. XXV, ф. 2 б.  
1960. *Elphidium crispum*, Крашенинников, стр. 30, т. I, ф. 1 а-г.  
1963. *Elphidium crispum*, Rapp, s. 264, taf. 7, fig. 2, taf. 8, fig. 1-5, taf. 9, fig. 1, 2.  
1998. *Elphidium crispum*, J. Cicha, F. Rogl, C. Rupp, J. Ctyroka, стр. 95, pl. 75, figs. 16-17.

Палеоген – ныне. Миоцен Причерноморской впадины, Вольно-Подольской плиты, Предкарпатья, Закарпатья, Кавказа, Кубани, Польши, Румынии, Венского бассейна, Венгрии, Франции; нижний и средний сармат Молдовы.

*Elphidium alvarezianum serrulata*, Cushman et Parker, 1933  
Табл. II, рис. 3 (Прункуловский карьер, х 75)

1939. *Elphidium alvarezianum serrulata*, Cushman et Parker, 1939.  
1975. *Elphidium alvarezianum serrulata*, Венглинский, стр. 192, табл. XXX, рис. 3.

Верхний миоцен. Средний сармат Закарпатского прогиба, Молдовы; современные моря.

Род *Nonion* Montfort, 1808  
*Nonion biporus* Krasheninnikov, 1958  
Табл. II, рис. 4 (Прункуловский карьер, х 100)

1958. *Nonion biporus*, Крашенинников, стр. 115, т. I, ф. 2 а, б.  
1959. *Nonion biporus*, Крашенинников, стр. 38, т. VIII, ф. 5 а, б.  
1970. *Nonion biporus*, Крашенинников, стр. 96, табл. 62, ф. 3 а, б.

Миоцен. Миоцен Вольно-Подольской плиты, конка Западного Предкавказья, нижний и средний сармат Молдовы.

### Заклучение

Приведены систематические описания некоторых видов фораминифер семейств Nonionidae (Schultze, 1854) и Elphidiidae (Galloway, 1933) из отложений сармата Молдовы. Даны сведения по синонимике (в соответствии с систематикой, принятой в "Основах палеонтологии" (1959)), микрофотографии, приведена таблица 1 стратиграфического распространения представителей этих семейств в сарматских отложениях Молдовы.

Наряду с представителями семейства Miliolidae они здесь являются многочисленными и разнообразными.

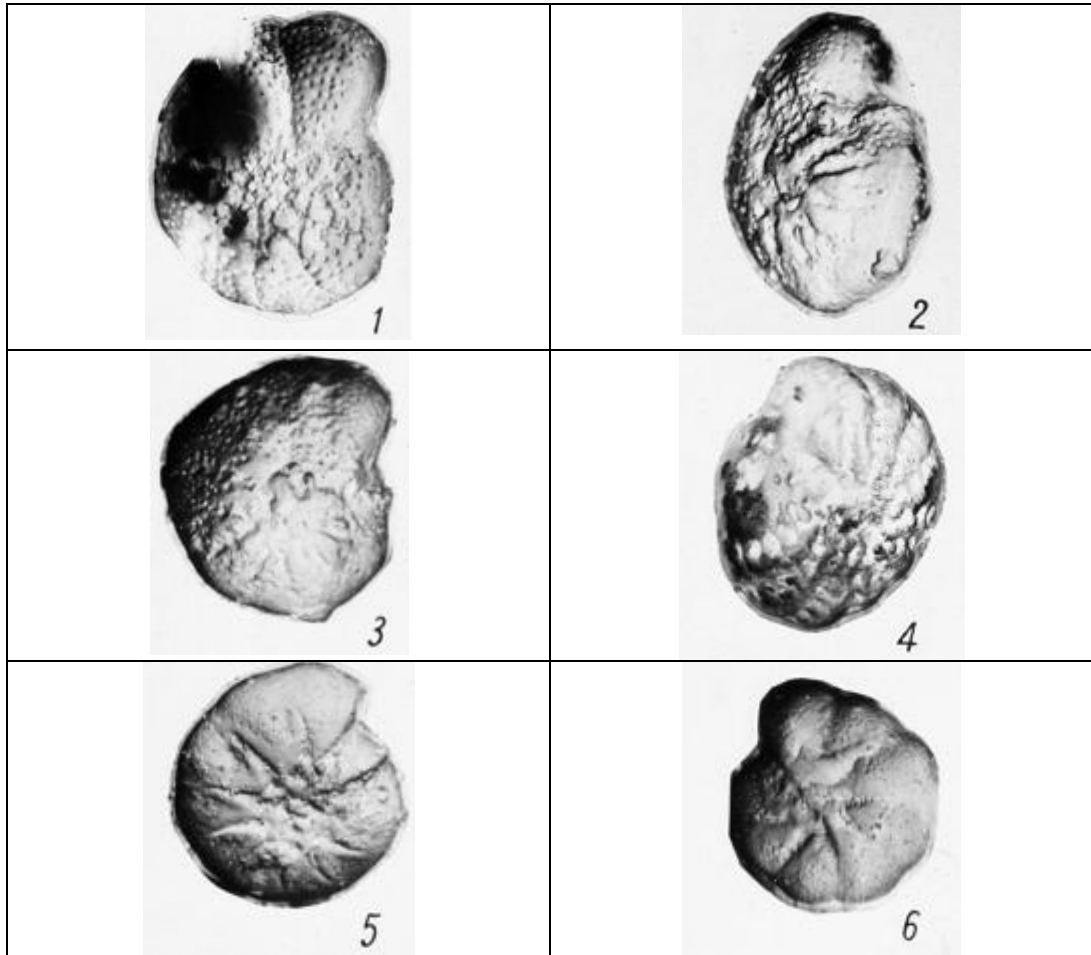
### Литература

1. Bobrinskaya O., Gruzman A., Krashennnikov V., Serova M., Venglinskyi J. "Stratigraphy of the Oligocene and Miocene deposits of the Western Ukraine and Moldavia". В кн.: Cicha J., Rogl F., Rupp C., Cryroka J. "Oligocene – Miocene foraminifera of the Central Paratethys". Verlag W.Kramer, Frankfurt am Main, p.34-43, 1998.
2. Cicha J., Rogl F., Rupp C., Ctyroka J. "Oligocene – Miocene foraminifera of the Xentral Paratethys". Verlag W.Kramer, Frankfurt am Main, p.325, 1998.
3. Cushman J. "The genus Elphidium". U.S.Geol.Surv., Paper 191-1950. Foraminifera. Harvard.Univ.Press, Cambridge Mass. 1939.
4. Cushman J. "A monograph of the foraminifera family Nonionidae". U.S.Geolog.Surv.Prof., p.191, 1931.
5. Darakchieva S. "Small tertiary foraminifers from Bulgaria". Atlas. Sofia, Bulgaria, p.91, 1999.
6. D'Orbigny "Foraminiferes fossiles du Bassin tertiaire de Vienne". Ann.Sci.Nat., Paris, 1846.
7. Egger J. "Die Foraminiferen Miozan – schichten bei Ortenburg in Nieder – Bayern" Neues Jarb.f.Min. 1857.
8. Karrer F. "Die Miocene Foraminiferen fauna von Kostej in Banat". Sitz. Akad. Wiss., p.68, Wien, 1868.
9. Papp A. "Die biostratigraphische Gliederung des Neogens im Wiener Becken. p.317, Wien, 1963.
10. Cicha J., Rogl F., Rupp C., Ctyroka J. "Oligocene – Miocene foraminifera of the Central Paratethys". Verlag W.Kramer, Frankfurt am Main, p.325, 1998.
11. Бобринская О.Г. "Фораминиферы семейства Miliolidae (d'Orbigny) в отложениях сармата Молдовы". Buletin Institutului de Geologie și Seismologie al Academiei de Științe a Moldovei, nr.2, c.16-28, 2012.
12. Богданович А.К. "О результатах изучения фораминифер миоцена Крымско-Кавказской области". Сб.: "Микрофауна нефтяных месторождений Кавказа, Эмбы и Средней Азии". Тр.ВНИГРИ, 57, с.5-33, Ленинград, 1947.
13. Богданович А.К. "О новых и малоизвестных видах фораминифер из миоцена западного Предкавказья". Тр. КФ ВНИИ. Из-во "Недра", геол.сб.3, с. 241-256. Ленинград, 1960.
14. Венгліньський І.В. "Форамініфери міоцену Закарпаття за фауною форамініфер". Вид-во АН УРСР, 145 с. Київ, 1958.

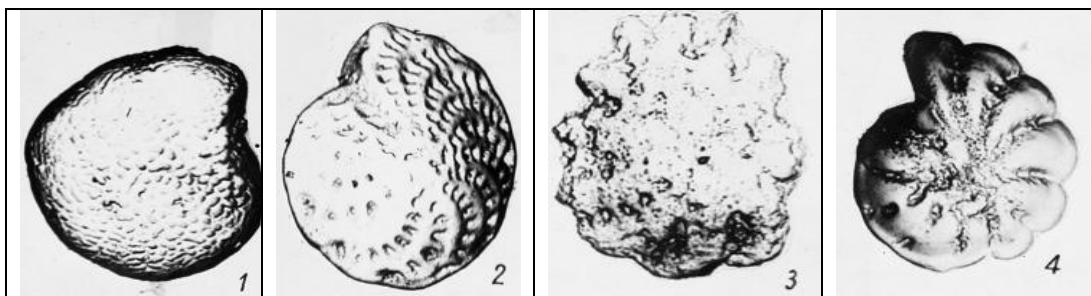


15. Дидковский В.Я. «Справочник по микрофауне Азербайджана». Издательство нефт. и технической литературы., Баку, 1970. стр.54, табл. 34.
16. Волошинова Н.А., Даин Л.Г. Нониониды, кассидулиниды и хилостомеллиды". Иск.фораминиферы СССР, тр.ВНИГРИ, Ленинград, нов.сер., 63, 139 с., 1952.
17. Волошинова Н.А., Кузнецова В.Н., Леоненко Л.С. "Фораминиферы неогеновых отложений Сахалина". Тр.ВНИГРИ, 284, Недра, Ленинград, 304 с., 1970.
18. Крашенинников В.А. "Характеристика фауны фораминифер среднего миоцена. Атлас среднемиоценовой фауны Сев.Кавказа и Крыма. Тр.ГУГП, с.15-102, 1959.
19. Крашенинников В.А. Стенофациальные и эврифациальные виды фораминифер. Тр.ВНИГРИ. Вып. IX, 1958.
20. Основы палеонтологии, т.1, с.168-346, Москва, 1959.

Палеонтологическая таблица I



Палеонтологическая таблица II



*Primit la redacție –16 iulie 2013*